

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STROJNÍ
ÚSTAV TECHNIKY PROSTŘEDÍ

**VÝVOJ TEPELNĚ TECHNICKÝCH
VLASTNOSTÍ OTVOROVÝCH VÝPLNÍ**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

PETR PRIMUS

7-TZSI-2019



ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Primus** Jméno: **Petr** Osobní číslo: **459602**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávací katedra/ústav: **Ústav techniky prostředí**
Studijní program: **Teoretický základ strojího inženýrství**
Studijní obor: **bez oboru**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Vývoj tepelně technických vlastností otvorových výplní

Název bakalářské práce anglicky:

Development of Thermal Technical Properties for Window and Door Panes

Pokyny pro vypracování:

Zmapujte historický vývoj otvorových výplní. Vývoj oken a dveří v jednotlivých obdobích v rámci ČR posuďte rovněž z hlediska normativních nároků na tepelný odpor, resp. součinitel prostupu tepla. Na příkladu rodinného domu, za využití obálkové metody výpočtu tepelných ztrát, vyhodnoťte možnou míru změn tepelných ztrát ve vazbě na jednotlivá legislativní období při zachování stejných parametrů pevné obvodové konstrukce.

Seznam doporučené literatury:

Bašta, J.: Velkoplošné sálavé vytápění. Grada Publishing, a.s., Praha 2010, 128s., ISBN 978-80-247-3524-5.
Bašta, J.: Regulace v technice prostředí staveb. Česká technika, nakladatelství ČVUT. Praha 2014, 194s., ISBN 978-80-01-05455-0
Bašta, J.: Otopné plochy Otopná tělesa. Praha: Ediční středisko ČVUT, 2016. 204 s. ISBN 978-80-01-05943-2.
Bašta, J., Kabele, K.: Otopné soustavy teplovodní Sešit projektanta. Třetí přepracované vydání. STP 2008, ISBN 978-80-02-02064-6, 96 s.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

prof. Ing. Jiří Bašta, Ph.D., ústav techniky prostředí FS

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: **24.04.2019**

Termín odevzdání bakalářské práce: **06.06.2019**

Platnost zadání bakalářské práce:

prof. Ing. Jiří Bašta, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce

doc. Ing. Vladimír Zmrhal, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Ing. Michael Valášek, DrSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

24.4.2019

Datum převzetí zadání

Podpis studenta

Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu mé bakalářské práce, prof. Ing. Jiřímu Baštovi, Ph.D. za pomoc, cenné rady, vstřícnost a poskytnuté podklady, které mi pomohly při vypracování této bakalářské práce.

Souhrn

Cílem této bakalářské práce je zmapovat historický vývoj z hlediska normativních nároků na tepelný odpor, resp. součinitel prostupu tepla, u oken a dveří a určit tepelné ztráty konkrétního objektu pouze při změnách jednotlivých otvorových výplní.

Součástí bakalářské práce je i popis a historický vývoj různých druhů oken a dveří.

Summary

The aim of this bachelor thesis is to chart the historical development with respect to normative claim to thermal resistance or more precisely the thermal transmittance coefficient for window and door panes. Also to determine the heat losses of the particular building just in case of change each vent-hole panes.

This thesis contains description and historical development of different types of windows and doors.

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem: „Vývoj tepelně technických vlastností otvorových výplní“ vypracoval samostatně pod vedením prof. Ing. Jiřího Bašty, Ph.D., s použitím literatury, uvedené na konci mé bakalářské práce v seznamu použité literatury.

V Praze 6. 6. 2019

Petr Primus

Obsah

1. ÚVOD.....	1
2. HISTORICKÝ VÝVOJ OKEN A DVEŘÍ.....	2
2.1 Vývoj oken.....	2
2.1.1 Okna v gotických stavbách.....	3
2.1.2 Okna v renesančních stavbách.....	4
2.1.3 Okna v barokních stavbách	5
2.1.4 Okna v klasicistních stavbách	7
2.1.5 Okna v objektech z druhé poloviny 19. století	9
2.2 Vývoj dveří	9
2.2.1 Vývoj dveří z hlediska zavěšení	10
2.2.2 Vývoj dveří z hlediska konstrukce křídel.....	12
2.3 Zárubně	15
3. OKENNÍ OTVOR	16
3.1 Tepelné ztráty oken.....	16
3.2 Okenní skla	17
3.2.1 Druhy zasklení.....	17
3.3 Okenní rámy	18
3.3.1 Dřevěné rámy	18
3.3.2 Kovové rámy	19
3.3.3 Plastové a kombinované rámy	19
3.4 Okenní clony.....	20
3.5 Větrací systémy oken.....	20
4. DVEŘNÍ OTVOR	21
4.1 Tepelné ztráty dveří	21
5. VÝVOJ NORMATIVNÍCH POŽADAVKŮ A PŘEDPISŮ V TEPELNÉ TECHNICE	22
5.1 Vývoj normativních požadavků a předpisů v České republice.....	22
5.1.1 I. generace před rokem 1964	22
5.1.2 II. generace mezi lety 1964 a 1979.....	23
5.1.3 III. generace mezi lety 1979 a 1992	23
5.1.4 IV. generace mezi lety 1992 a 1994	23
5.1.5 V. generace mezi lety 1994 a 2002.....	23
5.1.6 VI. generace mezi lety 2002 a 2005	24
5.1.7 VII. generace po roce 2005	24
5.1.8 VIII. generace po roce 2007	24
5.1.9 IX. generace po roce 2011	24
5.2 Normativní požadavky v zahraničí	25
5.3 Vývoj tepelně technických požadavků u oken	26
5.4 Vývoj tepelně technických požadavků u dveří	29
6. VÝPOČET TEPELNÉ ZTRÁTY BUDOVY.....	31
6.1 Popis objektu.....	31
6.2 Výpočet tepelné ztráty objektu obálkovou metodou dle normy ČSN 06 0210	33
6.2.1 Výpočet tepelné ztráty prostupem	33
6.2.2 Výpočet tepelné ztráty větráním.....	38
6.2.3 Výpočet celkové tepelné ztráty	43
7. ZÁVĚR.....	45
8. SEZNAM PŘÍLOH	46
9. POUŽITÁ LITERATURA	47

Soupis použitého značení

B	Charakteristické číslo budovy	$[\text{Pa}^{0,67}]$
L	Délka spár otevíratelných částí oken a venkovních dveří	$[\text{m}]$
M	Charakteristické číslo místnosti	$[-]$
\dot{Q}_c	Celková tepelná ztráta	$[\text{W}]$
\dot{Q}_0	Základní tepelná ztráta prostupem tepla	$[\text{W}]$
\dot{Q}_p	Tepelná ztráta prostupem tepla	$[\text{W}]$
\dot{Q}_v	Tepelná ztráta větráním	$[\text{W}]$
$\dot{Q}_{v,inf}$	Tepelná ztráta infiltrací	$[\text{W}]$
\dot{Q}_z	Trvalý tepelný zisk	$[\text{W}]$
R	Tepelný odpor konstrukce	$[\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}]$
S	Celková plocha všech konstrukcí ohraničujících vytápěnou místnost	$[\text{m}^2]$
S_C	Celková plocha otvorové výplně	$[\text{m}^2]$
S_j	Plocha ochlazované části stavební konstrukce	$[\text{m}^2]$
S_p	Plocha daného prvku konstrukce	$[\text{m}^2]$
U	Součinitel prostupu tepla	$[\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}]$
U_c	Celkový součinitel prostupu tepla všech konstrukcí místnosti	$[\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}]$
U_j	Součinitel prostupu tepla daného prvku konstrukce	$[\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}]$
$U_{ok,n}$	Normová hodnota součinitele prostupu tepla	$[\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}]$
$U_{ok,p}$	Výpočtová hodnota součinitele prostupu tepla	$[\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}]$
$U_{pas,20}$	Doporučená hodnota součinitele prostupu tepla pro pasivní budovy	$[\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}]$
U_{PR}	Stanovený průměrný součinitel prostupu tepla dané konstrukce	$[\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}]$
U_w	Součinitel prostupu tepla oknem	$[\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}]$
V	Vnitřní objem místnosti (objektu)	$[\text{m}^3]$
V_k	Objem konkrétní místnosti	$[\text{m}^3]$
\dot{V}_v	Objemový průtok větracího vzduchu	$[\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}]$
$\dot{V}_{v,inf}$	Objemový průtok větracího vzduchu infiltrací	$[\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}]$
c_v	Objemová tepelná kapacita vzduchu	$[\text{J} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{K}^{-1}]$
i_{LV}	Součinitel spárové průvzdušnosti	$[\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Pa}^{-0,67}]$
n_h	Intenzita výměny vzduchu	$[\text{h}^{-1}]$
p_1	Přirážka na vyrovnání vlivu chladných stěn	$[-]$
p_2	Přirážka na urychlení zátopu	$[-]$
p_3	Přirážka na světovou stranu	$[-]$
s	Tloušťka konstrukce	$[\text{m}]$
t_e	Výpočtová venkovní teplota	$[\text{°C}]$
t_i	Výpočtová vnitřní teplota	$[\text{°C}]$
t_j	Výpočtová teplota prostředí na venkovní straně konstrukce	$[\text{°C}]$
t_k	Výpočtová vnitřní teplota konkrétní místnosti	$[\text{°C}]$
α_e	Součinitel přestupu tepla na venkovní straně konstrukce	$[\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}]$
α_i	Součinitel přestupu tepla na vnitřní straně konstrukce	$[\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}]$
λ	Součinitel tepelné vodivosti	$[\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}]$
ρ	Hustota	$[\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}]$
ψ	Lineární činitel prostupu tepla lineárního tepelného mostu	$[\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}]$

1. ÚVOD

Efektivní využití energetických zdrojů je v dnešní době jedno z nejzásadnějších témat. Tato problematika momentálně zasahuje nejen do ekologických faktorů, nýbrž zaujímá i své neméně důležité postavení na poli politicko-ekonomických souvislostí. Nároky na efektivní využití a získávání energie z primárních či sekundárních zdrojů jsou důležité pro všechny vyspělé země světa, které se snaží svou ekologickou stopu, respektive stopu všech svých obyvatel minimalizovat, ať už s ohledem na vlastní legislativu nebo s ohledem na mezinárodní smlouvy a úmluvy, které se bezprostředně týkají životního prostředí. V případě nově budovaných nebo rekonstruovaných staveb se pak klade velký důraz nejen na legislativně určené nároky, tepelnou pohodu, ale také na ekologii. Pro takto dotčený objekt dnes musí žadatel na stavebním úřadu (od 1. 1. 2019) doložit energetický štítek. Tuto povinnost upravuje zákon č. 406/2000 Sb.

Výroba tepla, získaná ze všech zdrojů energií, se z velké části spotřebovává k úpravě klimatu uvnitř budov. Z tohoto důvodu je potřeba stanovit, s jakou energetickou náročností může daný objekt fungovat, a určit, zda jednotlivé zásahy do tepelně technických vlastností konstrukce mohou pozitivně ovlivnit její provoz. Pro správné vyhodnocení je klíčová znalost normativních nároků a parametrů jednotlivých progresivních materiálů.

Ke kontinuálnímu vývoji dochází již řadu let také z hlediska normativních nároků, tj. zpřísnování požadavků na tepelně technické vlastnosti konstrukcí, včetně jejich otvorových výplní, na které se tato bakalářská práce zaměřuje. Sleduje se primárně tepelný odpor, respektive součinitel prostupu tepla konstrukcí, konkrétně otvorovou výplní. Nároky na jednotlivé prvky konstrukce upravuje vždy aktuální norma.

S ohledem na tento fakt je vypracována i tato bakalářská práce. Na konkrétním objektu je posuzován vývoj měnících se nároků na tepelně technické vlastnosti otvorových výplní, a tedy snížení tepelných ztrát, přičemž zbytek tepelně technických konstrukčních prvků je neměnný. Jinými slovy dochází k porovnání tepelných ztrát daného objektu pouze při změnách oken a vnějších dveří podle normy pro příslušné období. Součástí bakalářské práce je rovněž popis historického vývoje různých druhů oken a dveří.

2. HISTORICKÝ VÝVOJ OKEN A DVEŘÍ

V této kapitole je popsán historický vývoj výplní otvorových částí, které, stejně tak jako zbytek objektu, podléhaly kontinuálnímu vývoji, ať už z hlediska nároků na vzhled, funkčnost, ale také nároků na tepelně technické vlastnosti spojené s úniky tepla.

2.1 Vývoj oken

Výplň okenního otvoru bývala zpravidla osazována v obvodové stěně stavby. Ta měla za úkol umožnit osvětlení vnitřních prostor, mimo to také větrání objektu. Historické okno má pevný nepohyblivý rám, vyhotovený ze dřeva, jenž je upevněn k ostění. Do takového rámu jsou pak vsazována pevná, častěji však pohyblivá křídla s dřevěnými rámy a zasklenou výplní. Ačkoli se samotné truhlářské zpracování rámu oken a křídel od středověku měnilo jen minimálně, zásadní dopad na vývoj oken měl technologický pokrok v oblasti zpracování plochého skla. Tento fakt můžeme dokládat na stále se zvětšujících okenních tabulkách, které formovaly způsob zasklívání samotných křídel a jejich členění. [1, 2]

Vzhledem k tomu, že se na výrobě oken podílelo hned několik specializovaných řemesel; truhlář, zámečnick a sklenář, patřila k relativně drahým stavebním prvkům. Jejich skutečná životnost za běžných klimatických podmínek a při pravidelné údržbě mnohdy přesahovala časový úsek daného slohového období. Pro jednotlivá slohová období jsou charakteristické konstrukce a výplně oken, které jsou popsány v níže uvedených subkapitolách. [1]

U jednotlivých historických období bude naznačen průměrný součinitel prostupu tepla danou otvorovou výplní, s ohledem na používaný materiál, tloušťku a jeho zastoupení vztažené k celkové ploše okna. Hodnota bude stanovena dle následujícího vztahu:

$$U_j = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + \frac{s}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_e}}, \quad (1)$$

kde U_j součinitel prostupu tepla daného prvku konstrukce [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$],
 α_i součinitel přestupu tepla na vnitřní straně konstrukce [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$],
 α_e součinitel přestupu tepla na venkovní straně konstrukce [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$],
 s tloušťka konstrukce [m],
 λ součinitel tepelné vodivosti [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$].

K určení průměrného součinitele prostupu tepla U_{PR} bude užíván následující vztah:

$$U_{PR} = \frac{\sum S_P \cdot U_j}{S_C}, \quad (2)$$

kde U_{PR} průměrný součinitel prostupu tepla dané konstrukce [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$],
 U_j součinitel prostupu tepla daného prvku konstrukce [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$],
 S_P plocha daného prvku konstrukce [m^2],
 S_C celková plocha otvorové výplně [m^2].

2.1.1 Okna v gotických stavbách

Naše aktuální znalosti o oknech ve středověkých stavbách jsou neúplné. Přestože můžeme s jistotou hovořit o chrámových oknech s kamenným kružbovým členěním, jež byla barevně zasklívána do olova, nemáme však dostatečné informace a pozůstatky oken a jejich výplní u běžných domů. Nejčastěji se jednalo o vitraj – olovem spojované skleněné fragmenty nebo částečně pro světlo propustné kameny (křemeny), které byly v některých případech následně domalovávány a jako celek mohly tvořit například výjev z Bible atp. Tyto celky byly osazovány do zpevňujících rámců, vyhotovených ze dřeva nebo kovových plátů. Takto vyhotovená křídla byla vsazována do kamenných nebo dřevěných rámců. V období gotiky se setkáváme s nepohyblivými křídly, výjimečně s částečně otvíravými prvky. [1]



Obr. 2.1 Pozůstatek gotického okna, Karlštejn (autor snímku: Petr Primus)

Budeme-li uvažovat olovo s parametry $\lambda = 35 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ a tloušťce 10 mm jako spojovací materiál a křemen jako referenční výplňový materiál, jehož součinitel tepelné vodivosti $\lambda = 8,4 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ o tloušťce 15 mm a rámy z tvrdého dřeva, kde tepelný tok prochází kolmo k vláknům, parametry pro tyto rámy jsou $\lambda = 0,22 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ a tloušťka rámu 60 mm, můžeme dle vztahu (1) stanovit součinitel prostupu tepla daného prvku u gotického okna. Hodnoty součinitelů přestupu tepla na vnitřní a venkovní stěně jsou $\alpha_i = 8 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$ a $\alpha_e = 23 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$. [3, 4, 5]

Tab. 2.1 Stanovené hodnoty součinitele prostupu tepla jednotlivých konstrukčních prvků gotického okna

materiál	U_j [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$]
olovo	5,8
křemen	5,4
tvrdé dřevo (tepelný tok kolmo k vláknům)	2,3

Při výpočtu průměrného součinitele prostupu tepla byl použit vztah (2) a následující poměr ploch jednotlivých konstrukčních prvků: oloveného spojovacího materiálu, světlo propustného výplňového materiálu a plochy rámu. Průměrná hodnota pro gotické okno potom činí $U_{PR} = 5,0 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$.

