

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta lesnická a dřevařská

Katedra zpracování dřeva



Ekvivalence druhu materiálu okenních ráků v závislosti na součiniteli prostupu tepla U_f

Diplomová práce
2011

..

Vedoucí diplomové práce:

Doc. Ing. František Friess Csc.

Konzultant diplomové práce:

Ing. Roman Jiráč

Vypracoval:

Petr Skipala

Obor:

Dřevařské inženýrství



ABSTRAKT

Tato diplomová práce se zabývá zjištěním tepelně technických vlastností dřevěných a plastových rámu různého typu provedení, analýzou vlivů působících na součinitel prostupu tepla rámu U_f a vytvořením pomůcky sloužící pro ekvivalenci dřevěných a plastových rámu. V teoretické části bylo vytvořeno seznámení s problematikou otvorových výplní a objasnění teorie prostupu tepla. V metodice práce je podrobně popsán postup při získávání dat. Výpočty byly prováděny pro konkrétní běžně používané okenní rámy, které byly v programu FLIXO počítány pro zjištění součinitele prostupu tepla rámu U_f . Zjištěné hodnoty byly analyzovány a byl proveden rozbor majoritních vlivů působících na okenní rám. V závěru práce byla na základě výsledků, vytvořena tabulka a rovnice sloužící k ekvivalenci dřevěných a plastových rámu.

ABSTRACT

This thesis deals with establishing of heat-technical properties of wooden and plastic frames of different realization, with analysis of influence on frame heat permeability coefficient U_f and with forming of an aid for equivalency of wooden and plastic frames. In the theoretical part introduction to orifice panel problems and explanation of the heat permeability theory was performed. In the methodology of this thesis is given detailed procedure at data obtaining. Computation was done for particular commonly used window frames which were computed in the program Flixo for heat permeability coefficient U_f establishing. Established values were analysed and analysis of impacted window frame majority influence was done. In conclusion of this thesis was on the basis of results formed an equation serving to wooden and plastic frames equivalency.

KLÍČOVÁ SLOVA:

Součinitel prostupu tepla rámu U_f , dřevěný rám, plastový rám.



Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma **Ekvivalence druhu materiálu okenních ráků v závislosti na součiniteli prostupu tepla U_f** vypracoval samostatně pod vedením Ing. Romana Jiráka a Doc. Ing. Františka Friesse Csc. a použil jsem jen pramenů, které cituji a uvádím v seznamu použité literatury.

V Praze dne 30.4.2011

.....
Petr Skipala



Poděkování

Touto cestou bych rád poděkoval Ing. Romanu Jirákovi ze stavební fakulty Českého vysokého učení technického v Praze za ochotu při poskytnutí potřebných informací, umožnění konzultací a za odborné vedení při zpracování této diplomové práce. Dále bych rád poděkoval Doc. Ing. Františkovi Friessovi Csc. za věcné připomínky k práci. Také bych rád poděkoval firmě TPF panu Ing. Romanu Zahradnickému za umožnění provádět ve firmě tepelně technické výpočty v programu FLIXO a za poskytnutí odborných informací. V neposlední řadě bych rád poděkoval firmám PRO WINDOWS a BC PROFIL za poskytnutí okenních profilů.

Obsah

1 Úvod.....	7
2 Cíl práce.....	8
3 Literární rešerže – seznámení s problematikou.....	9
3.1 Otvorové výplně	9
3.2 Únik tepelné energie z domácností	10
3.3 Požadavky na okna.....	10
3.3.1 Osvětlení interiéru přirozeným světlem.....	11
3.3.2 Větrání.....	11
3.3.3 Tepelná izolace	12
3.3.3.1 Spárová průvzdušnost-infiltrace.....	13
3.3.4 Zvuková izolace.....	13
3.3.5 Izolace proti vodě a prachu.....	14
3.3.6 Bezpečnost při manipulaci.....	15
3.3.7 Zabezpečení okna proti nežádoucímu vniknutí.....	15
3.3.8 Geometrie profilu.....	15
3.4 Materiály používané k výrobě rámu.....	16
3.4.1 Rostlé dřevo.....	16
3.4.1.2 Ekologické zhodnocení dřeva.....	17
3.4.2 Plast PVC.....	18
3.4.2.2 Ekologické zhodnocení PVC.....	19
3.4.3 Hliník.....	20
3.4.3.1 Ekologické zhodnocení hliníku.....	20
3.4.4 Ocel.....	21
3.4.4.1 Ekologické zhodnocení oceli.....	21
3.5 Obvodové kování.....	21
3.6 Okapnice.....	22
3.7 Konstrukční složení oken.....	23
3.7.1 Druhy spár.....	23
3.7.1.2 Požadavky na přípojovací spáru:.....	24
3.7.1.3 Požadavky na funkční spáru:.....	25
3.7.1.4 Požadavky na zasklívací spáru:.....	27
3.8 Zasklívací materiály.....	29
3.8.2 Izolační dvojsklo a trojsklo.....	30
3.8.3 Distanční rámeček.....	32
3.8.4 Okenní fólie.....	34
3.8.5 Světelné a energetické vlastnosti skel.....	34
3.9 Způsoby zasklení ve funkční spáře.....	36
3.9.1 Do tmelového lóže.....	36
3.9.2 Pomocí těsnicí pásky uzavřené tmelem.....	36
3.9.3 Tlakové zasklení.....	36
4 Teorie prostupu tepla otvorových výplní.....	37

4.1 Způsoby šíření tepla.....	37
4.1.1 Vedením	37
4.1.2 Prouděním.....	38
4.1.3 Sáláním.....	39
4.2 Součinitel prostupu tepla.....	40
4.2.1 Výpočet součinitele prostupu tepla okna U_w	41
4.3 Lineární součinitel prostupu tepla.....	43
5 Metodika práce.....	44
5.1 Postup při výpočtu součinitele prostupu tepla rámu U_f v programu Flixo.....	44
5.1.1 Výběr a narýsování dřevěných a plastových profilů.....	44
5.1.2 Zadávání dat do programu Flixo.....	45
6 Analýza faktorů ovlivňujících tepelně izolační vlastnosti okenních ráků.....	49
6.1 Dřevěný rám.....	49
6.2 Plastový rám.....	50
7 Rozbor majoritních faktorů ovlivňujících U_f	51
7.1 Dřevěný rám.....	51
7.1.1 Vliv tloušťky rámu.....	51
7.1.2 Vliv okapnice	52
7.1.3 Vliv celoobvodového kování.....	54
7.2 Plastový rám.....	56
7.2.1 Vliv počtu komor s rostoucí tloušťkou.....	56
7.2.2 Vliv ocelové výztuže	58
7.2.3 Vliv celoobvodového kování.....	60
7.2.4 Vliv středového těsnění.....	63
8 Vyhodnocení dat a interpretace výsledků.....	65
8.1 Ekvivalence originálních plastových ráků s dřevěnými.....	65
9 Význam poznatků.....	68
10 Diskuze.....	69
11 Závěr.....	70
12 Seznam použité literatury.....	71
13 Přílohy.....	72



1 Úvod

Dnešním trendem je stále rostoucí spotřeba a cena energií, proto je nutností dnešní doby snižovat spotřebu energií a tím i snížit dopad na stále se zhoršující životní prostředí. Otvorové výplně nám umožňují získání solárních zisků a osvětlení interiéru, přesto jsou ale největším zdrojem úniku energie ze stavebních konstrukcí. Proto je třeba věnovat otvorovým výplním velkou pozornost. Podle Le Corbusiera bylo světlo považováno za jeden ze základních stavebních parametrů a na začátku třicátých let formuloval jeho význam takto: „*Historie architektury je staletí starý boj o světlo - boj o okno.*“ [15] A tak i my se dnes snažíme najít vhodné kompromisy mezi osvětlením interiéru a tepelnou pohodou. Trh nám nabízí mnoho variant otvorových výplní, pro které jsou specifikovány tepelné vlastnosti jednotlivých izolačních skel a celého okna, ale málokdy jsou specifikovány vlastnosti jednotlivých typů obvodových rámců. Proto je třeba tyto rámy analyzovat a zjistit jejich přednosti vůči tepelně technickým vlastnostem a porovnat je s rámy jiného druhu provedení a materiálu.

2 Cíl práce

Cílem práce je vypočítat součinitel prostupu tepla pro dřevěné a plastové rámy vyskytující se nejběžněji na našem trhu. Dřevěné rámy budou hodnoceny v tloušťkových řadách po 5 mm pro tři varianty. První varianta bude s působením hliníkové okapnice bez přerušení tepelného mostu. V druhé variantě bude působení okapnice s přerušením tepelného mostu a ve třetí variantě bude rám bez použití okapnice. Na normový rám o rozměrech 1230 x 1480 mm bude vypočten váženým průměrem součinitel prostupu tepla rámu spodního vlysu se zohledněním působení okapnice a zbytek rámu bez působení okapnice. Plastové rámy budou počítány pro dorazové těsnění s ocelovou výztuží v počtu komor 3 - 7 a pro středové těsnění s ocelovou výztuží v počtu komor 5 - 8. Zjištěné hodnoty budou analyzovány a bude pro ně proveden rozbor majoritních vlivů působících na okenní rám. V závěru práce bude na základě výsledků vytvořena tabulka a rovnice sloužící k ekvivalenci dřevěných a plastových rámu.

3 Literární rešerže – seznámení s problematikou

3.1 Otvorové výplně

V současné době se neustále zdražují ceny energií, a proto jsou hledány možnosti, jak minimalizovat vstupující energie do obytných domů. Zvýšení tepelného odporu se dosáhne násobným zasklením s dvěma, s třemi a se čtyřmi skly s využitím uzavřené dutiny. Z energetického hlediska jsou otvorové výplně nejslabšími články obvodových plášťů budov - zde uniká nejvíce energie. Ale zároveň je umožněno získat energii ze slunečního záření v zimním a přechodným obdobím. Dřevěné okno má oproti vnější konstrukci více než 5krát vyšší součinitel prostupu tepla. Pro dosažení snížení spotřeby energie potřebné k vytápění se doporučuje prostory s vyššími nároky na denní osvětlení orientovat na osluněné strany budov. V těchto místnostech je vhodné využít slunečné záření v průběhu topného období. Vyšší nároky na otvorové výplně vznikají zavedením Kjótského protokolu, tento protokol je v Rámcové úmluvě OSN o klimatických změnách, kdy se průmyslové země v něm zavázaly snížit emise skleníkových plynů o 5,2 %.

Tato redukce se vztahuje na oxid uhličitý (CO_2), methan (CH_4) a oxid dusný (N_2O), jejichž emise jsou porovnávány k roku 1990. Závazek se týká také hydrogenovaných fluorovodíků (HFCs), polyfluorovodíků (PFCs) a fluoridu sírového (SF_6). Proto je snahou otvorové výplně vyrábět s nízkou energetickou náročností již při samotné výrobě a zároveň docílit takových tepelně izolačních vlastností, které by snížily emise skleníkových plynů při vytápění obytných prostor [10].

3.2 Únik tepelné energie z domácností

Ztráty energie u rodinného domu jsou největší: u obvodových zdí 34 %, u oken 31,7%, u střechy 12,5% , u podlahy 12,5% a uvnitř 9.1%. Z toho plyne, že otvorovým výplním je třeba věnovat velkou pozornost a je důležité tyto tepelné ztráty co nejvíce minimalizovat.

Obr.1 Tepelné ztráty rodinného domu [1]



3.3 Požadavky na okna

Hlavním požadavkem je zajištění nedeformující viditelnosti z interiéru do exteriéru a zároveň tak zajištění osvětlení v interiéru.

- Mezi druhotné požadavky patří:
- větrání
 - tepelná izolace
 - zvuková izolace
 - izolace proti vodě a prachu
 - zajištění bezpečnosti
 - geometrie profilu [2].

3.3.1 Osvětlení interiéru přirozeným světlem

Oslunění interiéru závisí na tvaru a rozměrech okna, míře propustnosti denního světla a na poloze okna vůči vnějším obrysům stavby. Pro osvětlení zadní části místnosti je nejdůležitější horní část okna. Z toho plyne, že pro místnosti úzké a hluboké je vhodnější okno vyšší a pro mělké a široké místnosti se zase hodí okno širší. Osvětlení se dá vylepšit menší dimenzí konstrukčních prvků s minimální členitostí v ploše. Míru osvětlení určuje také volba použitého skla a jeho tloušťka s různou propustností světla. Optimální denní osvětlení budov uvádí norma ČSN 73 0580.

Minimální poměr plochy okna k ploše místnosti pro dostatečné osvětlení je 1:10. Viz ČSN 73 4301.

3.3.2 Větrání

Intenzita větrání závisí na velikosti větracího otvoru a na rozdílech teplot a tlaků vzduchu v interiéru a exteriéru. Nejefektivnější způsob výměny vzduchu je nárazové větrání otevřenými protilehlými okny. Další možnosti větrání jsou větracími štěrbinami či klapkami, okenními ventilátory nebo samotným profilem okenního křídla a rámu. Při trvalém větrání s malou výměnou vzduchu dochází ke zvýšeným ztrátám energie, proto je důležité, aby bylo možné měnit velikost větracího otvoru a tím i měnit intenzitu větrání. Při nulové infiltraci s vyššími hodnotami vzdušné vlhkosti dochází zase ke kondenzaci vody na okenních tabulích. Proto u nových oken vytváří větrací spáru kování.

Způsoby větrání:

- A) přirozené
 - výměna vzduchu je zajištěna občasným otevíráním oken
 - doplňkovými větracími prvky
 - průvzdušností funkčních spár
- B) řízené větrání
 - regulovatelné štěrbinové ve fasádě
 - rekuperace, využívající část odváděné energie ve vzduchu zpět do budovy

Pro obytné budovy je normová intenzita výměny vzduchu $n_N = 0,3-0,6$ (1/h)

Vyhláška 107/2001 pro pracoviště stravovacích služeb stanovuje při přirozeném větrání místnosti s výškou H do 4 m, hloubkou místnosti do $2,5 \times H$ pro pracoviště s převahou práce ve stoji a chůzi, musí celková plocha přírodních a odvodních větracích otvorů být $350 \text{ cm}^2/\text{m}^2$. Dále vyhláška stanovuje pro osobu při práci ve stoje a při chůzi $70 \text{ m}^3/\text{h}$ [6].

Tab.1 Požadovaná výměna vzduchu podle vyhlášky 108/2001 Sb. [6].

Zařízení	Učebny	Tělocvičny	Šatny	Umývárny	Sprchy	Záchody
Výměna vzduchu (m^3/h)	20-30	20	20	30	150-200	50 na kabinu
	na 1 žáka	na 1 žáka	na 1 místo šatní	na 1 umyvadlo	na sprchu	25 na pisoár

3.3.3 Tepelná izolace

Izolace je vlastnost materiálů v menší míře přenášet teplo vedením. Jedná se o nejvýznamnější vlastnost stavebních látek a je charakterizována součinitelem tepelné vodivosti $\lambda = \text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$. Slouží ke snížení tepelných ztrát pláštěm budovy. Ztráty jsou vyjádřeny hodnotou k – součinitel prostupu tepla ($\text{W}/\text{m}^2 \text{ K}$). V současné době připadá na okna 47 % tepelných ztrát, z toho 30 % ztrát vzniká prostupem tepla oknem a 17 % větráním [11].

Tepelné ztráty oken jsou dány prostupem tepla skleněnými výplněmi, rámy, křídly a obvodem (ostěním) okna. Hlavní faktory mající na tepelnou izolaci vliv jsou spáry, kterými proniká vzduch, a způsob zasklení (skla jednoduchá, izolační dvojskla, okna dvojitá, zdvojená, atd.).

3.3.3.1 Spárová průvzdušnost-infiltrace

Mezi interiérem a exteriérem proniká spárami vzduch a vznikají tak tepelné ztráty, které jsou v zimním období velmi značné. Průvzdušnost vyjadřuje objemový tok vzduchu v m³ za sekundu, který proudí 1 m délky spáry při rozdílu tlaků vzduchu 1 Pa.

Značí se $i_{iv} = (m^3/m.s.Pa) = (m^2/s.Pa)$. Tato infiltrace je ovlivněna účinkem tlaku a sáním větru. Průvzdušnost je hodnocena podle ČSN EN 1026.

3.3.4 Zvuková izolace

Zabezpečuje ochranu proti hluku do interiéru. Izolace závisí na plošné hmotnosti, tloušťce a složení skla, na způsobu zasklení (pevné, pružné) a na vzájemné vzdálenosti skel. Dále je zvuková izolace ovlivněna těsnostmi styku mezi rámem a křídlem. Neprůzvučnost je hodnocena v normě ČSN EN 73 0532.

Zvýšení neprůzvučnosti skleněných výplní docílíme:

- silnějším sklem
- vrstvením skla pomocí pružné fólie
- použitím výrazně rozdílných tlouštěk skleněných tabulí
- větší šířkou dutiny mezi izolačními dvojskly
- použitím vrstvených skel v izolačním dvojskle [3].

Tab.1 Laboratorní hodnoty vzduchové neprůzvučnosti skleněných tabulí [3].

Vnější tabule	Tloušťka (mm)	Mezera (mm)	Vnitřní tabule	Tloušťka (mm)	Rw (dB)
Float	5				30
Float	6	12	Float	6	31
Float	8	12	Float	5	36
Vrstvené	6,6,2				36
Float	10	12	Float	6	37
Vrstvené s	4,4,2				37
Vrstvené s	4,4,2	12	Float	4	39
Float	6	15	Vrstvené s	6,6,2	42
Float	10	15	Vrstvené s	4,4,1	44
Vrstvené	8,8,2	15	Vrstvené	6,6,2	46
Vrstvené s	6,6,1	20	Vrstvené s	4,4,1	50

Neprůzvučnost oken je hodnocena do několika tříd zvukové izolace. Jestliže plocha oken převyšuje 50% celkové plochy obvodové stěny, pak odpovídá požadovaná hodnota R_w okna v níže uvedené tab.2. Pokud je ale plocha oken 35-50% z celkové plochy obvodové stěny, je hodnota R_w okna o 3 dB nižší než je uvedeno v tab.2 [6].

Tab.2 Třídy jakosti zvukové izolace oken [6]

Třídy zvukové izolace	0	1	2	3	4	5	6
Index neprůzvučnosti R_w (dB)	do 24	25-29	30-34	35-39	40-44	45-49	nad 50

3.3.5 Izolace proti vodě a prachu

Spárami a netěsnostmi vniká do prostoru srážková voda, sníh, prach, saze a jiné nečistoty. Tomu se dá předejít použitím okapnic s přerušením a bez přerušení tepelného mostu a výtokových otvorů v rámu. Přitékající voda po skle je odváděna okapnicí mimo funkční spáru na podokeník. Aby nezatékala do polodrážek pro osazení skel, jsou tato utěsněna silikonovým tmelem. Podokeník a parapet je utěsněn tak, aby stékající voda odkapávala na hraně konstrukce a nezatékala po spodní ploše na omítku. Vodotěsnost je hodnocena pro okna a dveře podle ČSN EN 1027 a ČSN EN 12208 [3].