2.1.2 Okna v renesančních stavbách

Během 16. století se k zasklívání oken používala skleněná kolečka, někdy též nazývaná terče a zbylý otvor vyplňovaly projmuté trojúhelníky, které byly nejčastěji z barevného nebo kalného skla. Kruhový tvar skla byl předurčen výrobní technologií – kapkovitou baňkou ze sklářské píšťaly, na které bylo sklo pro dané účely vyfukováno. Jednotlivé skleněné prvky byly spojovány pomocí olova. Renesanční okna byla jednoduchá a díky závěsům z kovových plechů navíc dovnitř otevíratelná. [1]

K určení součinitele prostupu tepla prvku budeme uvažovat vztah (1) a následující parametry: olovo se součinitelem tepelné vodivosti $\lambda = 35 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ a tloušťkou 5 mm, skleněné terče, jehož součinitel tepelné vodivosti $\lambda = 0,9 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ o tloušťce 4 mm, které jsou vsazeny do rámu z tvrdého dřeva a tepelný tok prochází kolmo k vláknům. Parametry pro tyto rámy jsou: $\lambda = 0,22 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$, $s = 80 \text{ mm}$. Hodnoty součinitelů přestupu tepla na vnitřní a venkovní stěně jsou:

$\alpha_i = 8 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$ a $\alpha_e = 23 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$. [4, 5]

Tab. 2.2 Stanovené hodnoty součinitele prostupu tepla jednotlivých konstrukčních prvků renesančního okna

materiál	U_j [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$]
olovo	5,9
foukané sklo	4,7
tvrdé dřevo (tepelný tok kolmo k vláknům)	1,9

Při výpočtu průměrného součinitele prostupu tepla byl použit vztah (2) a následující poměr jednotlivých ploch konstrukčních prvků: olověného spojovacího materiálu, dřevěného rámu a výplňového materiálu – foukaného skla. Průměrná hodnota pro renesanční okno potom činí $U_{PR} = 4,2 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$.

2.1.3 Okna v barokních stavbách

V období 2. poloviny 17. století se setkáváme s rozsáhlými stavebními komplexy zhotovenými z cihlového a smíšeného zdiva. Tyto stavby byly vybaveny vyšším počtem oken o větší ploše, než tomu bylo v předchozím slohovém období. Převážná část vesnických staveb však vzniká ještě ze dřeva, a tak se můžeme setkat s několika druhy technického řešení okenních výplní. [1]

Charakteristickým rysem pro dané období je nejdříve zasklení v podobě skleněných destiček ve tvaru šestiúhelníku. Výroba těchto elementů probíhá i nadále z původně foukaného skla, které se po vyfouknutí rozřezalo a vyrovnalo do plochého tvaru. Takto vzniklé kousky jsou následně pospojovány stejnou technologií, jako tomu bylo u starších koleček, a tedy olověným spojením. Až v průběhu 18. století dochází k přechodu na čtvercové skleněné okenní tabulky, které jsou větších rozměrů, než tomu bylo u šestiúhelníků. Z počátku dosahovaly délek stran 20 x 20 cm, později dokonce 30 až 40 cm. K jejich upevnění se postupem času začíná využívat dřevěných příčlů, které jsou k rámu přichyceny dřevěnými čepy a opatřeny drážkou, do které je tabulka zasunuta tak, aby vlivem větru nemohla vypadnout. Tento způsob aretace skleněné tabulky se jeví v porovnání s uchycením pomocí olova jako výhodnější. [1, 2]

Jednotlivá křídla jsou v místě čepového spoje zpevňována kováním, které zároveň slouží k uchycení křídla k rámu takovým způsobem, kdy můžeme pomocí závěsu křídlo otevřít a danou místnost větrat. V období baroka byla takto otvíravá okna ta, která byla dobře dostupná – tj. spodní křídla oken. [1, 2]

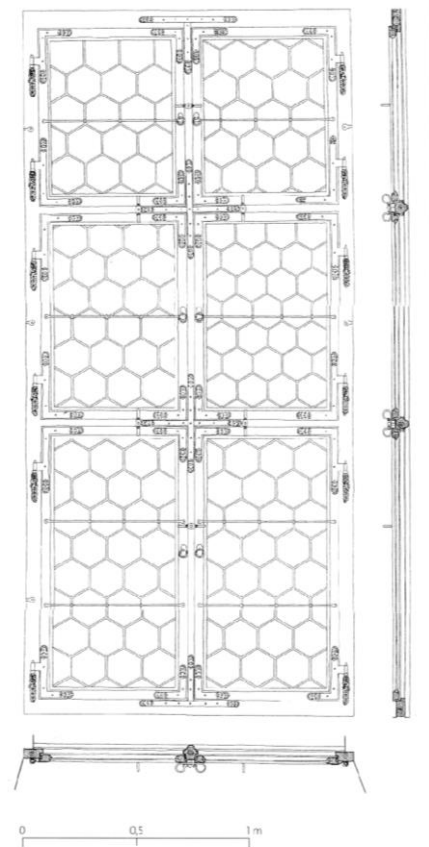
Zajímavým technickým prvkem u oken vyskytujících se u obytných místností, které byly v zimních měsících vytápěné, a tedy vystavované stékající rosné vodě, jsou systémy žlábků, které odváděly rosnou vodu přímo ven (u dřevěných staveb), nebo ji zachycovaly do vyjímatelných nádobek v parapetním otvoru (u zděných staveb). [1]

Od 3. čtvrtiny 18. století se začínají vyskytovat další inovace v oblasti otvorových výplní, konkrétně druhá okna, která jsou nejčastěji přidávána jako vnější, otvíravá ven. Ta byla v některých oblastech osazována jen jako sezonní (převážně na venkově). [1]

Další doprovodný prvek oken „*tvořily i u barokních staveb okenice, které byly nadále víceúčelové – jejich zavíráním v době, kdy nebylo v místnosti potřebné vnější světlo, se zřejmě z části řešil i problém minimálního tepelného odporu tehdejších oken.*“ [1]

Pro případ součinitele prostupu tepla budeme uvažovat následující parametry: olovo se součinitelem tepelné vodivosti $\lambda = 35 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ a tloušťkou 5 mm, skleněné šestiúhelníky, jejichž součinitel tepelné vodivosti $\lambda = 0,9 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ o tloušťce 4 mm, které jsou vsazeny do rámy z tvrdého dřeva a tepelný tok prochází kolmo k vláknům. Parametry pro tyto rámy jsou $\lambda = 0,22 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ a tloušťka rámu 80 mm. Hodnoty součinitelů přestupu tepla na vnitřní a venkovní stěně jsou:

$$\alpha_i = 8 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1} \text{ a } \alpha_e = 23 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}. [4, 5]$$



Obr. 2.2 Barokní okno [1]

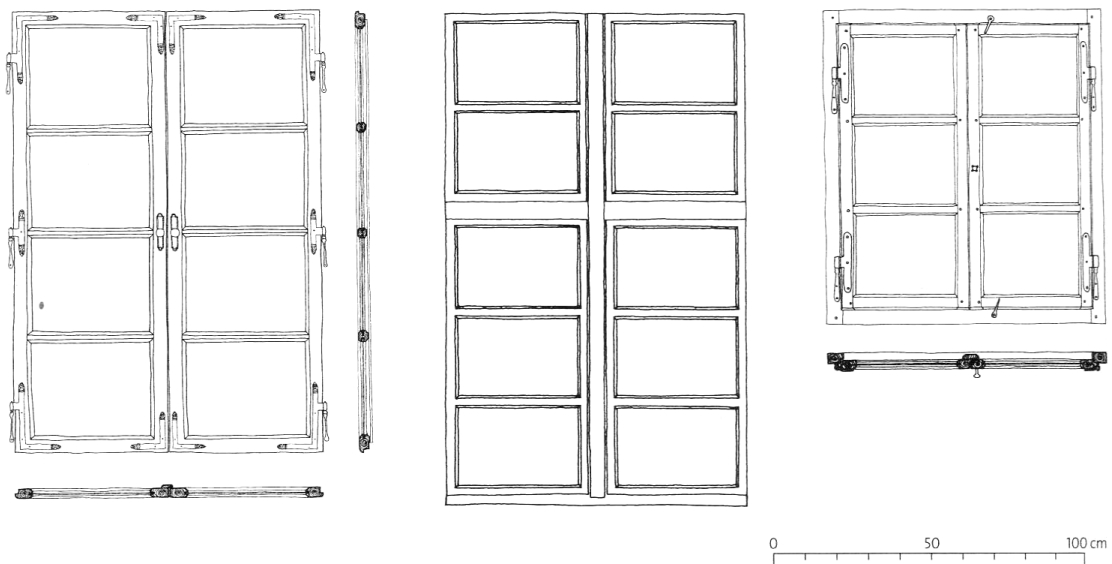
Tab. 2.3 Stanovené hodnoty součinitele prostupu tepla jednotlivých konstrukčních prvků barokního okna

materiál	U_j [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$]
olovo	5,9
foukané sklo	4,7
tvrdé dřevo (tepelný tok kolmo k vláknům)	1,9

Při výpočtu průměrného součinitele prostupu tepla byl použit vztah (2) a následující poměr jednotlivých ploch konstrukčních prvků: oloveného spojovacího materiálu, dřevěného rámu a výplňového materiálu – foukaného skla. Průměrná hodnota pro barokní okno potom činí $U_{PR} = 4,1 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$.

2.1.4 Okna v klasicistních stavbách

Výstavba zděných objektů se v tomto období začíná přesouvat i na venkov. Typickým oknem pro dané období je dvoukřídlové okno s šesti tabulkami. V případě větších okenních otvorů se můžeme setkat s čtyřkřídlovými okny s osmi či deseti tabulkami. Některá městská a vyspělejší venkovská stavení často disponují dvojitými okny. [1]



Obr. 2.3 Ukázka klasicistních oken [1]

Technologie sestavení takovýchto oken již definitivně opouští olovo jako spojovací materiál a začíná se uplatňovat tmel jako těsnící prvek mezi skleněnou okenní tabulkou a dřevěným rámem. Příslušnou změnou tedy prochází samotné rámy a příčle, které již nevyžadují tak hluboké drážky k zasazení okenní tabulky, nýbrž pouze polodrážku,

do které se skleněná tabulka vloží a zatmelí tak, aby nedošlo k jejímu uvolnění. V případě náročnějších aplikací se můžeme setkat s rámy profilovanými v místě funkční spáry. Ty jsou výhodné s ohledem na úniky tepla mezi venkovním prostředím a takto uzavřenou místností. [1, 2]

Vzhledem k narůstajícímu počtu nově stavěných budov a zvětšujícímu se množství potřebných oken, došlo k dalšímu vývoji v oblasti kování, kdy se postupně přešlo od mosazného kování ke kování ze slitin železa. Jelikož tyto slitiny snáze podléhaly korozi, docházelo tak při vyhotovování nových křídel k natírání jak kovových, tak i dřevěných částí, čímž okna lépe odolávala klimatickým vlivům. [1]

Z důvodu vysokého počtu nově stavěných budov, a tedy i velkého počtu oken, se začíná využívat válcované sklo vyšší jakosti se součinitelem tepelné vodivosti $\lambda = 0,76 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ a tloušťkou pouhé 2 mm. Rámy jsou pak mnohdy zhotovovány z měkkého dřeva, které má následující parametry: $\lambda = 0,18 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$, $s = 20 \text{ mm}$. [1, 4]

Tab. 2.4 Stanovené hodnoty součinitele prostupu tepla jednotlivých konstrukčních prvků klasicistního okna

materiál	U_j [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$]
válcované sklo	5,1
měkké dřevo (tepelný tok kolmo k vláknům)	2,6

Při výpočtu průměrného součinitele prostupu tepla byl opět použit vztah (2) a následující poměr ploch prvků, konkrétně dřevěného rámu z měkkého dřeva a výplňového materiálu – válcovaného skla. Průměrná hodnota součinitele prostupu tepla u jednoduchého klasicistního okna činí $U_{PR} = 4,5 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$.

Výpočet byl proveden pro jednoduché středně velké dvoukřídlé osmitabulkové okno. U klasicistních budov však již byla okna osazována jak na vnitřní, tak na venkovní straně obvodové zdi, a tak by součinitel prostupu tepla pro takovéto okno (jako celek) vyšel o něco příznivěji. Určitě by v porovnání s předchozí etapou nevykazoval zhoršených hodnot, jako tomu bylo v tomto výpočtu.

2.1.5 Okna v objektech z druhé poloviny 19. století

V období od druhé poloviny 19. století se začínají vsazovat dvojitá okna u všech typů staveb, jelikož jsou již známy jejich výhody spojené s tepelným odporem a praktičností údržby. Tato okna jsou umísťována za líc fasády, aby se nešpinila a nebyla bezprostředně namáhána deštěm. Tato okna nazýváme špaletová, protože mezeru mezi vnitřním a venkovním křídlem tvoří 20 až 30 centimetrů hluboké špalety. [1, 2]

Součástí vývoje je rovněž mechanismus otevírání a zavírání, kdy se k aretaci obou křídel využívá svislých tyčkových rozvor umístěných v klapače. Ta je ovládána klikou, která se nachází uprostřed okenního křídla. [1]

Technika zpracování skla se výrazně mění, litím vznikají zpravidla 3 mm tlusté okenní tabulky, které mají součinitel tepelné vodivosti $\lambda = 0,76 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$, přičemž rámy z měkkého dřeva nesou následující parametry: $\lambda = 0,18 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$, $s = 20 \text{ mm}$. [1, 4]

Vzhledem k výše specifikované konfiguraci, a také tomu, že dochází k prostupu skrze dvě křídla a vzduchovou mezeru mezi nimi, můžeme k určení průměrného součinitele prostupu tepla využít normu ČSN 73 0540-3 z roku 1994. Tabulka hodnot, včetně součinitele spárové průvzdušnosti, je uvedena v kapitole 5.3. V tab. 5.2 je uvedeno dvojité okno dřevěné, které se našemu případu blíží nejvíce. Hodnota průměrného součinitele prostupu tepla daným špaletovým oknem je na základě této tabulky stanovena $U_{PR} = 2,35 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$.

2.2 Vývoj dveří

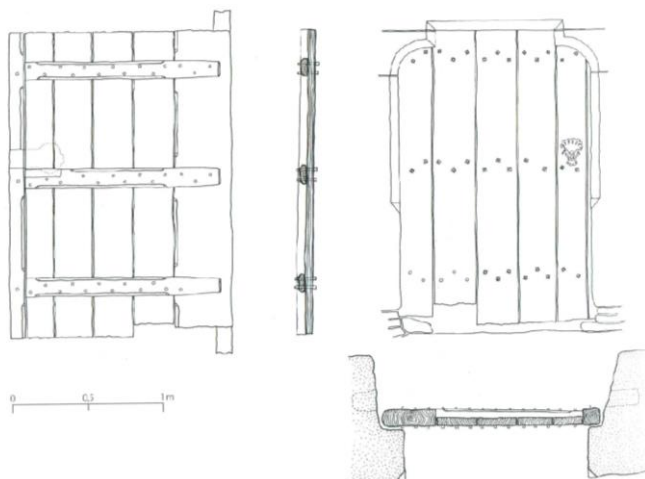
„U dveří a vrat existuje pouze několik málo základních konstrukčních variant, jejichž použití je velmi dlouhé, závislé na funkci (požadavku na pevnost, ochraně před povětrností) i na sociální příslušnosti staveb. Z hlediska časové následnosti konstrukčních typů vrat a dveří je zřejmě vhodné sledovat zejména způsoby jejich zavěšování, které mají vztah i k použité konstrukci dveřního křídla. Varianty způsobu zavěšování jsou pouze dvě, resp. tři – točnicový, a pozdější s vnějšími kovanými závěsy, které se posléze mění na závěsy vnitřní, zapuštěné.“ [1]

V této subkapitole bude rovněž využito rozdělení dle typu konstrukce samotných křídel dveří a jejich zavěšení.

2.2.1 Vývoj dveří z hlediska zavěšení

Točnice

Jedná se o robustní systém uzavírající otvor dveří, který se v určitých modifikacích na venkově dochoval u starších hospodářských budov až do dnešní doby. Základní konstrukce dveří je vyhotovena z trámků, dvou postranních svislých a tří na ně kolmých (vodorovných), přes které jsou nejčastěji natlučena prkna. Princip otevírání pak spočívá v otáčení okolo jednoho ze svislých trámků, který je na spodní a horní straně o něco delší. Tento přesah je pak ukotven do válcových dutin, takzvaných ok, v prahu a nadpraží dveří. Samotný pohyb pak funguje na principu tření. Nejstarší celodřevěné konstrukce měly nevýhodu v nestálosti objemu dřeva (s ohledem na relativní, resp. měrnou vlhkost ovzduší) a ve značné míře opotřebení. Postupem času se tyto zápuště trny, hlavně tedy ty spodní, na kterých stála celá hmotnost dveří, okovávaly a umisťovaly na tvrdé kameny. Tento způsob uložení a opracování zajišťoval lepší kluzné vlastnosti a delší životnost. [1]

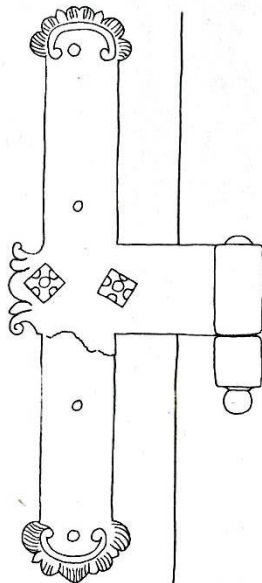


Obr. 2.4 Ukázka dveří s točnicovou konstrukcí a třemi příčnickami [1]

Vnější kované závěsy

O něco mladším a technicky dokonalejším způsobem zavěšování dveří je ten, který využívá vnější kované závěsy ze slitin železa. Ty jsou přibity na vnitřní stranu křídla dveří. Závěs neboli pant je ukotven k ostění dveřního prostoru, ze kterého po zaražení vyčnívá pouze svislý válcový prvek, na který je následně nasunuto oko závěsu. K samotnému připevnění závěsu se nejdříve používaly kované hřeby, od poloviny 18. století také šrouby s čtvercovou maticí. [1, 2]

Tento způsob zavěšení souvisí s vývojem, který přináší svlakovou, případně rámovou konstrukci křídel, detailněji rozebranou v kapitole 2.2.2. [1]



Obr. 2.5 Vnější kovaný závěs křížového typu z poloviny 18. století, kostel sv. Mikuláše v Praze na Malé Straně [1]

Zapuštěné závěsy

V případě zapuštěných závěsů hovoříme o jemnějších prvcích, které nacházely své využití nejčastěji v nábytkářském odvětví. V případech vrchnostenských budov a honosněji vybavených městských domů se však tyto závěsy používaly i u interiérových dveří. [1]

Zapuštěné dveřní závěsy se vyvinuly ze skříňových závěsů, jejichž nosnou část „tvorí obdélné plechy, jejichž okraje zavinuté do tvaru válcových pouzder, jsou řazeny střídavě za sebou. Jejich pevné propojení zajišťuje shora zasunutý trn s horní rozklepanou hlavou, která umožňuje jeho operativní vytažení v případě, že je třeba dveřní křídlo uvolnit.“ [1]

Dveřní zapuštěný závěs je zjednodušením tohoto principu. Jedná se o válcovitě zapouzdrěnou sestavu, která se skládá z dolní části – válečkového čepu a na něho nasazeného pouzdra – horní části. [1]

2.2.2 Vývoj dveří z hlediska konstrukce křídel

Svlaková konstrukce

Tato konstrukce dveří se vyvinula ze staršího točnicového systému. Motivací bylo odstranit nedostatky předchozí generace, primárně tedy snížené tuhosti, která způsobovala svěšování jednotlivých křídel. Nápravy tohoto problému bylo umožněno i díky zlepšujícím se truhlářským nástrojům. Konstrukce takovýchto dveří je opět provedena pomocí svislých prken, která jsou sesazena na sraz nebo pomocí polodrážky. Takto spojená prkna jsou pak propojena tzv. svlakem – příčným (vodorovným) nebo šikmo položeným prvkem, který mohl být vyhotoven z různých profilů. [1, 2]

Svlaková křídla byla připevňována výhradně pomocí vnějších závěsů. [1]

Rámová konstrukce

Nosnou konstrukci takovýchto křídel tvoří rám, který je vyhotovený z fošen (tlustších prken). Ta drží pohromadě díky lepeným čepovým spojům. Do prázdných otvorů jsou pak skrze systém hlubších drážek vsazovány výplně různých tlouštěk či ozdobných tvarů. [1, 2]

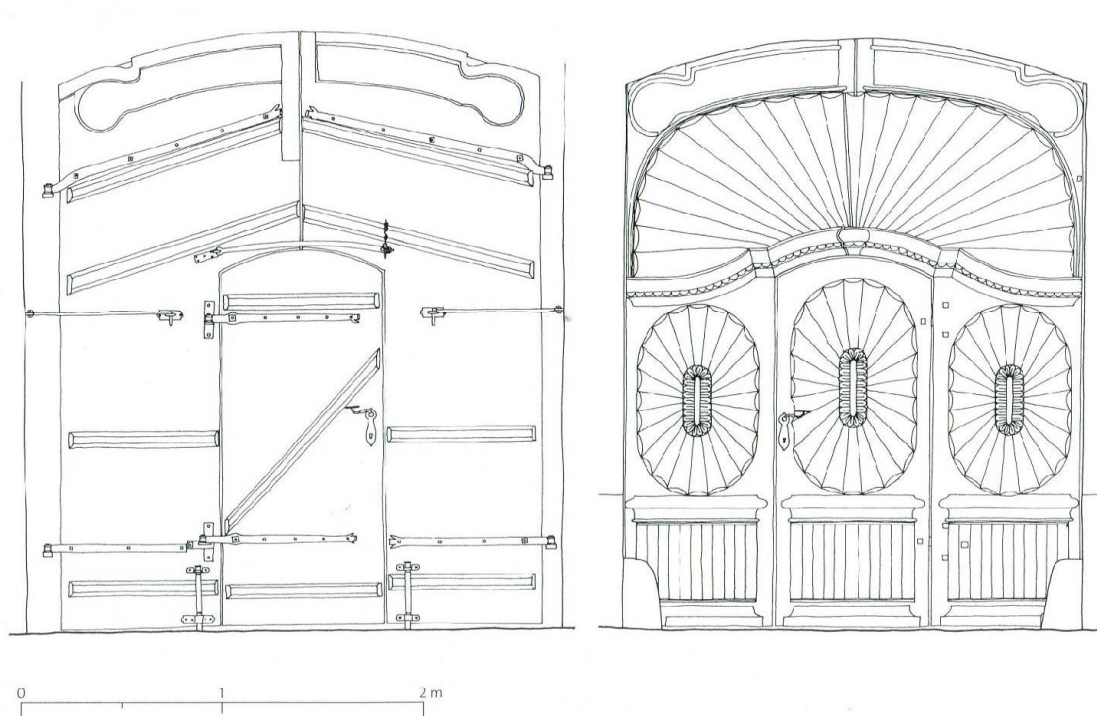
Rámové konstrukce se upevňovaly nejdříve pomocí vnějších kovaných závěsů, později zapuštěnými vnitřními závěsy. [1]



Obr. 2.6 Ukázka dvoukřídlových klasicistních rámových dveří z 1. poloviny 19. století [1]

Kombinovaná konstrukce

Kombinací svlakové a rámové konstrukce vznikala v období baroka a klasicismu skládaná vrata a větší vstupní dveře. Nosný skelet tvoří svlaková konstrukce z vnitřní strany, z vnější pak ozdobná rámová vrstva, která byla k prvkům připojována za pomoci hřebů a později šroubů. [1]



Obr. 2.7 Ukázka vrat do průjezdu pozdně klasicistního domu v Březnici s kombinací svlakové a rámové konstrukce [1]

Železné dveře

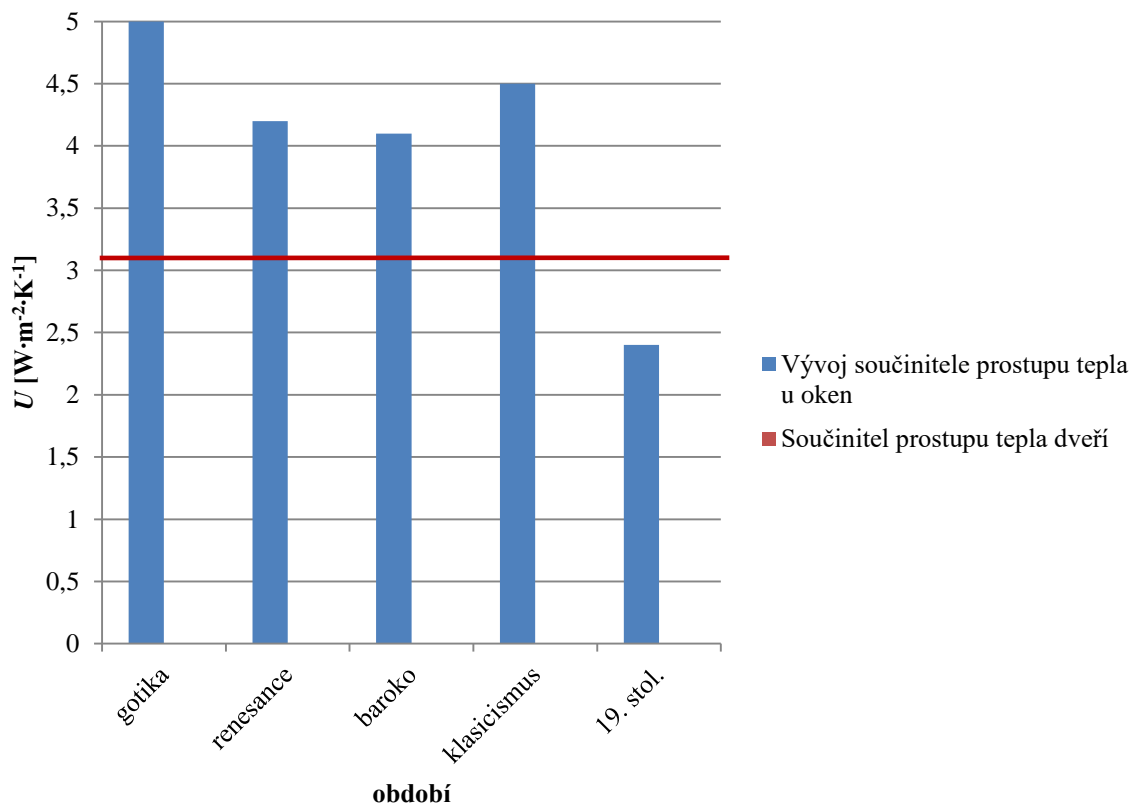
Dveře ze slitin železa se nacházely tam, kde měly sloužit ke zvláštním bezpečnostním účelům. Dalším využitím byly prostory krovu, kde měly zabraňovat šíření ohně v případě požáru. Nosná konstrukce dveří byla často vyhotovena ze dřeva a následně oplechována. Ve výjimečných případech byl kov i prvkem nosné kostry. Ta byla nejčastěji z pásů, případně diagonálně vyztužena. Na lícové straně pak potažena funkčně či ozdobně vyhotovenou vrstvou plechu. [1]

Podobně jako u oken můžeme dle vztahu (1) stanovit alespoň ilustrativní součinitel prostupu tepla vnějších dveří, který odpovídá dřevěným fošnám o tloušťce 28 mm a součiniteli tepelné vodivosti $\lambda = 0,18 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$, jelikož jako referenční materiál bereme měkké dřevo s tepelným tokem kolmým k jeho vláknům. [4]

Tab. 2.6 Stanovená hodnota součinitele prostupu tepla daným konstrukčním prvkem vstupních rámových dveří

materiál	$U_j \text{ [W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}]$
měkké dřevo (tepelný tok kolmo k vláknům)	3,1

Daný výsledek je zároveň průměrným součinitelem prostupu tepla vstupních rámových dveří, a tedy: $U_{PR} = 3,1 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$.



Obr. 2.8 Vývoj vypočtených hodnot součinitele prostupu tepla u historických oken a dveří

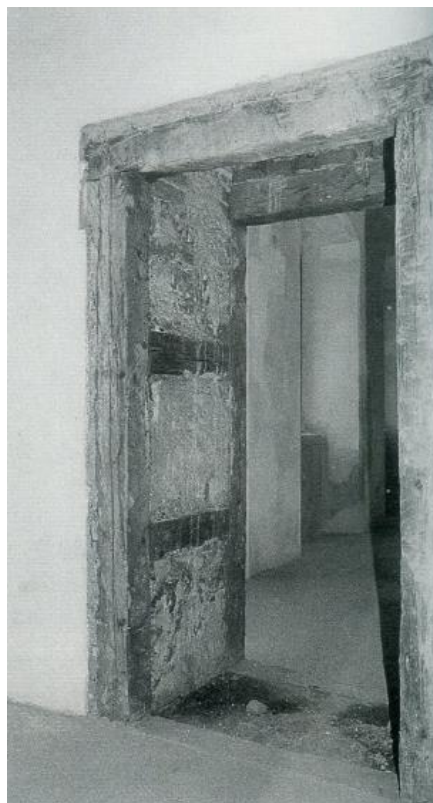
Na výše uvedeném grafu, viz obr. 2.8, je zobrazen vývoj vypočtených hodnot součinitele prostupu tepla oken a dveří pro jednotlivá období, která byla popsána v kapitole 2. Dle obr. 2.8 dochází v období klasicismu ke zvýšení hodnoty součinitele prostupu tepla oknem. Výpočet byl proveden pouze pro jedno křídlo. Běžnou praxí v tomto období bylo osazení okna ve dvou vrstvách (na vnitřní a vnější straně obvodového zdiva). Reálný součinitel prostupu tepla U by tak vycházel o něco příznivěji. Výsledkem by byl kontinuální vývoj zlepšujících se tepelně technických vlastností okenního otvoru.

2.3 Zárubně

Běžné zárubně okenního i dveřního otvoru jsou nejčastěji zhotoveny ze dřeva, kamene nebo jsou zděné. Trámové zárubně konstruované ze dřeva bývají nejčastěji spojovány pomocí pera a drážky, v případě kamenných zárubní je vždy součástí překladová část. Zděný překlad může být vyklenut do oblouku nebo jako tzv. rovný oblouk, který je dorovnán pomocí krycí vrstvy omítky. [1, 2]

V období baroka a klasicismu se setkáváme s tzv. nadsvětlíky, které mohly sloužit jak k přivádění světla, tak k rovnotlakému větrání vnitřního prostoru. Nadsvětlík se vyskytoval v místě mezi horní hranou křídel dveří a překladem. Takto vymezený otvor býval i zasklíván. [1]

Od renesance, respektive baroka, se zárubně začínají provádět jako hrubé konstrukce, které byly dle sociálního stavu budovy zakrývány prkenným obkladem, jenž mohl být různě dekorativně profilován. [1]



Obr. 2.9 Ukázka trámové konstrukce dveřního prostupu, odhalená sejmutím prkenného obložení [1]

3. OKENNÍ OTVOR

Okno, jakožto součást obvodové stěny podléhá celé řadě nároků, které jsou pro něj explicitně stanoveny normou, či vznikají z podstaty tohoto stavebního prvku jako takového. V první řadě je to odolnost proti tepelným ztrátám, izolace okna proti dešťové vodě, nároky na světelné vlastnosti, statická a dynamická odolnost proti povětrnostním vlivům, nebo také odolnost okna proti pronikání hluku v obou směrech. V této bakalářské práci je přistupováno k průměrným hodnotám součinitele prostupu tepla oknem U_w [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$], který zahrnuje zasklení, rám, křídlo a lineární činitel prostupu tepla lineárního tepelného mostu ψ [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$], jež zahrnuje tepelný most ve styku zasklení a křídla. Je však důležité uvést, jakými částmi k únikům tepla dochází, a jak je možné případné ztráty eliminovat. [6]

3.1 Tepelné ztráty oken

K tepelným ztrátám dochází skrze skleněnou výplň, rámy okenních křídel, rámy oken a skrze ostění. Okenní skla a okenní rámy budou dále detailněji rozebrány v kapitolách 3.3 a 3.4. Tepelným ztrátám skrze ostění můžeme zabránit správným vsazením okenního rámu k venkovní straně obvodové zdi. Během chladných zimních měsíců tak nedochází k promrzání ostění v takové míře, aby byl ochlazován interiér objektu. [6]

Další složkou tepelných ztrát je ztráta infiltrací. Ta působí mezi jednotlivými prvky okenní výplně, tj. mezi sklem a rámem okenního křídla, okenním křídlem a rámem, rámem okna a ostěním. Jednotlivé ztráty lze redukovat za pomoci použití správných těsnících materiálů a technologické důslednosti při vyhotovení okenního křídla, rámu a jeho správného osazení. [6]

Z uvedeného výčtu dochází k největší tepelné ztrátě infiltrací nejčastěji v případech infiltrace mezi okenním křídlem a rámem. Částečným řešením je dokonale zvládnutá technologie výroby křídel a rámu, patřičné profilování společně s pryžovými těsnícími páskami, které jsou při dovření křídel plasticky deformovány. Míra infiltrace je závislá na součiniteli spárové průvzdušnosti i_{LV} [$\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{Pa}^{-0,67}$], který je udáván výrobcem okna. [6]

3.2 Okenní skla

Skleněná okenní výplň představuje z pohledu celé okenní konstrukce největší část plochy. Její tepelně technické vlastnosti se řadí z hlediska součinitele prostupu tepla k nejhorším. [6]

Při přenosu tepelného toku touto částí hovoříme o kondukcii (vedení tepla), konvekcii (proudění) a radiaci (sálání).