Mez vodotěsností udává nejvyšší zkušební tlak, pro který je zkušební vzorek stále vodotěsný po stanovenou dobu. Nejvyšší stupeň odolnosti je 9A.

Tab.1 Zkoušky vodotěsnosti, klasifikační třídy [6].

Rozdíl tlaků mezi vnější avnitřní stranou vzorku (Pa)	Čas (min)	Klasifikace při zkušebním postupu A
0	15	1A
50	5	2A
100	5	3A
150	5	4A
200	5	5A
250	5	6A
300	5	7A
450	5	8A
600	5	9A

3.3.6 Bezpečnost při manipulaci

Vlysy křídel a rámu, součásti kování, sklo a kotvení okna musí být dimenzovány a připevněny tak, aby odolávaly působení tlaku sání a větru. Kotvení okna se provádí tak, aby se zamezilo mechanickému poškození okna, snížení funkčnosti a estetičnosti vlivem sedání stavby, průhybů, posuvů v dilatačních spárách a jiného dotvarování konstrukcí stavby. Okna musí také odolávat zatížení při manipulaci (otevírání, náraz, prudké trhnutí). Okenní skla musí mít v rámu potřebnou vůli, aby při rozdílné roztažnosti materiálů vlivem působení teplot nedocházelo k rozpraskání skel.

3.3.7 Zabezpečení okna proti nežádoucímu vniknutí

Nejslabší částí okna je skleněná výplň, která může být opatřena bezpečnostní fólií a tvrzeným sklem, a rám okna. Ten je možné osadit bezpečnostním celoobvodovým kováním, které má hřibovitě tvarované jazýčky, které se z boku zasouvají do příslušného protikusu na rámovém uzávěru. Třídy odolnosti zasklení:

- a) zasklení odolné proti hozenému předmětu
- b) zasklení odolné proti přeřezání skla ostrým předmětem
- c) zasklení odolné proti střelným zbraním
- d) zasklení odolné proti účinkům exploze z nálože výbušniny

3.3.8 Geometrie profilu

Pro lepší stékání vody musí mít vnější plochy všech vodorovných částí (křídla, rámy, poutce atd.) minimální sklon 15° . Pro zajištění stejnoměrné tloušťky nátěrového filmu musí mít hrany pohledových částí minimální poloměr zaoblení $r = 2$ mm. Na vnější straně překrýváme odvodňovací otvory proti přímým účinkům větru plastovými krytkami, pokud není zajištěno odvodňovací hliníkovou lištou.

3.4 Materiály používané k výrobě rámu

3.4.1 Rostlé dřevo

Základní dřevinou z jehličňanů k výrobě rámu oken je smrk, jedle, borovice a modřín. Z listnatých dřevin to je především dub. Z dovážených dřevin to je americká borovice, mahagon nebo meranti. Tyto dřeviny se vykazují vysokou rozměrovou stabilitou a odolností vůči hnilobě. Důležité je k výrobě křídel použít materiál, který je bez suků, trhlin a vlnitého průběhu vláken. Méně kvalitní materiál lze použít k výrobě rámu. V současné době se nejvíce používají lepené lamelové eurohranoly, které jsou lepeny vodovzdornými lepidly ze tří a více lamel. Lamely jsou celistvé nebo délkově napojované.

Dřevo musí splňovat tato kritéria:

- odolnost vůči působení biologických a živočišných škůdců
- stálé zajištění pevnosti při změně teploty a vlhkosti
- dobrá snášlivost s nátěrovými hmotami
- dobrá zpracovatelnost při obrábění
- tvarová stálost při změně teploty a vlhkosti
- vlhkost materiálu 10 – 14 %

Tab.1 Mechanické vlastnosti dřevin pro rovnovážnou vlhkost dřeva 12 %^[13]

Dřevina	Hustota kg/m ³	Modul pružnosti Mpa	Pevnost v ohybu Mpa	Pevnost v tahu		Pevnost v tlaku		Pevnost ve smyku Mpa	Houževnatost J/cm ²
				podélná	příčná	podélná	příčná		
				Mpa	Mpa	Mpa	Mpa		
smrk	400	11000	78	90	2,7	50	5,8	6,7	4,6
borovice	470	12000	100	104	3	55	7,7	10	4
buk	630	16000	123	135	7	62	9,5	8	10
dub	600	13000	110	90	4	65	11	11	6

Obr.2 Dřevěný rám s okapnicí s přerušením tepelného mostu [17]



- 1- Okapnice s přerušením tepelného mostu chrání okenní rámy před působením venkovní vlhkosti. Efektivní svod vody mimo okenní rám zabezpečuje celou konstrukci proti zvlhčení.
- 2- Kontakt dvou těsnících vrstev s podkladem vytváří vzduchovou komoru, čímž zlepšuje tepelně technické vlastnosti funkční spáry a zároveň snižuje infiltraci vzduchu.
- 3- Třívrstvá lepená lamela, zajišťující tvarovou stálost.

[17]

3.4.1.2 Ekologické zhodnocení dřeva

Dřevo je přírodní materiál, který je ekologicky nezávadný. K opracování dřeva je zapotřebí nejmenší množství energie ze stavebních materiálů. Dřevo v sobě váže CO₂ a jen při spalování ho opět vrací do ovzduší. Dřevo lze velmi dobře zlikvidovat spálením bez vzniku toxických látek a negativních účinků na prostředí.

3.4.2 Plast PVC

. Plast PVC (polyvinylchlorid) je termoplastická umělá hmota vyrobená se soli a ropy. Tato hmota se vykazuje vysokou trvanlivostí. Nevýhodou tohoto materiálu je, že při oslunění profilu se pohybuje teplota na světlých rámech kolem 50 °C a na tmavých rámech až 80 °C. Čímž zde vzniká nebezpečí trvale tvarové deformace se zhoršenou funkcí okna. Výhodou je, že ho lze vyrobit přímo na požadované rozměry s předem určenými vlastnostmi. Přeměnou molekulární soustavy materiálu se spoluurčují faktory pro kvalitu umělé hmoty jako je houževnatost, modul pružnosti a teplota měknutí. Plasty mohou být houževnatější a odolnější nežli ocel a mohou být elektricky vodivé a odolné proti extrémnímu horku a chladu. Plasty stejně jako dřevo poskytují dobrou tepelnou izolaci.

Tab.1 Fyzikální vlastnosti PVC [12].

Vlastnosti	Zkoušeno	Jednotky	PVC
Hustota	ISO 1183	g/cm ³	1,38
Nasákavost	DIN 53495	%	0,2
Max. provozní teplota		°C	60
Min. provozní teplota		°C	-40
Koeficient lineární tepelné roztažnosti	DIN 53752	K ⁻¹ x 10 ⁻⁴	0,8
Tepelná vodivost při 20°C	DIN 52612	W/(m.K)	0,17
Mez pevnosti v tahu	ISO 527	MPa	30
Vrubová houževnatost	ISO 179	kJ/m ²	10
Pevnost v ohybu	ISO 178	Mpa	80
Modul pružnosti	ISO 527	MPa	2600
Tvrdost podle Rockwella	ISO 2039-1	MPa	100

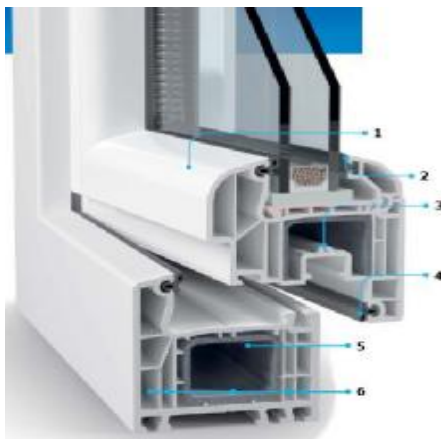
3.4.2.2 *Ekologické zhodnocení PVC*

Z ekologického hlediska je PVC materiál velmi nevhodný. Výroba tohoto materiálu má negativní ekologický dopad hlavně díky emisím chlorovodíku a dioxanů, které vznikají při spalování odpadů z PVC. Negativní dopad výroby PVC je v možné expozici karcinogenního monoméru vinylchloridu v pracovním prostředí. Dále při požárech, zpracování a také užití PVC se uvolňuje vinylchlorid, chlór, fosgen a dioxiny. Při spalování odpadu s obsahem PVC se uvolňuje chlorovodík, dioxiny, těžké kovy, které jsou emitovány do atmosféry. Ty kontaminují strusku, popílek a materiály vystupující při čištění spalin. Při spalování PVC vzniká 50 – 80 % obsahu chlóru ve spalovaných odpadech.

Ekologicky akceptovatelné materiály za PVC jsou: polyetylén (PE), polypropylen (PP) polyetyléntereftalát (PET) a etylenpropylendien (EPDM).

Při výrobě PVC je spotřebována energie 52,7 MJ/kg a vytvořeno 2161 g/kg CO₂ [14].

Obr.1 *Plastový rám s dorazovým těsněním a ocelovou výztuží*



1. Vnější doraz křídla pro zasklívací jednotku.
2. Zasklívací lišta.
3. Uložení celoobvodového kování.
4. Dorazové celoobvodové těsnění z EPDM.
5. Ocelová výztuž rámu zlepšující tuhost.
6. Tepelná a zvuková izolace zajištěna pětikomorovým systémem [16].