Jednotlivé typy zasklení oken se vyznačují charakteristickými vlastnostmi z hlediska absorpce záření, tloušťky vrstvy skla, jejich počtu, přídatných fólií a typu média, které vyplňuje prostor mezi samotnými skleněnými tabulemi. [6]

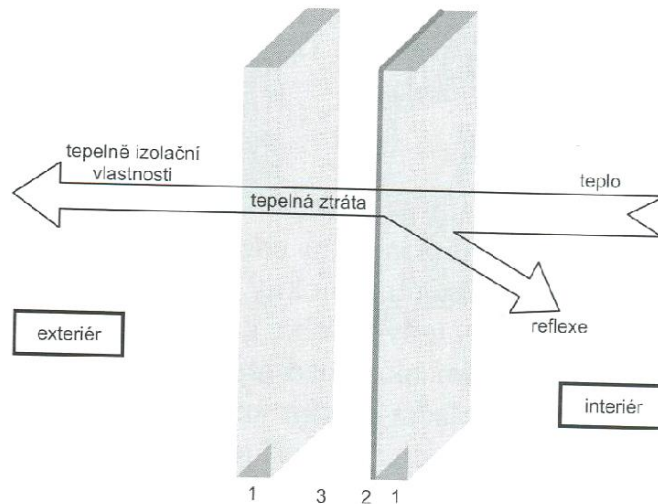
3.2.1 Druhy zasklení

Vzhledem k faktu, že skrze skleněnou okenní výplň dochází k největším tepelným ztrátám, bude daná problematika níže detailněji popsána. [6]

Stejně jako je tomu u rámců, popsaných v kapitole 3.3, tak i u zasklení je zapotřebí rozlišit jednotlivé druhy, resp. konkrétní technologické možnosti, které se v průběhu vývoje samotných budov rovněž měnily, viz kapitola 2.1. Nejenže u oken rozlišujeme druhy skel a jejich jmenovitou tloušťku, ale také jejich četnost, tj. zdvojení, nebo také použití speciálních povrchových úprav, tj. fólií nebo také výplň dutinových otvorů inertním médiem, respektive mírným podtlakem vysušeného vzduchu mezi okenními tabulemi. [6]

V současnosti nejjednodušším typem zasklení je provedení s jedním sklem. U těchto oken dosahujeme nejvyšších možných hodnot součinitele prostupu tepla U_w [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$], to znamená největších tepelných ztrát. O něco lepší je využití přídatného skla v rámečku. [6]

Velmi rozšířenou variantou je v dnešní době izolační dvojsklo – s nebo bez selektivní vrstvy, která zabraňuje oboustrannému prostupu tepla, přičemž světelné podmínky uvnitř zůstávají zachovány. Tuto variantu je rovněž možno provést i s pomocí přídatného skla a rámečku, tak jako tomu bylo u jednoduchého skla. Existuje také izolační trojsklo a čtyřsklo. [6]



Obr. 3.1 Funkce izolačního dvojskla se selektivní vrstvou:

1 – sklo, 2 – nízkoemisní vrstva, 3 – dutina mezi skly [6]

Samotná tabulka hodnot normativních nároků na součinitel prostupu tepla pro jednotlivé druhy oken je uvedena v kapitole 5.

Okna s dvěma jednoduchými skly, třemi skly – s izolačním dvojsklem na vnitřní straně a další možné kombinace, nazýváme jako okna zdvojená. Více vrstev sice zlepšuje tepelně technické vlastnosti, na druhé straně však navyšuje hmotnost křídla, které pak musí být dostatečně tuhé a zároveň musí být úměrně tomu uchyceno k okennímu rámu. [6]

3.3 Okenní rámy

Pro okenní rámy a rámy okenních křídel nevyplývají pouze nároky na tepelně technické vlastnosti, respektive součinitel prostupu tepla, ale také nároky na statickou a dynamickou odolnost daného systému, s ohledem na jeho správnou funkčnost, dostatečnou tuhost a průvzdušnost spár i_{LV} [$\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Pa}^{-0,67}$]. Jednotlivé rámové konstrukce pak můžeme diverzifikovat na základě materiálu, ze kterého byl rám zhotoven. [6]

3.3.1 Dřevěné rámy

Dobré tepelně technické vlastnosti dřeva předurčují tento materiál k použití na zhotovení rámu. Jak bylo popsáno v kapitole 2.1, dřevo bylo v historickém vývoji pro svou dostupnost a dobrou opracovatelnost hojně využíváno. V současnosti se dřevěné rámy osazují nejčastěji v historických objektech, které např. procházejí rekonstrukcí. Díky nízkému součiniteli prostupu tepla u nich můžeme pozorovat

relativně jednoduchou geometrii, která se však v porovnání s ostatními konstrukčními materiály může měnit (např. vlivem vlhkosti). U těchto oken tedy očekáváme vyšší hodnoty průvzdušnosti spár, které jsou navíc v čase proměnné. V některých případech tak nemusí být díky této přirozené infiltraci dále řešena výměna vzduchu pomocí větracích klapek a mřížek, nebo dokonce s využitím nuceného větrání, jako je tomu u většiny těsných oken. [6]

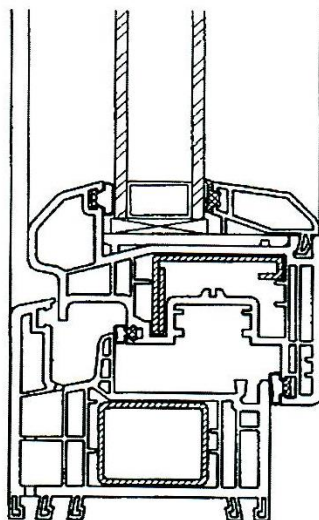
3.3.2 Kovové rámy

V posledních letech jsou u okenních ráků široce využívané kovové materiály. Ty však vykazují podstatně vyšší hodnoty součinitele prostupu tepla, než je tomu např. u oken dřevěných. V dané konfiguraci je snaha eliminovat místa, přes která dochází k úniku tepelné energie, tj. tepelné mosty. Vhodným izolačním materiálem, který tak napomáhá k přerušení tohoto tepelného mostu, je např. PUR pěna. [6]

3.3.3 Plastové a kombinované rámy

V současnosti nejrozšířenější materiál u nově vyráběných okenních ráků je plast. Hodnoty součinitele prostupu tepla pak u daného ráku závisí na počtu komor. Zde platí přímá úměra, kdy vyšší počet komor znamená snížení hodnoty součinitele prostupu tepla, a tedy lepší izolační vlastnosti této části dané otvorové výplně. [6]

Nejběžnější okenní systémy jsou pak pro svou zvýšenou tuhost nabízeny jako kombinované. V tomto případě můžeme hovořit o kombinaci plastu s kovem, nebo o dřevěném ráku, který je vyztužen kovovou konstrukcí. [6]



Obr. 3.2 Řez pětikomorovým plastovým oknem [6]

3.4 Okenní clony

Podstatného zlepšení tepelně technických vlastností okenních otvorových výplní můžeme dosáhnout pomocí dalších přídatných konstrukcí. Tato konstrukce může být umístěna vně, uvnitř nebo na vnitřní straně okna.

Sluneční okenní clony jsou z hlediska tepelných ztrát nepříliš zajímavé. Jejich zásadní vliv spočívá například při zlepšování tepelné stability místnosti. Zde je rozhodující určení, respektive regulace tepelných zisků ze slunečního záření. [6]

Slunolamy disponují nastavitelnými lamelami, které se během dne, resp. roku, v závislosti na orientaci ke světovým stranám, natácejí. Jejich předchůdcem byly okenice, viz kapitola 2.1. Tato předokenní otevíratelná křídla plní i bezpečnostní funkci. Dalšími prvky jsou markýzy – membránové clony a okenní žaluzie, které se mohou vyskytovat vně, uvnitř nebo mezi skly. Jejich účinnost proti pronikání slunečního záření v závislosti na umístění klesá, přičemž nejlepších výsledků dosahujeme u žaluzií na vnější straně okna. [6]

3.5 Větrací systémy oken

V případech přirozeného větrání budov využíváme následující možnosti. Větrací křídla jsou součástí otvorové výplně a regulace je prováděna skrze vlastní konstrukci a kování. V jiných případech se do rámu umístí větrací klapky či mřížky, které pracují s rozdílem tlaků vzduchu v interiéru a exteriéru. V případě silného poryvu větru dochází k jejich automatickému uzavření. Další možností jsou větrací štěrby, situované v horní, dolní nebo boční části okna. Poslední možností je využití nuceného větrání, které umožňuje další úpravu větracího vzduchu, včetně zpětného získávání tepla. [6]

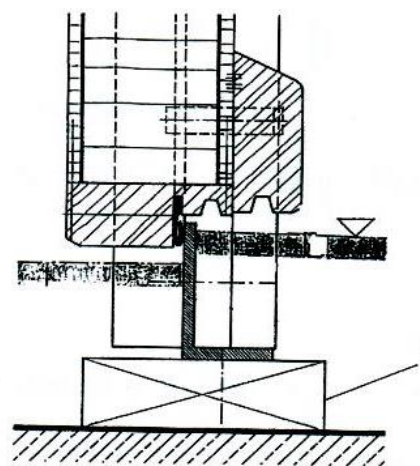
4. DVEŘNÍ OTVOR

Venkovní dveře, jakožto součást obvodové stěny podléhají stejně jako okna celé řadě nároků, které jsou pro ně explicitně dány normou, či vznikají z podstaty tohoto stavebního prvku jako takového. V první řadě je to odolnost proti tepelným ztrátám, odolnost proti vniknutí (bezpečnostní), izolace dveří proti dešťové vodě, statická a dynamická odolnost proti povětrnostním vlivům a odolnost dveří proti pronikání akustického hluku nebo šíření požáru. „Základní funkcí dveří je komunikační spojení dvou prostorů se stejným nebo různým klimatem. Z hlediska tepelně technického jsou na ně kladeny prakticky stejné požadavky jako na okna.“ [6]

4.1 Tepelné ztráty dveří

K tepelným ztrátám dochází skrze zárubně a dveřní křídla. Zárubně představují spojení dveřní konstrukce se stěnou. Mezi nejběžnější zárubně patří kovové, plastové, dřevěné a kombinované. Setkáváme se zde principiálně s identickou problematikou, jako tomu bylo u okenních rámců, popsanou v kapitole 3.3. Samotná dveřní křídla jsou pak z pohledu konstrukce dělena buďto na rámová nebo na desková. Z tepelně technického pohledu se jeví rámová konstrukce jako výhodnější, jelikož se jako výplň může použít izolační materiál, díky kterému pak můžeme dosáhnout požadovaných hodnot součinitele prostupu tepla. V případě prosklení venkovních dveří musí být použito izolační dvojsklo nebo trojsklo, které by mělo být s ohledem na bezpečnostní nároky opatřeno fólií. [6]

Těsnění dveří se provádí v závislosti na jejich umístění. V případě venkovních dveří, které jsou na obvodové stěně objektu, je zásadní faktor infiltrace vzduchu. Těsněna bývá přípojovací spára mezi zárubní a stěnou, funkční spára mezi zárubní a křídlem, resp. zasklívací spára, v případech, kdy se jedná o zasklívání dveře. K danému účelu jsou používány různé těsnicí profily a trvale pružné tmely. K těsnění dveřního křídla bývá používána parotěsná zábrana, která se společně s tepelnou izolací umísťuje na vnitřní straně. U venkovních dveří je doporučováno dvoustupňové těsnění. [6]



Obr. 3.2 Příklad těsnění dveří u prahu [6]

5. VÝVOJ NORMATIVNÍCH POŽADAVKŮ A PŘEDPISŮ V TEPELNÉ TECHNICE

Normativní požadavky a předpisy na poli stavební tepelné techniky procházejí kontinuálním vývojem. Přirozeně tak reflektují posun v oblasti energetických nároků na pozemní stavby, vztažený na určité období, geografickou polohu a také s ohledem na určitý stupeň technické úrovně konstrukčních prvků. Tyto prvky jsou průběžně inovovány a společně s novými konstrukčními řešeními zlepšují tepelně technické vlastnosti prvků budov. Vzhledem ke klimatickým podmínkám ve skandinávských zemích a v Kanadě byly normativní nároky vždy o mnoho přísnější než ve zbytku světa. Kroky těchto zemí dokonce předbíhaly ropnou krizi během 70. let, při níž došlo k prudkému zdražení cen energie, která byla v některých zemích z velké části závislá na dodávkách ropy. K postupnému zpřísnování požadavků a předpisů dochází nepřetržitě nejen na území západní Evropy, ale také na území České republiky. Případné odlišnosti mohou být dány specifickými klimatickými podmínkami, rozdílnými stavebními tradicemi a také legislativními procesy na území každého jednotlivého státu. K drobnému pokroku při sjednocení předpisů s okolními zeměmi došlo při převzetí EN ISO předpisů do soustavy ČSN. [6, 7]

5.1 Vývoj normativních požadavků a předpisů v České republice

Tepelná ochrana budov – dnes upravená ČSN 73 0540 popisuje požadavky na energetickou náročnost budov. První norma zabývající se danou problematikou byla zpracována již v roce 1954. Od té doby prošla několikageneračním vývojem, který spočíval ve změnách hodnot tepelného odporu R , respektive součinitele prostupu tepla U . Daná norma však ve svém prvním vydání nezahrnovala součinitel prostupu tepla okny, nýbrž pouze výše zmiňované součinitele u vnějších stěn a střechy. [6]

5.1.1 I. generace před rokem 1964

První generace tepelně technických požadavků zaměřená na konstrukční prvky probíhala v období před rokem 1964. Udávané hodnoty R a U vycházely z etalonu stěny z plných cihel o určité tloušťce, avšak požadavek na otvorové výplně – okna, respektive dveře nebyl specifikován. [6]

5.1.2 II. generace mezi lety 1964 a 1979

U druhé generace, v období mezi lety 1964 a 1979, dochází k několika změnám týkajících se hodnot tepelných odporů a součinitelů prostupu tepla. Poprvé se zde objevuje hodnota pro otvorové výplně v obvodovém plášti. Tato hodnota u oken činila $3,7 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$. [6]

5.1.3 III. generace mezi lety 1979 a 1992

V případě třetí generace, s dobou účinnosti od roku 1979 do roku 1992, se začíná respektovat hledisko tepelné pohody v průběhu celého roku, které je definované tepelnou stabilitou v zimním období, jako součtová teplota na konci otopné přestávky a v letním období, jako nejvyšší denní vzestup teploty vnitřního vzduchu. [6]

Nově přepracovaná norma ČSN 73 0540 poprvé zavádí tři odlišné výpočtové venkovní teploty vzduchu t_e v zimním období, které jsou stanoveny dle geografické polohy. Dále pak se u oken a dveří objevuje celkový tepelný odpor. [6]

5.1.4 IV. generace mezi lety 1992 a 1994

V období mezi lety 1992 až 1994 můžeme hovořit o čtvrté generaci, která i vzhledem k délce trvání naznačuje, že se jednalo o takzvané překlenovací období. V potaz se bralo převážně hledisko celkové energetické náročnosti objektu. V této generaci došlo ke snížení součinitele prostupu tepla na hodnotu $2,7 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$, kterého se však v praxi velmi obtížně dosahovalo, a proto hned v dalším období došlo k mírnému snížení nároku na otvorovou výplň. [6]

5.1.5 V. generace mezi lety 1994 a 2002

Daná aktualizace normy ČSN 73 0540 obsahuje standardy konstrukce, které odpovídají doporučeným hodnotám z období čtvrté generace, nicméně se zde setkáváme s úrovní evropských standardů energeticky úsporných objektů. [6]

Daná norma sestávala ze čtyř částí, kdy každá z nich plnila určitou funkci – od definic, přes funkční požadavky, až po navrhování a ověřování.