3.4.3 Hliník

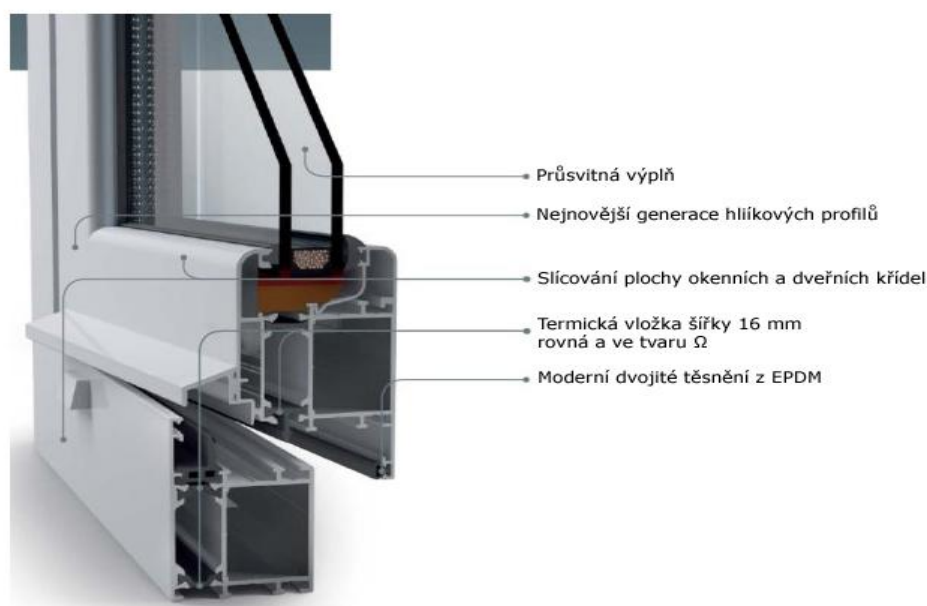
Hliníkové profily se vyznačují nenáročnou údržbou bez nutnosti obnovy nátěrů, velmi dobrou výrobní přesností a vysokou těsností rámu s křídlem. Profily jsou velmi lehké s přerušením tepelného mostu plastovými vložkami. Nevýhodou je velká délková roztažnost ($0,025 \text{ mm/m} \cdot ^\circ\text{C}$) a vysoký součinitel tepelné vodivosti ($\lambda = 160 \text{ W/m} \cdot \text{K}$). Povrchová úprava je provedena anodickou oxidací (eloxáží) nebo vypalovacími práškovými laky.

3.4.3.1 Ekologické zhodnocení hliníku

Hliník způsobuje neurotoxické účinky a u hliníku byla prokázána fytotoxicita.

Při výrobě hliníku je spotřebována energie 410 MJ/kg a vytvořeno 20981 g/kg CO_2 . Na výrobu se jedná o energeticky nejnáročnější materiál. Při povrchových úpravách hliníku a jeho slitin se dostává tento materiál do odpadních vod. Vlivem kyselých dešťů se zvyšuje migrace hliníku v půdě [14].

Obr.1 Hliníkový rám s přerušením tepelného mostu [18]





3.4.4 Ocel

Výhodou ocelových rámu je vysoká tuhost a únosnost. Přerušení tepelného mostu je jako u hliníku řešeno vkládáním plastových vložek. Spoje v rozích jsou pomocí tvarových rohových spojek. Je důležité dokonale provést povrchovou úpravu ploch. Velmi dobrou výrobní přesností je vysoká těsnost rámu s křídlem. Nevýhodou je vysoký součinitel tepelné vodivosti ($\lambda = 50 \text{ W/m.K}$). Povrchová úprava je provedena vypalovacími práškovými laky.

3.4.4.1 *Ekologické zhodnocení oceli*

Ocel je velmi energeticky náročná na výrobu. Při výrobě oceli je spotřebována energie 38,6 MJ/kg a vytvořeno 2588 g/kg CO₂. Při likvidaci je ocel tříděna a upravována pro další použití [14].

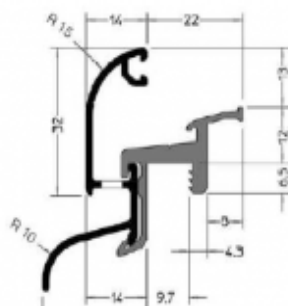
3.5 *Obvodové kování*

Obvodové kování zajišťuje uzavření křídla po celém obvodu k rámu okna. Umožňuje otevírat a sklápat křídlo v rámu a také umožňuje použití mikroventilace. Při mikroventilaci vznikne mezi rámem a křídlem vzduchová mezera cca 3 – 4 mm. Ta umožňuje infiltraci vzduchu. U obvodové kování je možno regulovat přilnutí křídla k rámu a tím odstranit případné netěsnosti. Nosnost obvodového kování se vyrábí pro váhu křídla až do 130 kg. Kování je vybaveno pojistkou proti chybnému ovládní a aretací otevřené polohy křídla. Dále je vybaveno bezpečnostními čepy hřibového tvaru znemožňují vysazení křídla a tím je zvýšena ochranu proti vloupání. Obvodové kování je vyrobené z pozinkované oceli o tepelné vodivosti $\lambda = 50 \text{ W/(m.K)}$.

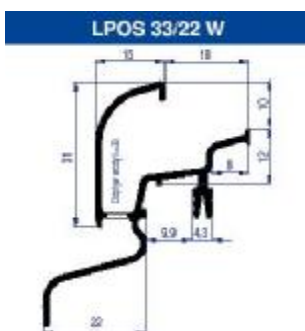
3.6 Okapnice

Okapnice zajišťuje odvod srážkové vody z konstrukce oken a současně chrání spodní vlys rámu před poškozením povětrnostními podmínkami. Okapnice rozdělujeme podle toho, zda jsou s přerušením tepelného mostu nebo bez přerušení tepelného mostu. Okapnice je vyrobena z hliníku o tepelné vodivosti $\lambda = 160 \text{ W/(m.K)}$. Přerušení tepelného mostu je u okapnice pomocí polyamidu o tepelné vodivosti $\lambda = 0,30 \text{ W/(m.K)}$.

A) Rámová okapnice - s přerušným tepelným mostem



B) Rámová okapnice celohliníková – bez přerušení tepelného mostu



3.7 Konstrukční složení oken

Konstrukční složení dřevěného, plastového, hliníkového či ocelového rámu je vždy stejné. Skládá se z:

- A) okenního rámu, který je pevně spojen s ostěním
- B) okenního křídla, které je spojeno s rámem s umožněním pohybu
- C) zasklívací jednotky, která je pevně osazena v křídle.

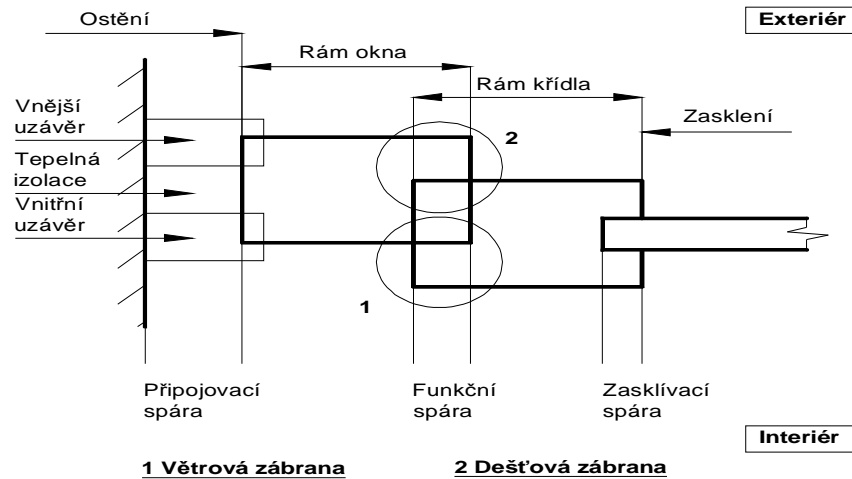
Mezi ostěním a rámem je připojovací spára, mezi rámem a křídlem je funkční spára a mezi křídlem a zasklívací jednotkou je zasklívací spára. Požadavky na jednotlivé druhy spár jsou popsány v kapitole 3.5.1. Druhy spár.

3.7.1 Druhy spár

Otevíratelné otvorové výplně se skládají ze 3 druhů spár, pro které platí přesně stanovené požadavky. Tyto požadavky jsou popsány v další části textu..

- 1) připojovací spára
- 2) funkční spára
- 3) zasklívací spára

Obr.1 Druhy spár u otvíravého okna [3].



3.7.1.2 Požadavky na připojovací spáru:

- naprostá vodotěsnost
- nulová infiltrace vzduchu
- tepelná izolace
- umožnění dilatace
- umožnění provedení kotvení

Vnější uzávěr připojovací spáry plní hydroizolační funkci pomocí hydroizolačních fólií, zkomprimovaných pásek, nebo tmelem. Vnitřní uzávěr plní funkci parotěsnosti a zabraňuje tak vnikání páry do připojovací spáry. Kotvení se provádí tak, aby byla zajištěna dilatace. Tato prostřední část je vyplněna tepelnou izolací pomocí polyuretanové pěny, minerální nebo skelné vaty. Znárodnění viz. Obr.1 kapitola 3.5.1 [3].

3.7.1.3 Požadavky na funkční spáru:

- naprostá vodotěsnost
- limitovaná infiltrace vzduchu
- umožnění otevírání okna dle požadovaného způsobu

Ve funkční spáře je jedno těsnění pro dešťovou zábranu zamezující přístup vody dovnitř spáry a druhé těsnění pro větrovou zábranu limitující infiltraci vzduchu.

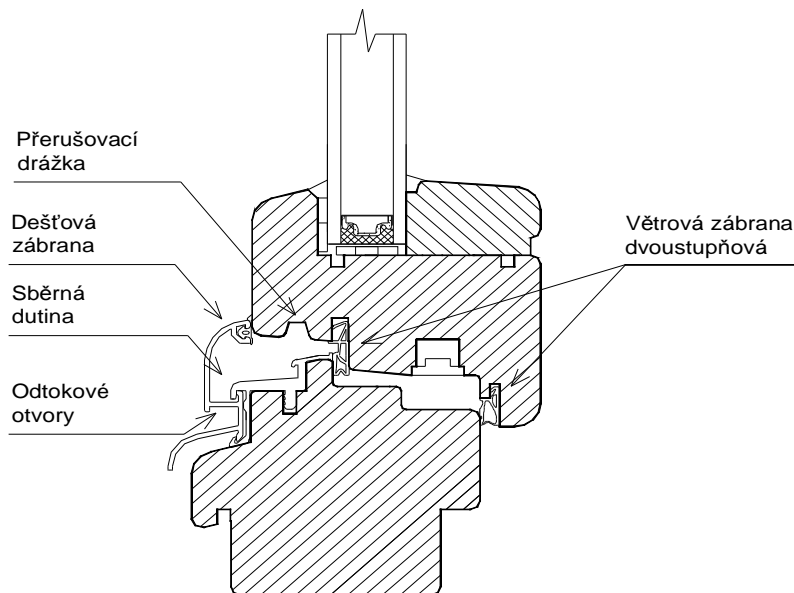
Dešťová zábrana brání vstupu vody do konstrukce tvoří dekompresní dutinu s funkcí vyrovnání tlaků mezi exteriérem a vnitřkem dutiny. Tím je umožněn odtok srážkové vody ze sběrné dutiny, v které jsou otvory s minimálním průměrem 6 mm. Tyto otvory jsou umístěné v intervalu 3 ks/bm. Po celém obvodu křídla je přerušovací drážka napomáhající odtrhnutí vodní kapky od křídla, ta pak spadá do sběrné dutiny a odtokovými otvory odtéká mimo konstrukci. Znárodnění dešťové zábrany je viz. obr.1 a 2 a obr. 1 kapitola 3.5.1 [3] [4].

Větrová zábrana, jak bylo zmíněno, má za úkol limitovat infiltraci vzduchu a skládá se z jednostupňového nebo z dvojestupňového těsnění.

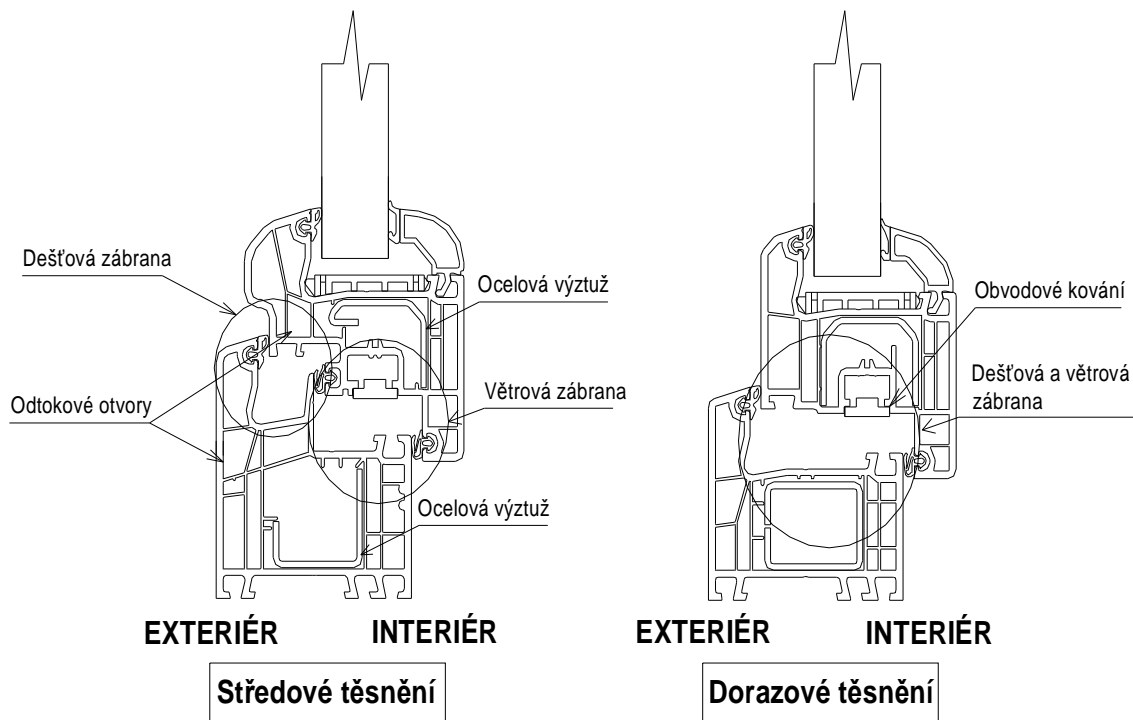
A) Dvojestupňové těsnění má jednu větrovou zábranu na interiéru a druhou na středu funkční spáry, před touto větrovou zábranou na středu je umístěna ještě dešťová zábrana na exteriéru spáry, tím je vytvořena jedna dutina nevětraná a jedna dutina mírně větraná. Dvojestupňové těsnění nám zlepšuje jednak tepelně technické vlastnosti rámu, ale i zvukově izolační vlastnosti a snížení infiltraci vzduchu. Viz.obr. 1 a 2..

B) Jednostupňové těsnění má umístěno na exteriéru dešťovou zábranu a na interiéru větrovou zábranu. Větrová a dešťová zábrana není oddělena, čímž je umožněn přístup vody až na hranici k větrové zábraně. Taková dutina je celá mírně větratelná a tudíž vykazuje horší tepelně technické vlastnosti než je uvedeno v bodě A). Znárodnění větrové zábrany je viz.obr. 1 a 2.

Obr.1 Znárodnění dešřové a věřrové zábrany pro dřevěný rám.



Obr.2 Znárodnění dešřové a věřrové zábrany pro plastový rám



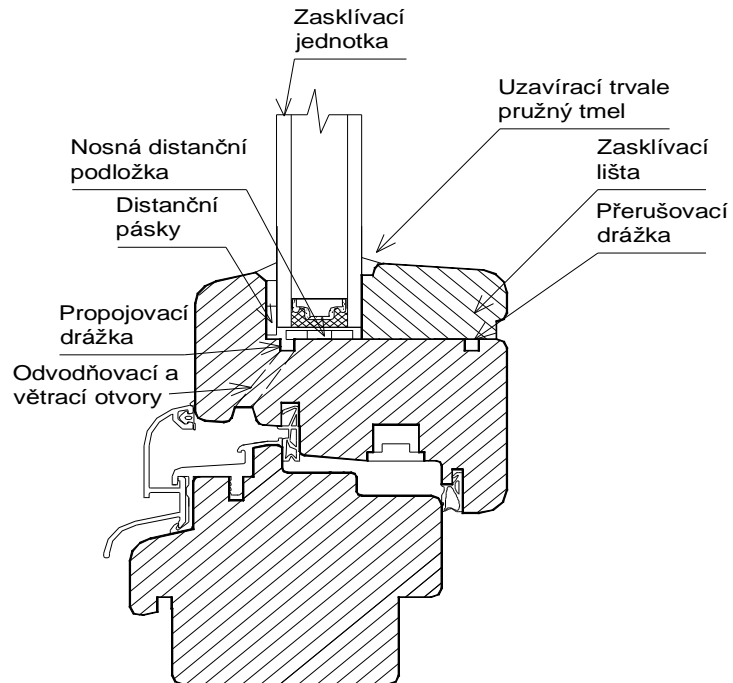
Funkční spára musí splňovat součinitel spárové průvzdušnosti $n = 0,05-0,1 \text{ h}^{-1}$ dle normy ČSN 73 0540-2, čímž není zcela splněna podmínka hygienického minima výměny vzduchu v místnosti $n = 0,5 \text{ h}^{-1}$. Proto jsou otvorové výplně opatřena jiným typem nuceného či přirozeného větrání (klapky, větrací štěrby). Mikroventilaci nelze posuzovat jako spárovou průvzdušnost, jelikož jde o otevření funkční spáry. Podle způsobu otevírání a tvarového provedení funkční spáry rozlišujeme otevíravé a sklopné, otočné, posuvné a výklopné [3] [4].

3.7.1.4 Požadavky na zasklívací spáru:

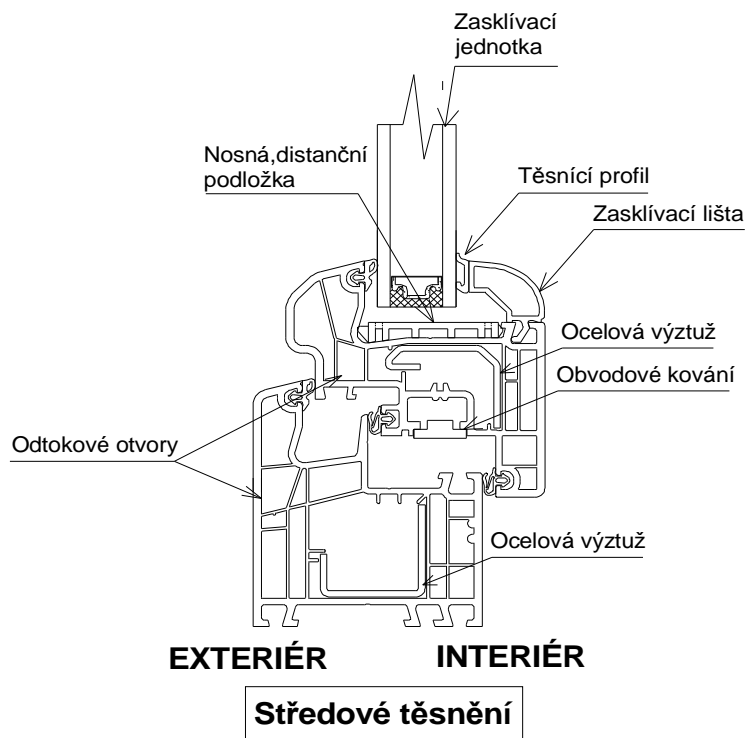
- naprostá vodotěsnost
- nulová průvzdušnost
- umožnění dilatace skleněné výplně

Spojení rámu a skleněné výplně je zajištěno zasklívací spárou. Jelikož je zde možnost vzniku kondenzátu, je třeba tuto spáru odvětrávat otvory ve svislých profilech a také zajistit odvod vzniklého kondenzátu 3 otvory na 1 bm a průměru 6 mm do dekompresní dutiny. V zasklívací spáře je nosná distanční podložka nesoucí zasklívací jednotku. Po obvodě je nalepena distanční páska z pěnového polyethylenu nebo z polypropylenu zajišťující také nepřilnutí uzavíracího tmelu na třetí stranu tmelení drážky. Zasklívací jednotka je uzavřena pomocí zasklívacích lišt, které jsou ve styku se zasklívací jednotkou uzavřeny trvale pružným tmelem viz.obr.1 a 2 [3].