V tomto období došlo ke zmírnění nároků na součinitel prostupu tepla u oken (na hodnotu $2,9 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$), oproti předchozí IV. generaci. Jednalo se tak o jediný „krok zpět“ v celém vývoji normativních nároků na otvorové výplně. [6]

5.1.6 VI. generace mezi lety 2002 a 2005

V období šesté generace dochází k aktualizaci normy ČSN 73 0540-2, kde se setkáváme s výrazným zpřísněním na původní i nové požadavky stavební konstrukce. U oken dochází ke změně hodnot součinitele prostupu tepla z $2,9 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$ na $1,2 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$. Hlavní změnou je zavedení součinitele prostupu tepla U , jakožto hodnotícího požadavku u neprůsvitné konstrukce. Ke změnám dochází rovněž u energetického požadavku. Zavádí se nová hodnotící veličina – měrná potřeba tepla na vytápění. K doložení splnění požadavku na energetickou náročnost slouží tzv. energetický štítek. [6]

5.1.7 VII. generace po roce 2005

V novelizované části normy ČSN 73 0540 dochází s ohledem na evropské normy k přepracování všech jejích čtyř částí. Změna s sebou přinesla i některé nové hodnotící veličiny, které se týkaly energetických požadavků. Stavebně energetické vlastnosti budov se začínají hodnotit pomocí průměrného součinitele prostupu tepla. [6]

5.1.8 VIII. generace po roce 2007

V této etapě došlo k dalšímu vývoji požadovaných a doporučených hodnot součinitelů prostupu tepla, potažmo snížení energetické náročnosti na samotné stavby. Dané požadavky jsou specifikovány pro návrh objektů s vnitřní teplotou v rozmezí 18 až 24 °C.

5.1.9 IX. generace po roce 2011

Aktuálně poslední platná novelizace normy ČSN 73 0540-2 upravuje požadavky na součinitele prostupu tepla u stavebních konstrukcí. Části 73 0540-1, 73 0540-3 a 73 0540-4 přetrvávají z roku 2005.

Za zmínku stojí další doplňkové normy, které mají přímou vazbu na řešenou problematiku, jako třeba ČSN EN ISO 10077-1 „Tepelné chování oken, dveří a okenic – Výpočet součinitele prostupu tepla – Část 1: Zjednodušená metoda“.

V dnešní době nejsou normy závazné a tak danou oblast reguluje platná vyhláška. V tomto případě vyhláška č. 323/2017 Sb., která nahradila dřívější vyhlášku č. 268/2009 Sb. o technických požadavcích na stavby, kde byl uveden bod „(3) Požadavky na tepelně technické vlastnosti konstrukcí a budov jsou dány normovými hodnotami.“ [6, 8]

5.2 Normativní požadavky v zahraničí

Evropský výbor pro normalizaci (ECS), je nezisková organizace, které je Česká republika členem. ECS má za cíl rozvoj, údržbu a šíření souborů norem. Odpovědnost za tepelnou ochranu budov nese komise CEN TC 89. Jejím programem jsou hlavně měřicí a výpočetní postupy. Konkrétní požadavky na konstrukce budov s ohledem na klimatické podmínky zůstávají v národních kompetencích. Důvodem je rozličná struktura právního systému každého státu, také již zmiňované podnební podmínky a regionální stavební tradice. [6]

V níže uvedené tabulce můžeme porovnat normativní požadavky na okna a dveře v jednotlivých členských zemích organizace ECS. [6]

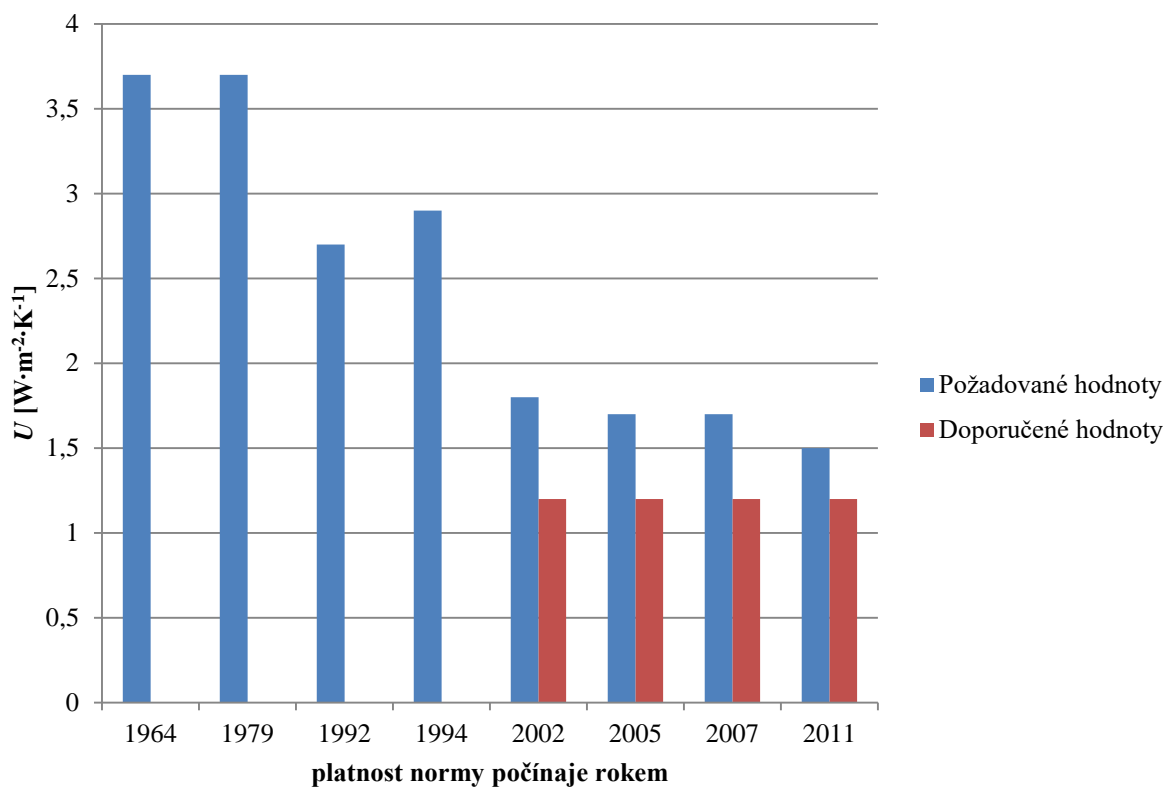
Tab. 5.1 Přehled požadovaných hodnot součinitele prostupu tepla U ve vybraných zemích [6]

země	okna U [$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$]	dveře U [$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$]
Česká republika	nové: 1,7	nové: 1,7
	upravené: 2,0	upravené: 2,0
Česká republika*	nové: 1,2	nové: 1,2
	upravené: 1,4	upravené: 1,4
Slovensko	2,0	4,3
Slovensko*	1,7	3,0
Rakousko	1,7	1,7
Belgie	2,5-3,5	3,5
Dánsko	1,5	1,8
Finsko	1,8	0,7
Francie (EC)	2,45	1,3
Francie (Elec)	2,45	1,3
Německo	1,65	2,0
Řecko	3,5	3,5
Itálie	2,75	3,66
Irsko	3,3	3,3
Lucembursko	2,0	2,0
Holandsko	1,5-2,5	
Norsko	1,6	1,6
Portugalsko	4,2	3,5
Švédsko	1,6	1,6
Velká Británie	2,2	2,2
Skotsko	2,2	2,2

* doporučené hodnoty

5.3 Vývoj tepelně technických požadavků u oken

Pro všechny prvky stavební konstrukce se v průběhu let měnily nároky z hlediska tepelně technických vlastností. Stejně tak tomu bylo i u oken, u kterých se hodnota součinitele prostupu tepla udávala, v porovnání s ostatními stavebními prvky, až od II. generace. Tehdy tato hodnota činila $3,7 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$. Další změny se norma ČSN 73 0540 dočkává v roce 1979, 1992, 1994, 2002, 2005, 2007 a 2011, viz obr. 5.1. V průběhu let došlo k posunu z původních $3,7 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$ na $1,2 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$. V případě pasivních budov je doporučená hodnota $U_{pas,20}$ dokonce v rozmezí 0,8 až $0,6 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$. [6]



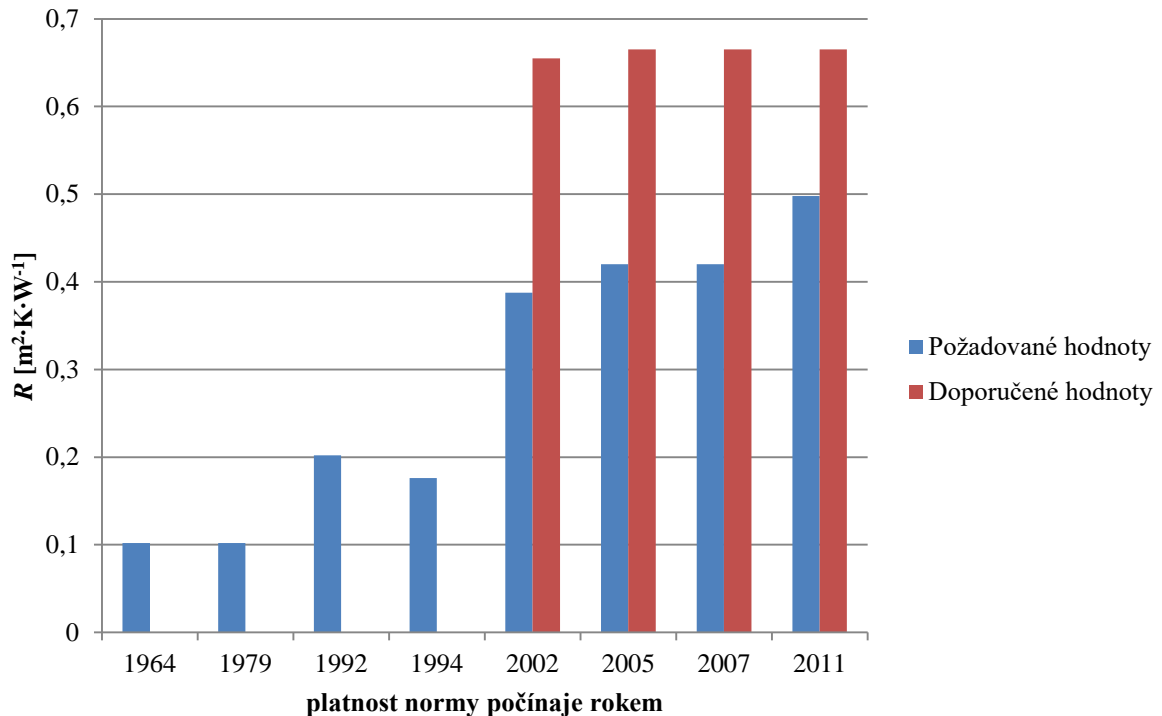
Obr. 5.1 Vývoj hodnot součinitele prostupu tepla U – oken

Tyto hodnoty nám však nic přímo neříkají o tepelném odporu konstrukce. Ten však můžeme dopočítat na základě níže uvedeného vztahu:

$$U = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + R + \frac{1}{\alpha_e}}, \quad (3)$$

kde U součinitel prostupu tepla [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$],
 R tepelný odpor konstrukce [$\text{m}^2\cdot\text{K}\cdot\text{W}^{-1}$],
 α_i součinitel přestupu tepla na vnitřní straně konstrukce [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$],
 α_e součinitel přestupu tepla na venkovní straně konstrukce [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$].

Za α_i je dosazováno $8 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$ a za hodnotu α_e $23 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$. Po upravení základního vztahu (3) získáme požadované a doporučené hodnoty tepelného odporu R pro jednotlivá období, viz obr. 5.2.



Obr. 5.2 Vývoj hodnot tepelného odporu R – oken

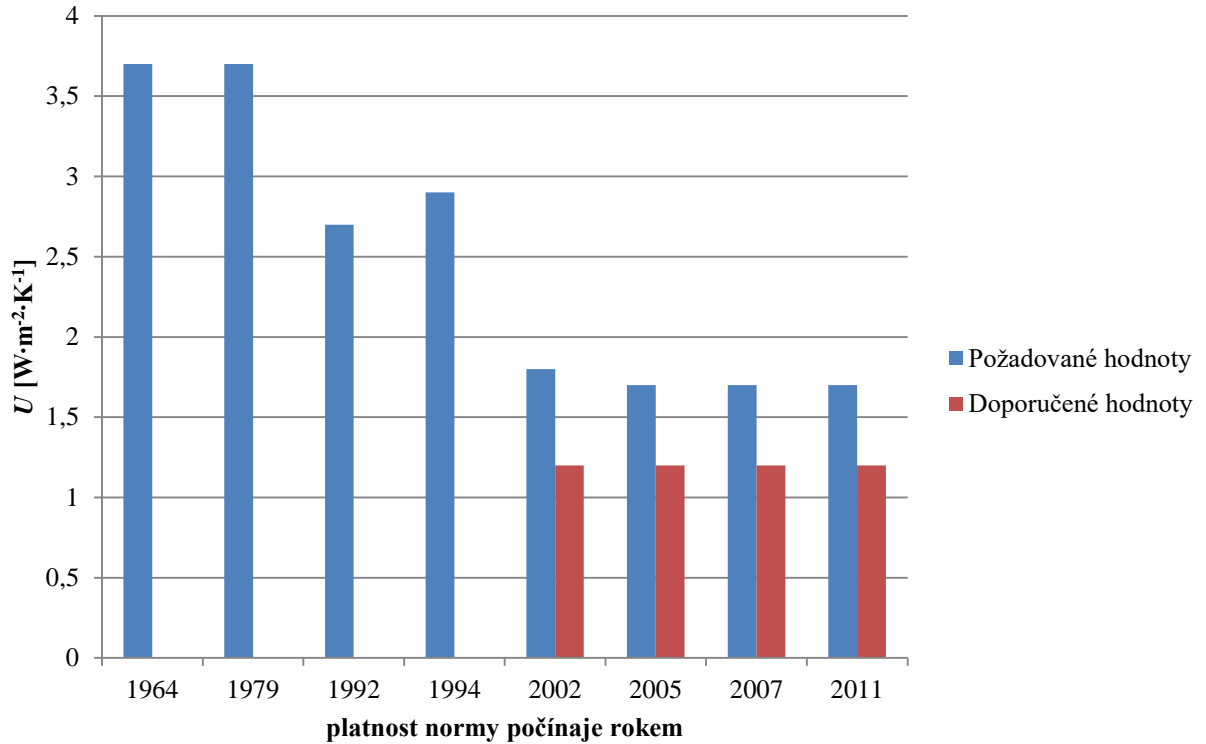
S ohledem na konstrukci oken, respektive jejich křídel, použité materiály a typ zasklení je důležité zmínit normu z roku 1994, která na rozdíl od dnes aktuální normy ČSN 73 0540-3 obsahovala tabulku součinitelů prostupu tepla pro konkrétní konfigurace. V tabulce uvedené na následující stránce tak můžeme detailně pozorovat souvislosti mezi jednotlivými materiály, jako je dřevo, plast, kov a jejich kombinace, která byla zmíněna v kapitole 3. Jsou zde zastoupeny tři hodnoty: normová hodnota součinitele prostupu tepla $U_{ok,n}$ [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$], jeho ponížená výpočtová hodnota $U_{ok,p}$ [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$] a součinitel spárové průvzdušnosti i_{LV} [$\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{Pa}^{-0,67}$], který je zcela zásadní při návrhu výplně okenního otvoru, případně posuzujeme-li aktuální stav starší budovy, například v případech, kdy ji chceme rekonstruovat. Na danou problematiku však nesmí být nahlíženo jednostranně. Zdokonalování a zpřísnování nároku na otvorovou výplň s sebou přináší úskalí v podobě zvýšené koncentrace škodlivin ve větraném prostoru. V každém případě musí být respektováno nařízení vlády č. 361/2007 Sb., které stanovuje intenzitu výměny vzduchu.