Obr.1 Řešení zasklívací spáry pro dřevěný rám



Obr.2 Řešení zasklívací spáry pro plastový rám



3.8 Zasklívací materiály

Používá se sklo, které je taveninou křemičitého písku, dolomitu, vápence, sulfátu, uhličitanu sodného barviv a dalších přísad při teplotě 1600 °C. Při výrobě je sklo float plaveno na cínové lázni s ochranným plynem dusíkem a vodíkem zabraňující oxidaci vzdušným kyslíkem. Tloušťka skla je ovlivněna rychlostí toku skloviny, následuje chlazení na 650°C a formátování. [2]

Tepelně tvrzené sklo-je možné vyrobit zahřátím jakéhokoliv monolitického skla na 620°C a ochlazením vznikne trvalé povrchové tlakové napětí a tím se zvýší odolnost skla proti mechanickému a tepelnému namáhání. Sklo je popsáno normou ČSN EN 12150. Veškeré úpravy na skle probíhají před tepelnou úpravou. Při destrukci se sklo rozdělí na malé tupé úlomky neohrožující lidské zdraví, proto jsou tato skla považována za bezpečná.

Tepelně zpevněné sklo-jedná se o obdobu tvrzeného skla, pouze s tím rozdílem, že sklo se ochlazuje z 620°C postupně, tím se také zvýší odolnost proti tepelnému a mechanickému namáhání, ale při destrukci se láme na velké ostré stěpy, nelze jej tedy považovat za bezpečnostní. Sklo je popsáno normou ČSN EN 1863-1.

Vrstvené bezpečnostní sklo-jedná se o slepení skel v celé ploše s fólií (PVB) polyvinylbutyralové nebo (EVA) etylenvinylacetátové fólie nebo z pryskyřice. Sklo může být nahrazeno akrylátovými nebo polykarbonovými tabulemi s použitím proti střelným zbraním a výbuchu. Při destrukci vrstveného skla jsou úlomky drženy pohromadě pomocí fólie a brání propadnutí vlivem spolupůsobení silnějších stěpů.

Tab.1 Technické parametry okenního skla

Pevnost v tlaku	700-900 N/mm²
Pevnost v tahu	30-90 N/mm²
Pevnost v ohybu	30 N/mm²
Hmotnost	2.5 kg/mm² 1 mm tloušťky
Světelná propustnost tl. 3 mm	91%
Světelná propustnost tl. 12 mm	86%
Součinitel tepelné vodivosti	0,8 W/m.K
Modul pružnosti	73 kN/mm²
Teplota měknutí	600°C
Součinitel prostupu tepla	5,8 W/m²K (pro tl. 4 mm)
Energetická celková prostupnost 4 mm	88%
Energetická celková prostupnost 6 mm	85%
Světelná reflexe	8%

Izolační skla se vyrábějí z:

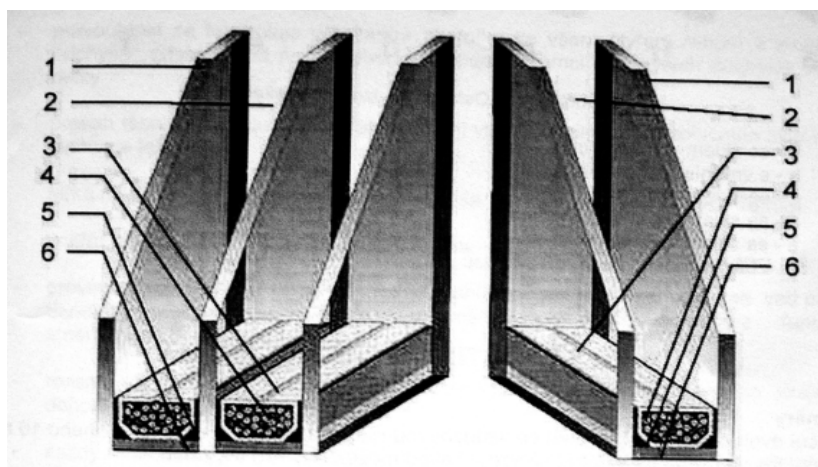
- plaveného skla float
- elektrofloatu
- plochého skla taženého
- plochého skla deterálního
- matovaného skla a ledovaného

3.8.2 Izolační dvojsklo a trojsklo

Izolační dvojsklo jsou dvě tabule skla tloušťek 4, 5, 6, 8 mm, které jsou odděleny distančním rámečkem tvořící vzduchovou dutinu tl. 6, 8, 12, 16 mm a jsou utěsněny po obvodu organickým tmelem. Dvojskla jsou plněna plynem argonem, kryptonem nebo hexafluoritanem síry, tím se zvýší tepelně izolační vlastnosti o $0,3 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ a zvukově izolační vlastnosti o 3-4 dB. [2]

U izolačního trojskla jde o stejný princip jako u dvojskla, pouze s tím rozdílem, že jsou použity tři tabule skla, které jsou obdobně odděleny distančním rámečkem a utěsněny po obvodu organickým tmelem. Požadavky na izolační skla jsou v normě ČSN 70 1621 a ČSN EN 1279.[3]

Obr.1 Řez izolačních skel



Legenda:

- 1) sklo
- 2) vzduchová dutina
- 3) distanční rám
- 4) vysoušecí prostředek
- 5) trvale plastický tmel s nízkou propustností vodní páry
- 6) trvale vulkanizující tmel zaručující vysokou adhezi ke sklu a rámečku [1].

Součinitel prostupu tepla je ovlivněn tloušťkou jednotlivých tabulí, emisivitou jednotlivých vrstev, šířkou meziskelní dutiny, polohou izolačního skla.

Tab.1 Porovnání součinitele prostupu tepla [3]

Typ izolačního skla	Složení (mm)	U _g (W/m ² .K)
Jednoduchá tabule 6 mm	6	5,7
Dvojsklo z čirých skel, plněné vzduchem	6 – 12 – 6	2,8
Dvojsklo s nízkoemisivním povlakem, plněné vzduchem	6 – 15 – 6	1,4
Dvojsklo s nízkoemisivním povlakem, plněné argonem 90%	6 – 15 – 6	1,1
Dvojsklo s nízkoemisivním povlakem, plněné kryptonem 90%	6 – 10 – 6	0,9
Trosklo s nízkoemisivním povlakem, plněné kryptonem 90%	8 – 10 – 6 – 10 – 6	0,5
Dvojsklo s meziskelnou fólií, plněné kryptonem 90%		0,8-0,5

Zlepšení neprůzvučnosti skleněných výplní lze dosáhnout silnějším sklem, vrstveným sklem s pružnou fólií, rozdílných tlouštěk skel omezující rezonanci, větší šířka dutiny a použitím množství vrstvených skel. [3]

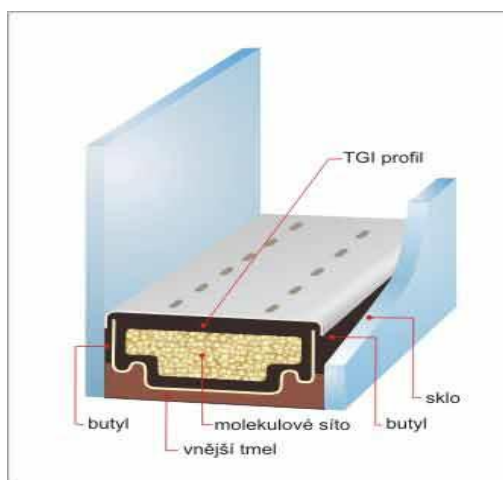
Tab.2 Vzduchová neprůzvučnost skleněných tabulí [3]

Vnější tabule	Tloušťka (mm)	Mezera (mm)	Vnitřní tabule	Tloušťka (mm)	R _w
Float	5		8		30
Float	6	12	Float	6	31
Float	8	12	Float	5	36
Vrstvené	6.6.2				36
Float	10	12	Float	6	37
Vrstvené s akustickou fólií	4.4.2				37
Vrstvené s akustickou fólií	4.4.2	12	Float	4	39
Float	6	15	Vrstvené s akustickou fólií	6.6.2	42
Float	10	15	Vrstvené s akustickou fólií	4.4.1	44
Vrstvené	8.8.2	15	Vrstvené	6.6.2	46
Vrstvené s akustickou fólií	6.6.1	20	Vrstvené s akustickou fólií	4.4.1	50

3.8.3 Distanční rámeček

Jedná se o dutý profil zajišťující vzdálenost skleněných tabulí a nesoucí vysoušecí prostředek (křemičité želé, zeolit), který slouží k pohlcení zbytků vlhkosti v dutině mezi skly. Rámeček musí mít dostatečnou tuhost, aby byl schopen přenášet mechanické zatížení a také musí být parotěsný, pro udržení vzácných plynů uvnitř meziskelního prostoru. Materiál používaný k výrobě profilů rámečků je hliník, nerezavějící ocel, plast s kovovou fólií nebo profilované provazce silikonu či butylkaučuku. Spojení rámečku se sklem a zajištění parotěsnosti je pomocí butylkaučukového tmelu. Přehled jednotlivých distančních rámečků dle použitého materiálu, provedení a teploty vnitřního povrchu je na tab.1.