Tab. 5.2 Součinitel prostupu tepla a součinitel spárové průvzdušnosti
dle ČSN 73 0540-3 (1994)

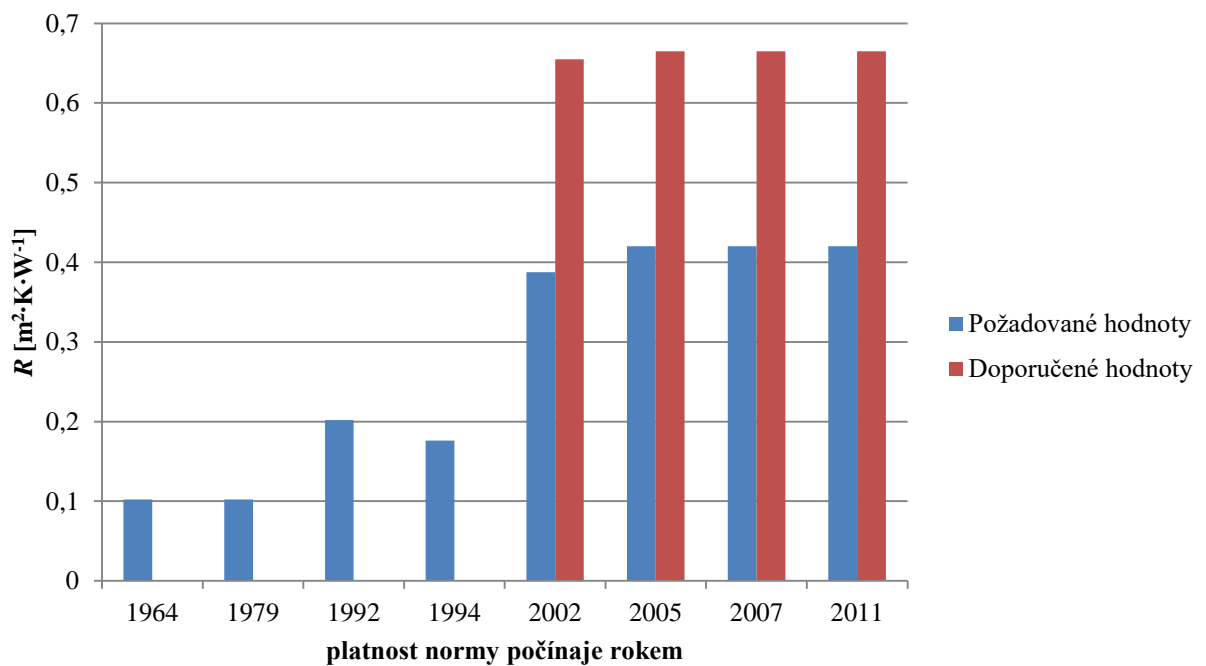
Druhy oken a dveří		Normové hodnoty		Výpočtová hodnota součinitele prostupu tepla
		Součinitel prostupu tepla	Součinitel spárové průvzdušnosti	
		$U_{ok,n}$	$i_{LV} \cdot 10^{-4}$	
		[W·m ⁻² ·K ⁻¹]	[m ² ·s ⁻¹ ·Pa ^{-0,67}]	
Okna dřevěná, kombinovaná a z plastů				
1 Jednoduchá okna				
01.1	s jedním sklem	4,5	1,9	5,2
01.2	s přidavným sklem v rámečku z plastu nebo kovu (sdružené křídlo)	2,6	1,9	3,0
01.3	s izolačním dvojsklem bez selektivní vrstvy	2,5	1,9	2,9
01.4	s izolačním dvojsklem se selektivní vrstvou	1,8	1,9	2,1
01.5	s izolačním dvojsklem bez selektivní vrstvy a s přidavným sklem v rámečku z plastu nebo kovu (sdružené křídlo)	1,9	1,9	2,2
01.6	s izolačním trojsklem	1,8	1,9	2,1
2 Zdvojená okna				
02.1	se dvěma skly	2,4	1,4	2,8
02.2	se třemi skly s izolačním dvojsklem na vnitřní straně okna	1,7	1,4	2,0
02.3	se třemi skly, třetí sklo v rámečku mezi křídly	1,65	1,4	1,9
3 Dvojitá okna dřevěná, kombinovaná a z plastů				
03.1	dvojitá, dvě skla	2,35	1,2	2,7
03.2	dvojitá, sklo jednoduché a dvojsklo	1,4		1,6
Okna kovová				
4 Jednoduchá				
04.1	s jedním sklem	5,65	1,9	6,5
04.2	s izolačním dvojsklem	3,9	1,9	4,5
04.3	s izolačním dvojsklem a přerušeným tepelným mostem	3,2	1,9	3,7
04.4	s izolačním dvojsklem, se selektivní vrstvou a přerušeným tepelným mostem	2,35	1,9	2,7
04.5	s izolačním trojsklem a přerušeným tepelným mostem	2,5	1,9	2,8
5 Zdvojená okna				
05.1	se dvěma skly	3,3	1,4	3,8
05.2	se dvěma skly a přerušeným tepelným mostem	2,8	1,4	3,2
05.3	se třemi skly s izolačním dvojsklem na vnitřní straně okna a přerušeným tepelným mostem	2,4	1,4	2,8

5.4 Vývoj tepelně technických požadavků u dveří

Stejně jako tomu bylo u oken, obdobným vývojem prošla i otvorová výplň dveří. Identicky získané údaje jsou uvedeny v níže uvedených grafech. [6]



Obr. 5.3 Vývoj hodnot součinitele prostupu tepla U – dveří



Obr. 5.4 Vývoj hodnot tepelného odporu R – dveří

Tab. 5.3 Součinitel prostupu tepla dveří dle ČSN 73 0540-3 (1994)

Druhy oken a dveří		Normové hodnoty	
		Součinitel prostupu tepla	
		$U_{ok,n}$	
		[W·m ⁻² ·K ⁻¹]	
		Výpočtová hodnota součinitele prostupu tepla	
		$U_{ok,p}$	
		[W·m ⁻² ·K ⁻¹]	
6 Dveře			
06.1	domovní dřevěné bez skleněné výplně	2,3	2,6
06.2	domovní dřevěné s jedním sklem	4,0	4,7
06.3	domovní kovové s jedním sklem	5,65	6,5
06.4	balkónové, viz okna		
06.5	vnitřní dřevěné plné	2,0	2,0
06.6	vnitřní dřevěné zasklené jedním sklem	3,5	3,5
06.7	vnitřní dřevěné zasklené jedním sklem ze 2/3	3,0	3,0

6. VÝPOČET TEPELNÉ ZTRÁTY BUDOVY

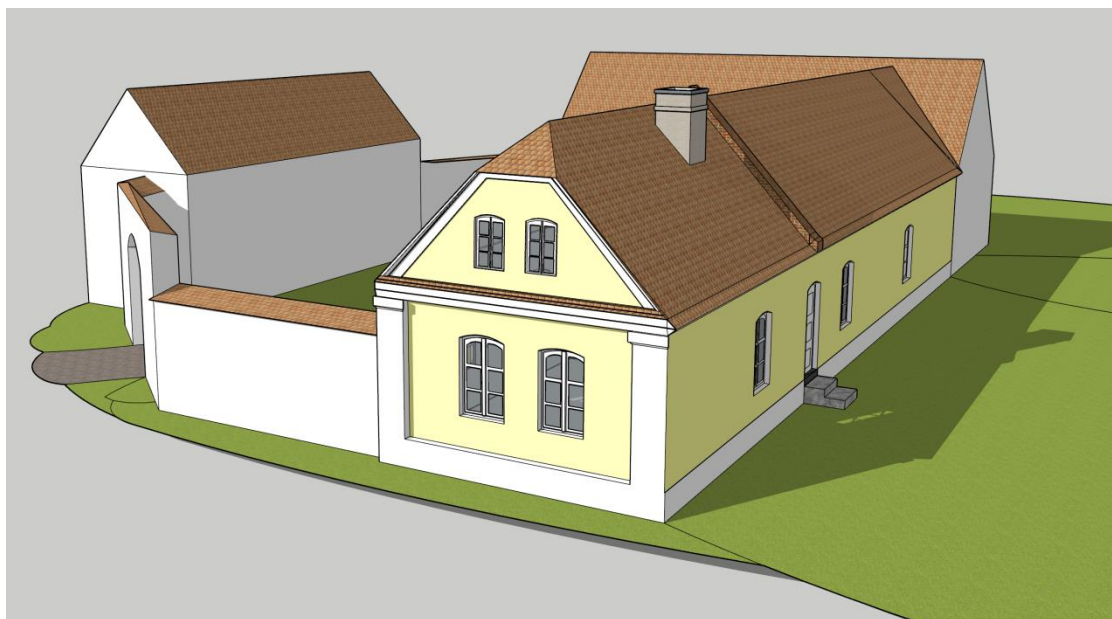
V této kapitole budou stanoveny tepelné ztráty pro námi zvolený objekt. Výpočet se bude řídit normou ČSN 06 0210. Při práci s touto normou bude přistupováno k tepelně technickým vlastnostem, tj. k součiniteli prostupu tepla U , resp. požadavkům na tepelný odpor konstrukce R , jednotlivých stavebních prvků individuálně. Za počáteční hodnoty těchto dvou součinitelů budou uvažovány parametry vnější stěny z první generace tepelně technických požadavků popsané v kapitole 5.1, z období před rokem 1964 a tepelně technické požadavky na strop a podlahu z třetí generace, tj. z roku 1979. Následně budou přepočteny jednotlivé tepelné ztráty pro zbylé etapy, s ohledem na normativní vývoj požadavků na součinitel prostupu tepla, resp. tepelný odpor konstrukce vnějších dveří a oken a jejich součinitel spárové průvzdušnosti a teplot v neobývaném půdním prostoru. Zbytek parametrů, tj. vývoj požadavků na zdivo, podlahu či strop, případná přídavná izolace v této práci nebude uvažována. Danou modelovou situaci si můžeme představit jako starší objekt, u kterého během rekonstrukce, v daném období, došlo pouze k výměně oken a dveří. Změny požadavků, ze kterých se při výpočtech vychází, byly popsány v kapitole 5.

6.1 Popis objektu

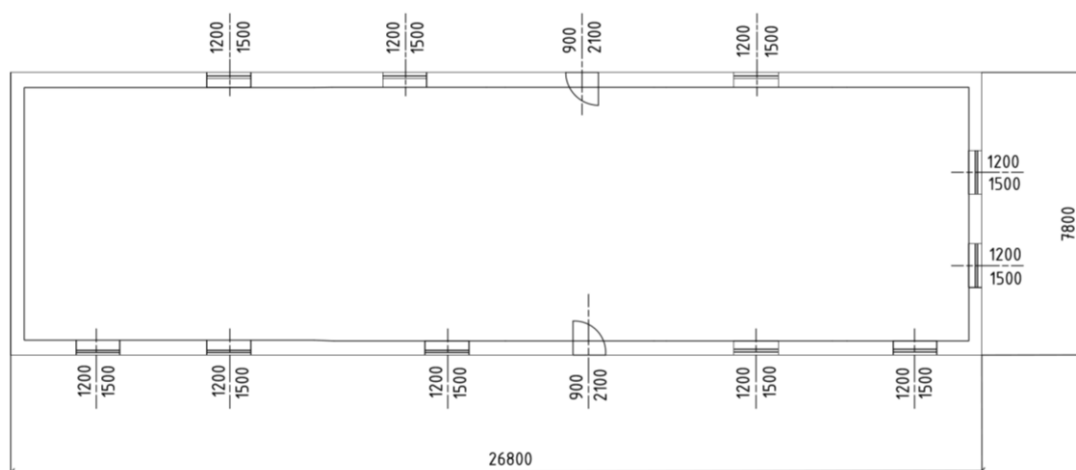
Objekt, u kterého budou stanoveny jednotlivé tepelné ztráty, je vyobrazen na obr. 6.1. Jedná se o jednopodlažní budovu se sedlovou střechou, ve které je využíváno pouze první nadzemní podlaží. Půdní prostor není určen k obývání.

Půdorys objektu je obdélníkový, viz obr. 6.2, o rozměrech 26,8 x 7,8 m. Výška stropu je 2,7 m a jeho tloušťka činí 0,3 m. Samotné vnější stěny pak mají tloušťku 0,4 m. Daný objekt disponuje deseti okny o jednotném rozměru 1,2 x 1,5 m a dvojicí vnějších (vstupních) dveří 0,9 x 2,1 m.

Vnitřní uspořádání jednotlivých místností uvnitř objektu je uvedeno v příloze 01. Orientace budovy a samotné rozměry jsou rovněž uvedeny v přílohách 01 a 02, kterých bude využito při výpočtu pomocí obáلكové metody v kapitole 6.2.



Obr. 6.1 Model řešeného objektu



Obr. 6.2 Půdorys daného objektu při použití obáلكové metody

6.2 Výpočet tepelné ztráty objektu obálkovou metodou dle normy ČSN 06 0210

K určení celkové tepelné ztráty pomocí obálkové metody \dot{Q}_c [W] musí být nejprve stanovena tepelná ztráta prostupem konstrukcemi \dot{Q}_p [W] a tepelná ztráta větráním \dot{Q}_v [W]. Samotný vztah a další dílčí výpočty jsou stanoveny normou ČSN 06 0210 následovně:

$$\dot{Q}_c = \dot{Q}_p + \dot{Q}_v - \dot{Q}_z, \quad (4)$$

kde \dot{Q}_c celková tepelná ztráta [W],
 \dot{Q}_p tepelná ztráta prostupem tepla [W],
 \dot{Q}_v tepelná ztráta větráním [W],
 \dot{Q}_z trvalý tepelný zisk [W].

Trvalé tepelné zisky jsou zpravidla spojeny s uvnitř provozovanou technologií, např. ve výrobně nebo v datových centrech. Námí zvolený objekt neslouží k žádnému z těchto účelů. Tepelné zisky ze slunečního záření jsou rovněž zanedbány, neboť se nejedná o trvalé zisky, a proto se nebude trvalý tepelný zisk dále ve výpočtech objevovat.

6.2.1 Výpočet tepelné ztráty prostupem

Tepelnou ztrátu prostupem tepla konstrukcemi \dot{Q}_p [W] určíme pomocí následujícího vztahu:

$$\dot{Q}_p = \dot{Q}_0 \cdot (1 + p_1 + p_2 + p_3), \quad (5)$$

kde \dot{Q}_p tepelná ztráta prostupem tepla [W],
 \dot{Q}_0 základní tepelná ztráta prostupem tepla [W],
 p_1 přírážka na vyrovnání vlivu chladných stěn [-],
 p_2 přírážka na urychlení zátopy [-],
 p_3 přírážka na světovou stranu [-].

Výpočet základní tepelné ztráty prostupem \dot{Q}_0

Základní tepelná ztráta prostupem \dot{Q}_0 [W] je sumou jednotlivých tepelných toků prostupem tepla v ustáleném stavu danými konstrukcemi, které ohraničují vytápěnou místnost od venkovního prostředí. Základní tepelná ztráta prostupem je definována následujícím vztahem:

$$\dot{Q}_0 = \sum_{j=1}^{j=n} U_j \cdot S_j \cdot (t_i - t_{e,j}), \quad (6)$$

- kde \dot{Q}_0 základní tepelná ztráta prostupem tepla [W],
 U_j součinitel prostupu tepla stavební konstrukce [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$],
 S_j plocha ochlazované části stavební konstrukce [m^2],
 t_i výpočtová vnitřní teplota [$^{\circ}\text{C}$],
 t_e výpočtová venkovní teplota [$^{\circ}\text{C}$],
 t_j výpočtová teplota na vnější straně konstrukce [$^{\circ}\text{C}$].

Jednotlivé hodnoty součinitele prostupu tepla pro zabudované konstrukce odpovídají hodnotám uvedených v kapitole 5. Celková plocha ochlazované části konstrukce je uvedena v tab. 6.1. Hodnoty výpočtové venkovní teploty a teplot na vnější straně konstrukce jsou uvedeny v tab. 6.2.

Tab. 6.1 Celková plocha jednotlivých konstrukčních prvků objektu

konstrukce	S_j [m^2]
okenní otvory	18
dveřní otvory	3,8
stěny	156,4
podlaha	182
strop	182

Celkové plochy S_j jednotlivých stavebních prvků jsou stanoveny na základě přílohy 01.

Tab. 6.2 Hodnoty výpočtových teplot přilehlého prostředí objektu na venkovní a vnější straně konstrukce

přilehlé vrstvy objektu	$t_{e,j}$ [$^{\circ}\text{C}$]
přilehlá zemina	5
výpočtová venkovní teplota	-15
půdní prostor (do III. generace)	-9
půdní prostor (pro IV. a V. generaci)	-6
půdní prostor (od VI. generace)	0

Tyto hodnoty byly určeny z normy ČSN 06 0210, tabulek A.6 a A.9.

Ke stanovení vnitřní výpočtové teploty je použit statistický vzorec, určující průměrnou teplotu uvnitř objektu, která je závislá na jednotlivých teplotách konkrétních místností a každém jejich objemu, vztaženému k celkovému objemu objektu.

$$t_i = \frac{\sum V_k \cdot t_k}{\sum V_k}, \quad (7)$$

kde t_i výpočtová vnitřní teplota [$^{\circ}\text{C}$],
 V_k objem dané místnosti [m^3],
 t_k výpočtová vnitřní teplota dané místnosti [$^{\circ}\text{C}$].

Hodnoty teplot v jednotlivých místnostech jsou uvedeny v příloze 01. Tyto teploty jsou zároveň stanoveny dle tabulky A.3, normy ČSN 06 0210. Celkové objemy místností jsou vypočteny na základě přílohy 01 a jsou uvedeny v tab. 6.3.