Obr.1 Distanční rámeček [7]



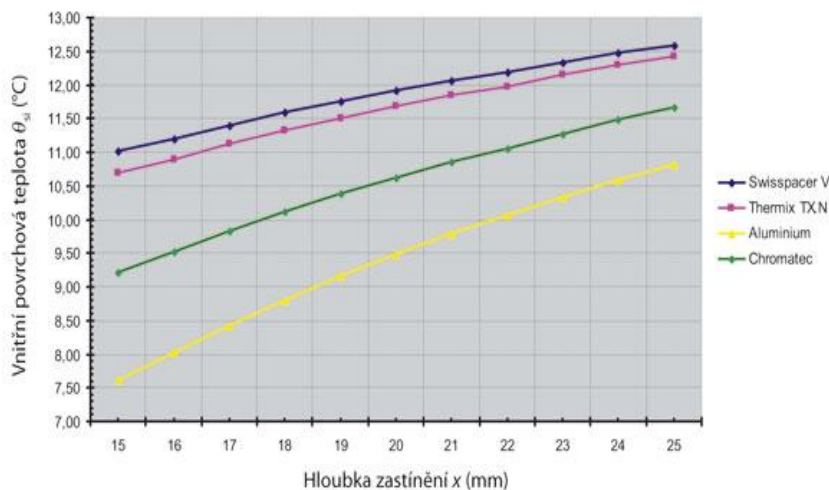
Tab.1 Přehled distančních rámečků [8].

Pořadí	Název	Materiál	λ (W/(m . K))	V oblasti zasklívací spáry při hloubce zastínění 15 mm	
				θ_{si} (°C)	f_{Rsi} (-)
1	Swisspacer V	termoplast	0,16	11,02	0,737
		nerez 10 μ m	15		
2	Thermix TX.N	termoplast	0,23	10,69	0,729
		nerez 0,1 mm	15		
3	Chromatec ultra	termoplast	0,24	10,29	0,718
		nerez 0,1 mm	15		
4	TGI	termoplast	0,22	10,15	0,714
		nerez 0,1 mm	17		
5	Swisspacer	termoplast	0,16	10,05	0,712
		hliník 30 μ m	160		
6	Chromatec Plus	nerez 0,15 mm	15	9,68	0,702
7	Chromatec	nerez 0,18 mm	15	9,22	0,690
8	hliníkový rámeček	hliník 0,3 mm	160	7,62	0,648

Z tabulky 1 je patrné, že jako nejlepší distanční rámeček na vnitřní povrchovou teplotu konstrukce s hloubkou zastínění 15 mm je Swisspacer V. Jediný splňující normu bez případného otopného tělesa pod okenní konstrukcí [8].

Vnitřní povrchovou teplotu lze ovlivnit nejen typem distančního rámečku, ale i konstrukčním řešením se změnou výšky zastínění (zasklívací lišty) distančního rámečku. Jednotlivé druhy distančních rámečků v závislosti na výšce zastínění jsou zobrazeny v graf. 2. [8]

Obr.2 Vnitřní povrchová teplota závislá na výšce zastínění [8].



3.8.4 Okenní fólie

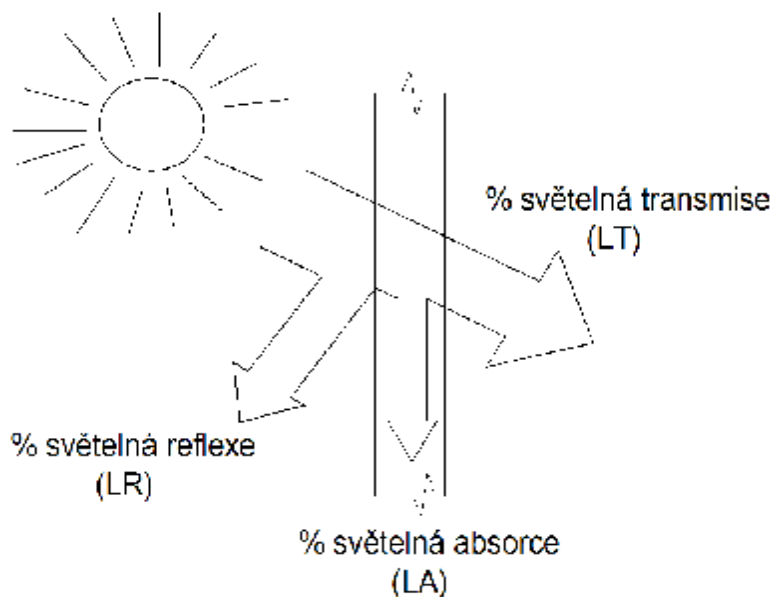
Jsou to tenké filmy o tloušťce 0,05 – 1 mm, z jedné strany speciálně upravené oxidy kovů a z druhé strany jsou opatřeny příslavnými lepidly pro přilepení na sklo, a to z interiéru nebo z exteriéru. Rozeznáváme fólie protisluneční, tepelně izolační, bezpečnostní, ochranné a speciální fólie. [1]

- 1) **protisluneční**- zadrží až 78 % slunečního záření a 96 % UV záření,
nižší nebezpečí rozbití skla a nižší náklady na klimatizaci
- 2) **tepelně izolační**- snížení součinitele prostupu tepla „U“ o 25%, zadrží
99% UV záření, sníží riziko úrazu při rozbití,
- 3) **bezpečnostní**- fólie tvoří mechanickou zábranu proti vniknutí,
- 4) **ochranné**- zabrání úrazu při případném rozbití a zabezpečení celistvosti
- 5) **speciální**- matové fólie pro zneprůhlednění skla při maximální propustnosti světla (obdoba pískovaného skla) [1]

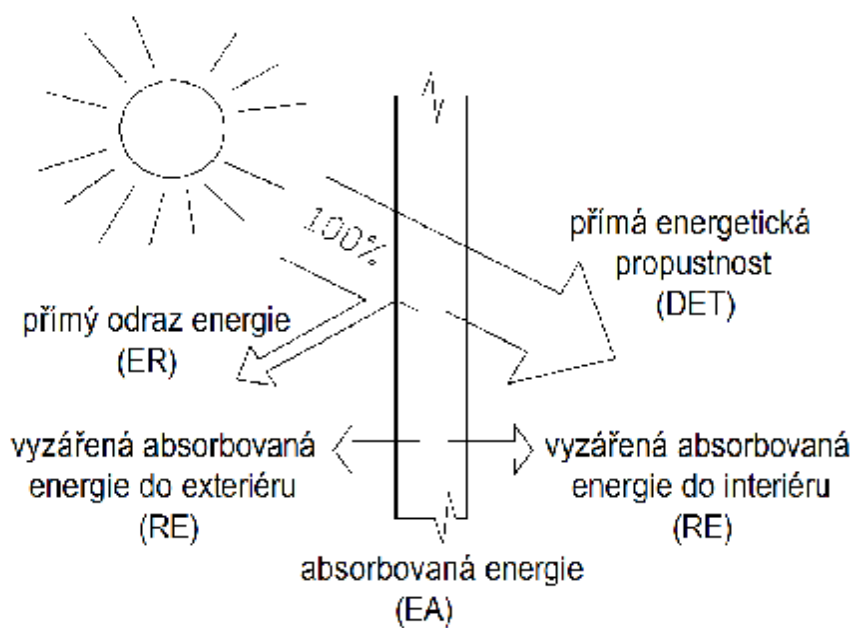
3.8.5 Světelné a energetické vlastnosti skel

Světelné paprsky dopadající na skleněnou tabuli jsou z části odraženy, jedná se o reflexi, z části pohlceny, jedná se o absorpci, a z části propustěny, jedná se o transmisi. U velkých skleněných výplní může lehce docházet k přeteplení interiéru, proti tomu se bráníme použitím absorpčních skel probarvených ve hmotě a sluneční energie je jimi pohlcena. Nebo používáme reflexní skla s odrazivou vrstvou titanu či niklu na povrchu skla nebo samolepící reflexní fólie, viz. obr. 1 a 2 [2].

Obr.1 Přenos světelného záření skrze skleněnou tabuly [4].



Obr.2 Přenos tepelného záření [4].



3.9 Způsoby zasklení ve funkční spáře

3.9.1 Do tmelového lóže

Do křídla jsou vloženy podložky a přetmelí se celý obvod plastickým tmelem, sklo se vloží do připraveného tmelu a položí se s nosnými podložkami pro vymezení vůle. Dále následuje dotmelení a přiložení čelní podložky a nasazení zasklívací lišty. Po očištění přebytečného tmelu se nanese uzavírací trvale pružný tmel.

3.9.2 Pomocí těsnící pásky uzavřené tmelem

Tato metoda je podobná jako ta předchozí, jen s tím rozdílem, že místo použití čelních podložek a přetmelení se použijí těsnící pásky a tím je zajištěna dobrá přilnavost ke sklu a dřevu.

3.9.3 Tlakové zasklení

Používá se u zasklení kovových nebo plastových křídel s izolačním materiálem ethylenpropylenu. Přitlačení musí být tak velké, aby okno odolávalo namáhání větrem a nedošlo k porušení skla.