Tab. 6.3 Celkový objem jednotlivé místnosti

místnost	V_k [m^3]
-001-	151,2
-002-	43,2
-003-	126,9
-004-	94,5
-005-	75,6

Vnitřní výpočtová teplota objektu dle vztahu (7) činí $t_i = 19,8$ $^{\circ}\text{C}$.

Na základě vztahu (6) a dosazených hodnot z tab. 6.1, 6.2, společně s vnitřní výpočtovou teplotou a hodnotami požadovaného a doporučeného součinitele prostupu tepla U z kapitoly 5, byla vypočtena základní tepelné ztráta \dot{Q}_0 pro jednotlivé generace. Výsledné zaokrouhlené hodnoty jsou uvedeny v tab. 6.4.

Tab. 6.4 Hodnoty základní tepelné ztráty prostupem \dot{Q}_0 pro jednotlivá období

období	\dot{Q}_0 [W] pro požadované U	\dot{Q}_0 [W] pro doporučené U
I. generace (do 1964)	18 250	-
II. generace (1964-1979)	17 640	-
III. generace (1979-1992)	17 640	-
IV. generace (1992-1994)	16 470	-
V. generace (1994-2002)	16 620	-
VI. generace (2002-2005)	14 960	14 500
VII. generace (2005)	14 880	14 500
VIII. generace (2007)	14 880	14 500
IX. generace (2011)	14 760	14 500

Výpočet přírážek p_1, p_2, p_3

Přírážka p_1 na vyrovnání vlivu chladných stěn

Přírážka na vyrovnání vlivu chladných stěn p_1 zohledňuje skutečnost, že vnitřní výpočtová teplota není teplotou vzduchu, ale výslednou teplotou (měřena kulovým teploměrem). U převážně konvekčního způsobu vytápění tak napravuje skutečnost, že je teplota vzduchu vyšší než výsledná teplota a střední radiační teplota je výrazně nižší. U sálavého způsobu vytápění tomu tak není a proto se s přírážkou na vyrovnání vlivu chladných stěn nepočítá. [9]

Daná přírážka na vyrovnání vlivu chladných stěn závisí na celkovém součiniteli prostupu tepla místnosti (u obálkové metody objektu) U_c , který určíme z následujícího vztahu:

$$U_c = \frac{\dot{Q}_0}{S \cdot (t_i - t_e)}, \quad (8)$$

- kde U_c celkový součinitel prostupu tepla všech konstrukcí místnosti [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$],
 \dot{Q}_0 základní tepelná ztráta prostupem tepla [W],
 S celková plocha všech konstrukcí ohraničující vytápěnou místnost [m^2],
 t_i výpočtová vnitřní teplota [$^{\circ}\text{C}$],
 t_e výpočtová venkovní teplota [$^{\circ}\text{C}$].

Celková plocha všech konstrukcí ohraničující vytápěnou místnost $S = 524,2 \text{ m}^2$.

Přirážka na vyrovnání vlivu chladných stěn se následně stanoví dle vztahu:

$$p_1 = 0,15 \cdot U_c, \quad (9)$$

kde p_1 přirážka na vyrovnání vlivu chladných stěn [-],

U_c celkový součinitel prostupu tepla místnosti [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$].

Přirážka p_2 na urychlení zátoku

S přirážkou na urychlení zátoku p_2 , dle normy ČSN 06 0210, se kalkuluje pouze tehdy, kdy v objektu (bytový dům, nemocnice) při nejnižších venkovních teplotách nelze zajistit nepřerušovaný provoz vytápění. V normálních situacích se s danou přirážkou nepočítá, jelikož se předpokládá nepřerušovaný provoz vytápění.

S danou přirážkou nebude počítáno ani v této bakalářské práci.

Přirážka p_3 na světovou stranu

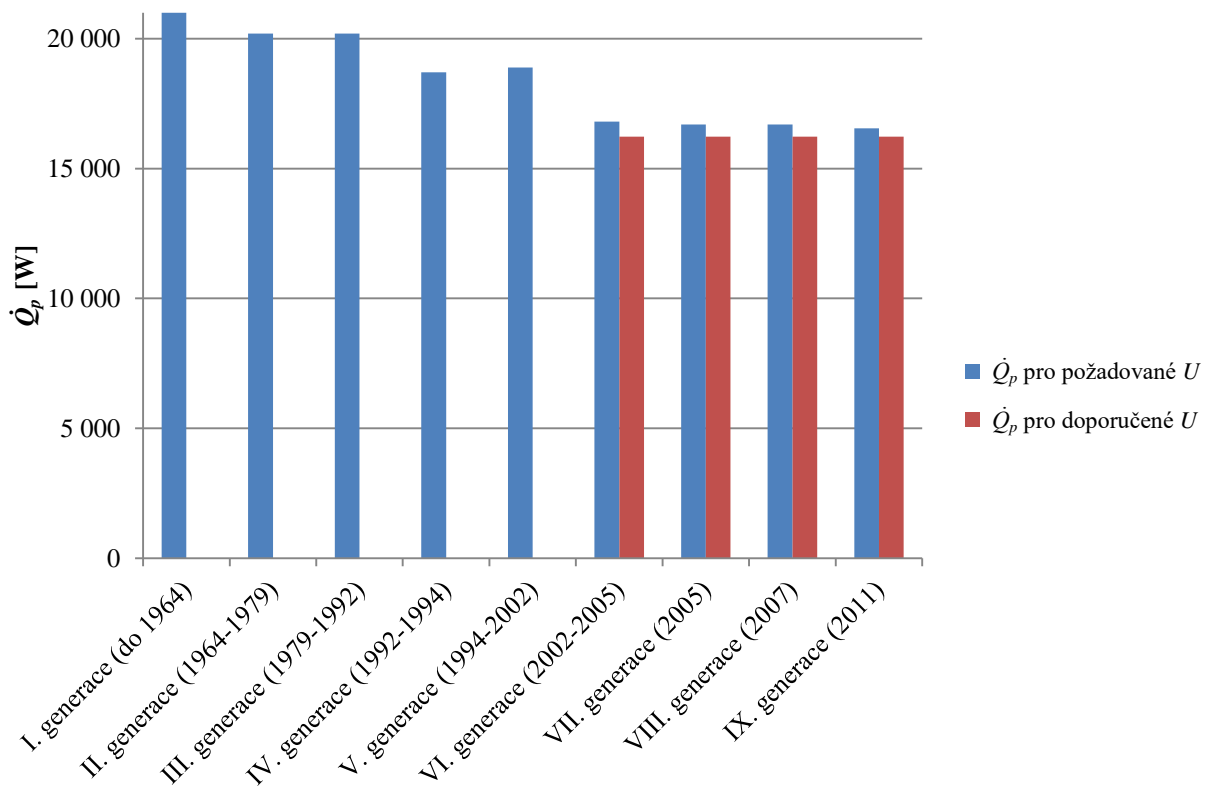
Přirážka na světovou stranu p_3 se určuje na základě tabulky A.8, dle normy ČSN 06 0210. O výši přirážky rozhoduje nejvíce ochlazovaná stavební konstrukce místnosti. Při větším počtu ochlazovaných konstrukcí pak poloha jejich společného rohu.

Vzhledem k daným rozměrům a poloze modelového objektu viz příloha 02 lze usoudit, že přirážka na světovou stranu vychází nulová. Z toho důvodu nebude v této práci počítáno ani s přirážkou na světovou stranu p_3 .

Celkové hodnoty tepelné ztráty prostupem \dot{Q}_p vypočítané dle vztahu (5) jsou uvedeny v tab. 6.5. Ty jsou pro názornost vyobrazeny v sloupcovém grafu na obr. 6.3. Z obrázku je patrné, že se hodnoty pro poslední generace tepelně technických požadavků nemění. To je způsobeno stejnými doporučenými hodnotami součinitelů prostupu tepla, resp. hodnot tepelných odporů, které jsou dány příslušnou normou ČSN 73 0540-2.

Tab. 6.5 Výsledné hodnoty tepelné ztráty prostupem \dot{Q}_p pro jednotlivá období

období	\dot{Q}_p [W] pro požadované U	\dot{Q}_p [W] pro doporučené U
I. generace (do 1964)	20 990	-
II. generace (1964-1979)	20 200	-
III. generace (1979-1992)	20 200	-
IV. generace (1992-1994)	18 700	-
V. generace (1994-2002)	18 890	-
VI. generace (2002-2005)	16 800	16 230
VII. generace (2005)	16 700	16 230
VIII. generace (2007)	16 700	16 230
IX. generace (2011)	16 550	16 230

Obr. 6.3 Vývoj hodnot tepelné ztráty prostupem \dot{Q}_p

6.2.2 Výpočet tepelné ztráty větráním

Tepelná ztráta místnosti, respektive objektu, větráním \dot{Q}_v [W] závisí na potřebné intenzitě výměny vzduchu n_h [h^{-1}], která vychází z hygienických nebo technologických požadavků, např. při odvlhčování objektu či odvodu škodlivin obsažených ve vzduchu

uvnitř objektu. V současné době jsou dané požadavky obsaženy v nařízení vlády č. 361/2007 Sb., které stanovuje intenzitu výměny vzduchu. Další tepelnou ztrátou je ztráta infiltrací $\dot{Q}_{v,inf}$ [W]. Výše zmiňované ztráty se od sebe liší v objemovém průtoku větracího vzduchu \dot{V}_v [m³·s⁻¹]. V případech, kdy je objemový průtok větracího vzduchu infiltrací větší než hodnota objemového průtoku pro požadovanou intenzitu výměny vzduchu, pak za celkové tepelné ztráty objektu uvažujeme tepelnou ztrátu infiltrací. Pokud však objemový průtok větracího vzduchu infiltrací nezajistí dostatečnou výměnu vzduchu uvnitř objektu, pak bereme jako tepelnou ztrátu \dot{Q}_v . De facto lze říci, že za tepelnou ztrátu uvažujeme větší z těchto dvou vypočtených hodnot $\dot{Q}_v, \dot{Q}_{v,inf}$.

Tepelná ztráta větráním určená intenzitou výměny vzduchu

Tepelná ztráta prostoru (objektu) větráním \dot{Q}_v [W] se stanoví z následujícího vztahu:

$$\dot{Q}_v = 1300 \cdot \dot{V}_v \cdot (t_i - t_e), \quad (10)$$

kde \dot{Q}_v tepelná ztráta větráním [W],
 \dot{V}_v objemový průtok větracího vzduchu [m³·s⁻¹],
 t_i výpočtová vnitřní teplota [°C],
 t_e výpočtová venkovní teplota [°C],
 1300... konstanta – tepelná kapacita vzduchu c_v vynásobená hustotou vzduchu ρ .

Požadovaný průtok se určí ze vztahu:

$$\dot{V}_v = \frac{n_h \cdot V}{3600}, \quad (11)$$

kde \dot{V}_v objemový průtok větracího vzduchu [m³·s⁻¹],
 V vnitřní objem objektu [m³],
 n_h intenzita výměny vzduchu [h⁻¹].

Pro všechny generace tepelně technických požadavků vychází tepelná ztráta větráním \dot{Q}_v , s intenzitou výměny vzduchu $n_h = 0,5 \text{ h}^{-1}$, 3 090 W.

Tepelná ztráta infilrací

Tepelná ztráta infilrací je závislá na objemovém průtoku vzduchu, který vlivem tlakového spádu vniká do místnosti, skrze netěsnosti otvorových výplní, tj. oken a vnějších dveří. Tepelnou ztrátu infilrací $\dot{Q}_{v,inf}$ určíme na základě následujícího vztahu:

$$\dot{Q}_{v,inf} = \dot{V}_{v,inf} \cdot 1300 \cdot (t_i - t_e), \quad (12)$$

kde $\dot{Q}_{v,inf}$... tepelná ztráta infilrací [W],

$\dot{V}_{v,inf}$... objemový průtok větracího vzduchu infilrací [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$],

t_i výpočtová vnitřní teplota [$^{\circ}\text{C}$],

t_e výpočtová venkovní teplota [$^{\circ}\text{C}$],

1300... konstanta – tepelná kapacita vzduchu c_v vynásobená hustotou vzduchu ρ .

U vztahů (10) a (12), tj. \dot{Q}_v a $\dot{Q}_{v,inf}$ si můžeme všimnout podobnosti, která se liší pouze u objemových průtoků větracího vzduchu \dot{V}_v a $\dot{V}_{v,inf}$. Ten můžeme pro infilraci vypočítat na základě níže uvedeného vztahu:

$$\dot{V}_{v,inf} = \sum(i_{LV} \cdot L) \cdot B \cdot M, \quad (13)$$

kde $\dot{V}_{v,inf}$... objemový průtok větracího vzduchu infilrací [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$],

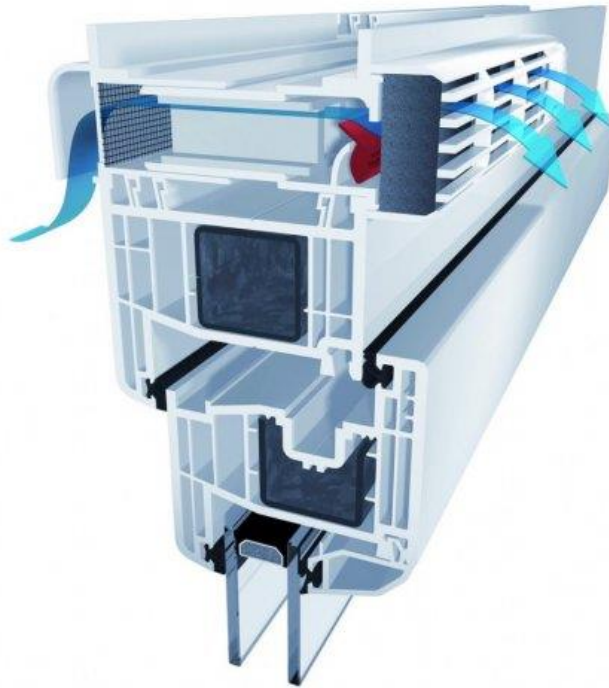
i_{LV} součinitel spárové průvzdušnosti [$\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Pa}^{-0,67}$],

L délka spár otevíratelných částí oken a venkovních dveří [m],

B charakteristické číslo budovy [$\text{Pa}^{0,67}$],

M charakteristické číslo místnosti [-].

Součinitelé spárové průvzdušnosti jsou udávány výrobcí oken, kteří nechávají svá okna měřit ve zkušebnách. Hodnoty tohoto součinitele se během posledních etap markantně snížily. Dřívější výměna vzduchu skrze infilrací spár oken a venkovních dveří tak stačila k dostatečné výměně vzduchu uvnitř objektu. Moderní okenní systémy a výplně dveří dosahují tak nízkých součinitelů spárové průvzdušnosti, že je zapotřebí zajistit výměnu vzduchu doprovodným způsobem, ať už pomocí větrací klapky, odolné vůči větru, pomocí uzavíratelné větrací mřížky nebo nuceně.



Obr. 6.4 Otevřená malá větrací klapka od výrobce GECCO [10]

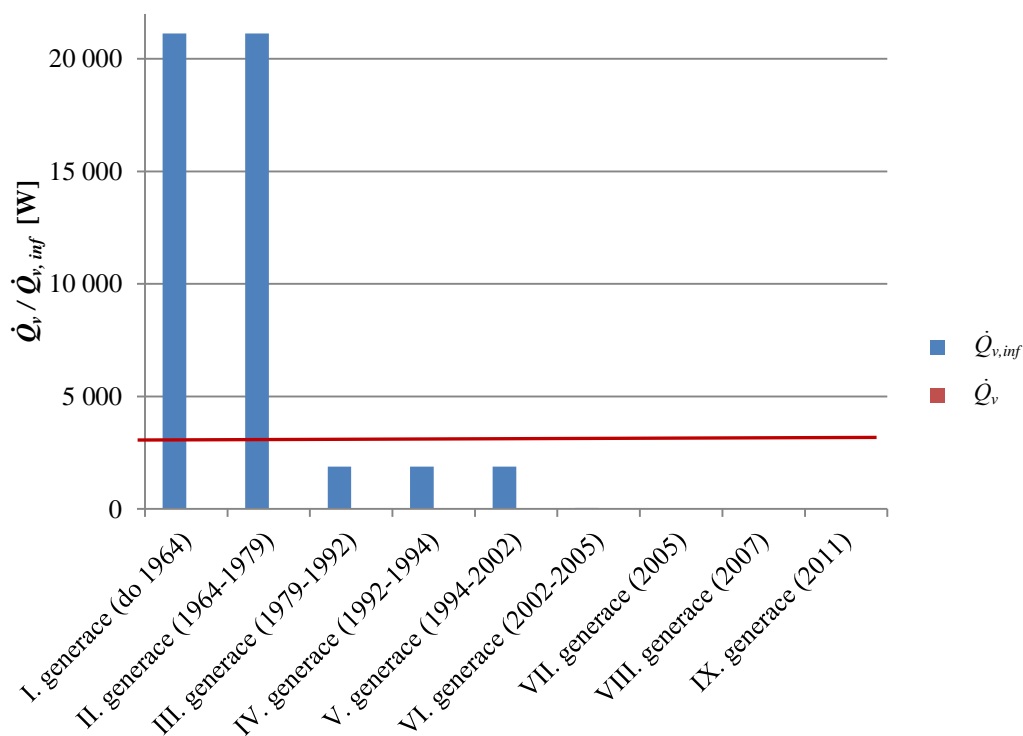
Charakteristické číslo budovy B je závislé na umístění daného objektu jak z hlediska zasazení do krajiny, tak ve vztahu k okolní zástavbě. Zásadní vliv má pak rozhodnutí, zda se jedná o budovu chráněnou, nechráněnou či velmi nepříznivě stojící. S ohledem ke krajině (normální nebo krajina s intenzivními větry), ve které budova stojí, následně zvolíme dle rychlosti větru příslušné charakteristické číslo budovy. To se pohybuje v rozmezí od 3 do 16 Pa^{0,67}. Příslušnou hodnotící tabulku nalezneme v normě ČSN 06 0210, tabulka A.4. V této práci bylo počítáno (viz příloha 01 a 02) s hodnotou $B = 8 \text{ Pa}^{0,67}$, což odpovídá normální krajině a nechráněné poloze budovy v ní umístěné.

Charakteristické číslo místnosti M rovněž nalezneme v normě ČSN 06 0210, konkrétně v tabulce A.5, kde je zásadním hodnotícím parametrem celkový počet vnitřních dveří (u obálkové metody venkovních dveří), jejich těsnost a hodnoty součinu spárové průvzdušnosti. Ty nám určí hodnotu charakteristického čísla místnosti M , která je v rozmezí od 0,4 do 0,7. V případě objektu, pro který jsou v této bakalářské práci tepelné ztráty počítány, byly uvažovány dvě hodnoty. S ohledem na výše zmiňované a přílohu 02, a sice dvoje dveře, vypočtené hodnoty spárové průvzdušnosti a těsnosti těchto dveří (do třetí generace včetně – netěsné bez prahů, od třetí generace – těsné s prahy) odpovídá $M = 0,4$ pro I. až V. generaci a $M = 0,7$ pro VI. až IX. generaci.

Tab. 6.6 Výsledné hodnoty tepelné ztráty infilrací

období	$\dot{Q}_{v,inf}$ [W]
I. generace (do 1964)	21 130
II. generace (1964-1979)	21 130
III. generace (1979-1992)	1 880
IV. generace (1992-1994)	1 880
V. generace (1994-2002)	1 880
VI. generace (2002-2005)	80
VII. generace (2005)	60
VIII. generace (2007)	60
IX. generace (2011)	60

Výsledné hodnoty jsou pro názornost uvedeny na obr. 6.5, kde je možné porovnat tepelné ztráty větráním a infilrací.



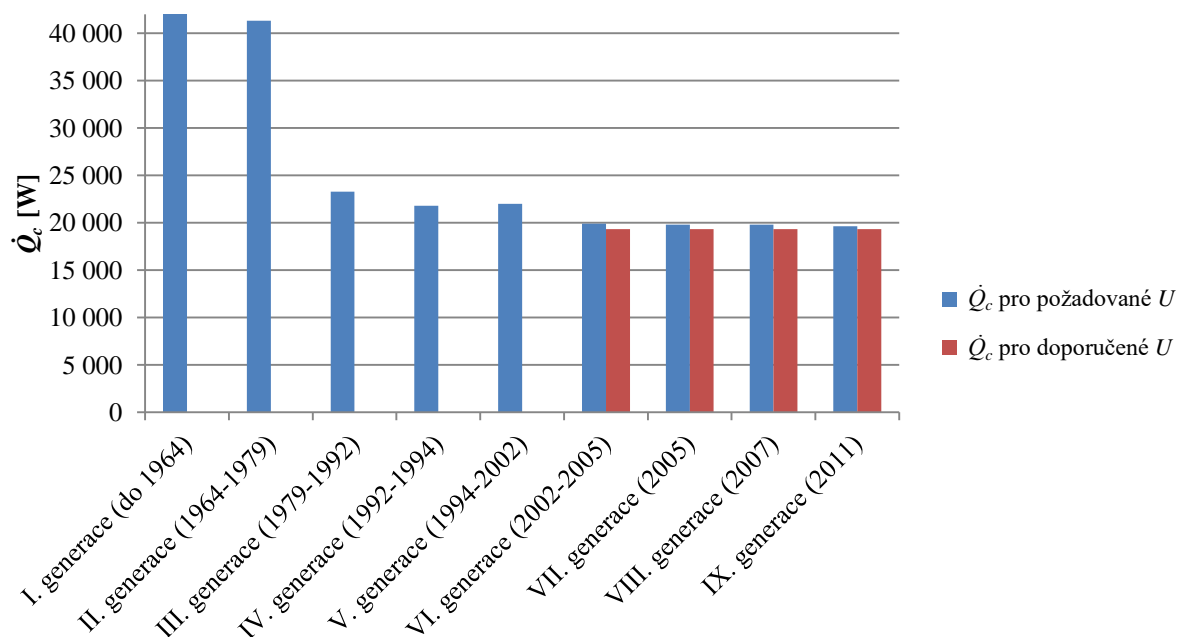
Obr. 6.5 Vývoj tepelných ztrát větráním a infilrací

6.2.3 Výpočet celkové tepelné ztráty

Výsledné hodnoty celkové tepelné ztráty budovy, které nejsou poníženy o tepelné zisky, provedená na základě normy ČSN 06 0210, dle vztahu (4), jsou uvedena v tab. 6.7. Jedná se o součet tepelných ztrát prostupem \dot{Q}_p a tepelných ztrát větráním \dot{Q}_v , resp. infiltrací $\dot{Q}_{v,inf}$, které byly vypočteny pro jednotlivé generace. Pro názornost byly výsledné hodnoty celkové tepelné ztráty rovněž zaneseny do sloupcového grafu, viz obr. 6.6.

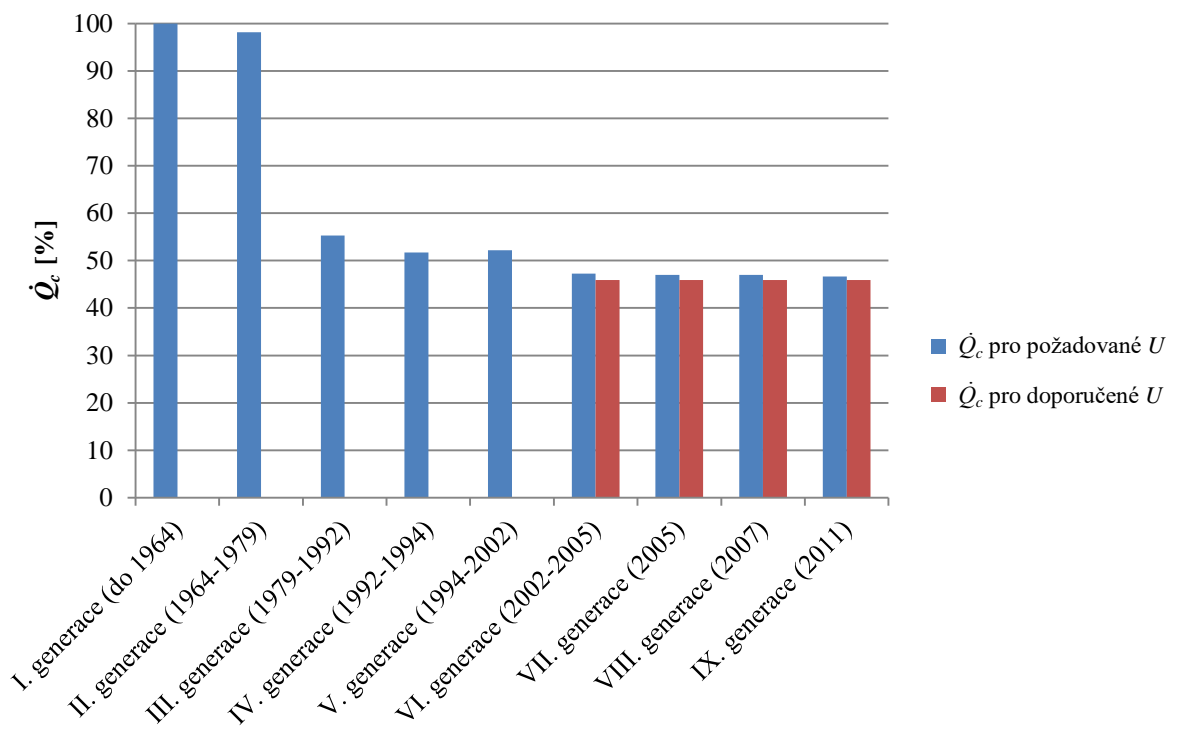
Tab. 6.7 Výsledné hodnoty celkové tepelné ztráty objektu pro jednotlivé generace

období	\dot{Q}_c [W] pro požadované U	\dot{Q}_c [W] pro doporučené U
I. generace (do 1964)	42 120	-
II. generace (1964-1979)	41 330	-
III. generace (1979-1992)	23 290	-
IV. generace (1992-1994)	21 790	-
V. generace (1994-2002)	21 980	-
VI. generace (2002-2005)	19 890	19 320
VII. generace (2005)	19 790	19 320
VIII. generace (2007)	19 790	19 320
IX. generace (2011)	19 640	19 320



Obr. 6.6 Vývoj výsledných hodnot celkové tepelné ztráty objektu \dot{Q}_c

Na níže uvedeném sloupcovém grafu, na obr. 6.7, můžeme pozorovat procentuální pokles celkových tepelných ztrát \dot{Q}_c daného objektu. Porovnáme-li první a poslední generaci, ve kterých se liší pouze otvorové výplně, na něž byla tato bakalářská práce zaměřena, vidíme snížení celkových tepelných ztrát na 47 % původní hodnoty. Energetická náročnost budovy se tak znatelně snížila. Pokud dodržíme doporučené hodnoty součinitele prostupu tepla otvorových výplní, celkové tepelné ztráty objektu se u posledních generací mohou snížit o další 1 %.



Obr. 6.7 Procentuální vývoj (pokles) tepelné ztráty \dot{Q}_c objektu s měnícími se požadavky na otvorové výplně

7. ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce bylo zmapovat historický vývoj tepelně technických vlastností stavebních konstrukcí, konkrétně otvorových výplní, tj. oken a dveří. Samotný historický vývoj oken a dveří byl detailně popsán v kapitolách 2.1 a 2.2, kde jsou rovněž vypočteny hodnoty průměrného součinitele prostupu tepla U_{PR} , které jsou názorně vyobrazeny ve sloupcovém grafu na obr. 2.8.

Před rekognoskací normativních nároků na tepelně technické vlastnosti otvorových výplní bylo potřeba definovat a alespoň částečně nastínit samotnou konstrukci oken a dveří z pohledu dneška. Ta byla rozebrána v kapitolách 3. a 4.

V kapitole 5. byl popsán vývoj normativních nároků na jednotlivé konstrukční prvky, primárně na otvorové výplně, na které je tato bakalářská práce zaměřena. S ohledem na novelizaci normy ČSN 73 0540, od jejího zavedení, bylo definováno devět generací (etap), které byly podrobně sledovány, a u kterých byl uveden patřičný kontext. Samotný vývoj hodnot součinitele prostupu tepla u oken a vnějších dveří byl uveden v sloupcových grafech na obr. 5.1 a 5.3. Mimo jiné byl rovněž uveden přehled normativních nároků v ostatních evropských zemích.

S ohledem na výše uvedené normativní požadavky bylo přistupováno i k výpočtu tepelných ztrát v kapitole 6. Pomocí obálkové metody, dle normy ČSN 06 0210 a ČSN 73 0540, byly na konkrétním objektu stanoveny tepelné ztráty. Pro každou etapu, definovanou v kapitole 5., byla vypočtena tepelná ztráta prostupem a větráním, resp. infiltrací. Určení těchto tepelných ztrát bylo zcela zásadní při výpočtu výsledných hodnot celkových tepelných ztrát, které jsou pro názornost uvedeny ve sloupcovém grafu na obr. 6.6. Procentuální vývoj (pokles) celkových tepelných ztrát objektu je uveden na obr. 6.7.

Přísnější normativní požadavky mají evidentní dopad na celkové tepelné ztráty objektu, a tedy i na jeho energetickou náročnost. Hodnoty celkových tepelných ztrát byly stanoveny při vývoji pouze otvorových výplní a ostatní obvodové konstrukce zůstávaly neměnné. Tedy hodnoty součinitele prostupu tepla pro vnější stěnu (první generace), strop a podlahu z dostupných norem (třetí generace) byly konstantní.

8. SEZNAM PŘÍLOH

- 01 Půdorys přízemí objektu
- 02 Půdorys přízemí objektu, bez příček a nosných zdí, určený k výpočtu pomocí obálkové metody
 - Vypocty_k_bakalarske_praci.xlsx
(Soubor listů programu Microsoft Excel s dílčími výpočty, který je dostupný na přiloženém CD)

9. POUŽITÁ LITERATURA

- [1] ŠKABRADA, J. *Konstrukce historických staveb*. Praha: Argo, 2003. 397 s. ISBN 80-7203-548-7.
- [2] ČENSKÝ, A. J., JANDÁČEK V. *Okenní a dveřní otvory: tradice z pohledu dneška*. Praha: Grada, 2005. 94 s. Stavitel. ISBN 80-247-0269-X.
- [3] *TZB-info* [online]. Topinfo s.r.o. [cit. 23. 3. 2019]. Naposledy aktualizováno: 13. 11. 2006. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/3665-vrty-do-horninoveho-masivu-zdroj-energie-pro-teplna-cerpadla-v>
- [4] *TZB-info* [online]. Topinfo s.r.o. [cit. 23. 3. 2019]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/58-hodnoty-fyzikalnich-velicin-vybranych-stavebnich-materialu#t15>
- [5] *TZB-info* [online]. Topinfo s.r.o. [cit. 23. 3. 2019]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/37-hodnoty-fyzikalnich-velicin-vybranych-kovu>
- [6] VAVERKA, J. *Stavební tepelná technika a energetika budov*. Brno: VUTIUM, 2006. 648 s. ISBN 80-214-2910-0.
- [7] MERRILL, K. R. *The oil crisis of 1973-1974: a brief history with documents*. Boston: Bedford/St. Martin's, 2007. 192 s. ISBN 0312409222.
- [8] *Vyhláška č. 323/2017 Sb.* [online]. [cit. 3. 4. 2019]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2017-323>
- [9] BAŠTA, J. *Velkoplošné sálavé vytápění: podlahové, stěnové a stropní vytápění a chlazení*. Praha: Grada, 2010. 128 s. Stavitel. ISBN 978-80-247-3524-5.
- [10] *BHB OKNA: GECCO 4* [online]. BHB - OKNA spol. s r.o. [cit. 2. 4. 2019]. Dostupné z: <http://www.bhbokna.cz/cs/plastova-okna-gealan-vetraci-system-gecco>

Soupis použitých norem

ČSN 06 0210. *Výpočet tepelných ztrát budov při ústředním vytápění*. Praha: Český normalizační institut, 1993.

ČSN 73 0540. *Tepelně technické vlastnosti stavebních konstrukcí a budov*. 2. náklad. Praha: Vydavatelství ÚNM, 1980.

ČSN 73 0540-2. *Tepelná ochrana budov – Část 2: Funkční požadavky*. Praha: Český normalizační institut, 1993.

ČSN 73 0540-2 *Tepelná ochrana budov – Část 2: Požadavky*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2002.

ČSN 73 0540-2 *Tepelná ochrana budov – Část 2: Požadavky*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2007.

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

ČSN 73 0540-2 *Tepelná ochrana budov – Část 2: Požadavky. Změna Z1*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2012.

ČSN 73 0540-3. *Tepelná ochrana budov – Část 3: Výpočtové hodnoty veličin pro navrhování a ověřování*. Praha: Český normalizační institut, 1993.

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

ČSN 73 0542. *Tepelně technické vlastnosti stavebních konstrukcí a budov*. 3. náklad. Praha: Vydavatelství ÚNM, 1987.

ČSN EN ISO 10077-1. *Tepelné chování oken, dveří a okenic - Výpočet součinitele prostupu tepla - Část 1: Obecně*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2018.