4 Teorie prostupu tepla otvorových výplní

4.1 Způsoby šíření tepla

4.1.1 Vedením

K přenosu tepelné energie dochází tak, že pohyb elektronů v jedné molekule vykazující vyšší teplotu a rychlost předává svou kinetickou energii v podobě zrychlení pohybu elektronů v druhé molekule. Teplo se pak šíří od míst s vyšší teplotou do míst s nižší teplotou. Vedením se teplo šíří v pevných látkách (za určitých podmínek i v kapalinách a plynech). Schopnost vést teplo se vyjadřuje součinitelem tepelné vodivosti

$\lambda = (W/m \cdot K)$. Vodivost udává tepelný tok, proudící 1 m² stěny při tloušťce 1 m a rozdílu teplot 1 K [15].

„Tepelný tok je množství tepla, které proudí do nebo ze systému za jednotku času, zahrnuje všechny složky šíření tepla, znamená výkon přenášený při přenosu tepla vedením (kondukcí), prouděním (konvekcí) nebo sáláním (radiací). Je definován podílem přenášeného tepla a příslušného času“ [15].

$$\Phi = \frac{dQ}{dt} \quad (J / s)$$

Φ = tepelný tok v W = (J/s)

Q = přenášené teplo v (J)

t = čas v (s)

4.1.2 Prouděním

Proudění nastává v kapalinách a plynech (turbulentní, přechodné a laminární proudění). Přenos tepelné energie vzniká vzájemnou výměnou energie prouděním molekul v látce. Ohřátí nebo ochlazení plynu či kapaliny v určitém místě způsobí přemísťování částic prouděním a dojde tak k vyrovnání teplot látek. Tepelná kapacita dané látky a rychlost proudění nám určuje množství přenášené energie. Proudění závisí na viskozitě dané látky [15].

Při zředění vzduchu na co možná nejmenší možnou míru, téměř vakuum se zabraňuje proudění vzduchu.

$$\Phi = h_c \cdot A \cdot (\theta_{si} - \theta)$$

Φ = tepelný tok ve W

h_c = součinitel přestupu tepla prouděním ve W/ (m²·K)

A = plocha povrchu v m²

$\theta_{si} - \theta$ = rozdíl teploty povrchu stěny a teploty média nebo naopak v °C nebo K

[15]

$$h_c = \frac{q}{\Delta T}$$

h_c = součinitel přestupu tepla prouděním ve W/ (m²·K)

q = hustota tepelného toku ve W/ (m²·K)

ΔT = rozdíl teplot mezi povrchem stěny a okolním prostředím v K

[15]

4.1.3 Sáláním

K sálání dochází, když jedno těleso vyzařuje tepelné paprsky (elektromagnetické záření) na druhé těleso nezávisle na tom, zda jsou odděleny vakuem nebo látkovým prostředím pro záření prostupným. Přenos je závislý na čtvrté mocnině teploty tělesa a je udáván v Kelvinech. To znamená, že teplejší těleso je schopno vyzářit řádově více tepla než těleso jen o málo chladnější. Záření vydává každé těleso o teplotě vyšší jak $-273,16$ °C. Tělesa jsou pak schopna záření vydávat, ale i pohlcovat, odrážet a také propouštět. Vlastnost vyzařovat teplo tělesa je nazýváno emisivitou a značí nám množství energie v procentech, které je schopné těleso vyzářit. Tepelné záření má vlnovou délku $0,1 - 100$ μm . Sáláním je přenos tepla přenášen hlavně infračerveným zářením, z části světlem a zářením ultrafialovým [15].

100 - 380 nm -záření ultrafialové

780 - 4000 nm -záření infračervené (tepelné)

380 - 780 nm -záření světelné (světlo)

[15]

$$P_e = \frac{dE_e}{dt}$$

P_e = zářivý tok ve (W)

dE_e = zářivá energie v (J)

dt = čas v (s)

[15]

4.2 Součinitel prostupu tepla

„Udává jaké množství energie projde plochou 1 m^2 při rozdílu teplot na vnitřní a vnější straně o 1 °C za čas 1 s .“ [1]

Součinitel prostupu tepla označující se $U = W/(m^2.K)$ vyjadřuje celkovou výměnu tepla mezi prostory oddělenými otvorovými výplněmi, tedy izolační schopnosti stavebních konstrukcí.

„Součinitel prostupu tepla U je jednak závislý na tepelném odporu konstrukce R , jednak na odporu při přestupu tepla na vnitřní a na vnější straně konstrukce- R_i a R_e , to jest na součinitelích přestupu tepla na vnitřní a na vnější straně konstrukce. Je známo, že odpor při přestupu tepla na vnější straně konstrukce je zhruba třetinový proti odporu na vnitřní straně konstrukce a že se vzrůstající hodnotou tepelného odporu konstrukce R se vliv R_i a R_e zmenšuje. Součinitel přestupu tepla na vnější straně konstrukce při proudění je tím větší, čím je větší rychlost pohybu vzduchu, v našem případě rychlost větru, a čím je menší délka obtékané plochy“ [5] .

Ztráta tepla vzniklá přirozeným větráním netěsnostmi, je vyjádřena součinitelem spárové průvzdušnosti a není zahrnuta v součiniteli U_w . Ani tak se do součinitele U_w nezahrnuje způsob osazení do budovy a vliv ostění.

Součinitel prostupu tepla U lze určit měřením, z tabulek a normogramů a nebo výpočty. Součinitel tepelné

4.2.1 Výpočet součinitele prostupu tepla okna U_w

Hodnota U_w okna pro konkrétní konstrukci není konstantní, je to ovlivněno rozměry a geometrií okna, kde vznikají různé tepelné toky v okrajové části okna a v části zasklení.

Pro zohlednění těchto vlivů se používá postup dle normy ČSN EN 10077-1 [6].

$$U_w = \frac{U_f \cdot A_f + U_g \cdot A_g + \Psi \cdot l_g}{A_w} \quad [W / (m^2 \cdot K)]$$

U_f - součinitel prostupu tepla rámu a křídla $W/(m^2 \cdot K)$

U_g - součinitel prostupu tepla zasklení $W/(m^2 \cdot K)$

A_g - plocha zasklení (m^2)

A_f - plocha rámu (m^2)

A_w - plocha celého okna (m^2)

Ψ - lineární součinitel prostupu tepla $W/(m \cdot K)$

l_g - obvod zasklení v křídle okna (m)

Lineární součinitel prostupu tepla Ψ vyjadřuje vliv styku zasklení a křídla na tepelný tok. V tomto místě vzniká přídavný tepelný tok ve W na 1 m styku při rozdílu teplot na interiéru a exteriéru 1 K [6].

„Pro konstrukci, ve které lze uvažovat jednosměrné šíření tepla, se součinitel prostupu tepla U , ve $W/(m^2 \cdot K)$ stanoví z tepelného odporu konstrukce R , v $(m^2 \cdot K)/W$, podle vztahu : $R = \sum R_j$, kde R_j je tepelný odpor j -té vrstvy konstrukce, v $(m^2 \cdot K)/W$, stanovený pro hmotné vrstvy konstrukce dle vztahu:“ [15]

$$R_j = \frac{d_j}{\lambda_j}$$

d_j = tloušťka j-té vrstvy konstrukce v (m)

λ_j = návrhový součinitel tepelné vodivosti materiálu j-té vrstvy konstrukce v W/(m.K).

Tepelná vodivost λ vyjadřuje schopnost materiálu přenášet teplo vedením v jednotkách W/(m.K).

Tepelná vodivost je ovlivněna:

- objemovou hmotností,
- vlhkostí,
- směrem tepelného toku v anizotropních látkách,
- chemickým složením,
- teplotou [15].

Intenzivní hodnota odporu konstrukce při prostupu tepla se nazývá součinitel prostupu tepla [15].

$$U = \frac{1}{R_{si} \cdot R \cdot R_{si}}$$

4.3 Lineární součinitel prostupu tepla

„Vyjadřuje vliv styku zasklení a křídla na tepelný tok. V místě tohoto styku vzniká přídatný tepelný tok. Vyjadřuje se přídatným tepelným tokem ve W na 1 m styku při jednotkovém rozdílu teplot vnitřního a venkovního vzduchu. Vlivem tohoto styku se zvyšuje tepelný tok přes okno v závislosti na možných tepelně technických vlastnostech materiálů uplatněných ve styku“ [6].

Materiály uplatněné ve styku:

- křídlo dřevné, PVC, kovové s přerušením a bez přerušení tepelného mostu
- zasklení obyčejně nebo se selektivními vrstvami
- distanční lišta hliníková, ocelová, plastová

Tab.1 Lineární činitel prostupu tepla vlivem zasklení pro různé distanční rámečky s dvojsklem 4-16-4 $U_g = 1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$ a trojsklem 4-12-4-12-4 $U_g = 0,7 \text{ W/m}^2\text{K}$ s příslušnou hloubkou založení skel [3].

Typ rámečku	Materiál	Tepelná vodivost (W/m.K)	Lineární činitel prostupu tepla Ψ_g (W/m.K)			
			OKNO		RASTROVÝ FASÁDNÍ SYSTÉM	
			Dvojsklo	Trojsklo	Dvojsklo	Trojsklo
ALU	hliníková slitina	160	0,082	0,098	0,115	0,115
Ferrotech	ocel	50	0,078	0,090	0,108	0,108
Chromatech	nerezová ocel	17	0,062	0,060	0,082	0,076
Chromatech Plus	nerezová ocel Cr-Ni	14,3	0,058	0,053	0,074	0,072
TGI	galvanizovaná ocel / PP	50 / 0,19	0,059	0,055	0,079	0,072
TGI-W	nerezová fólie / PP	20 / 0,19	0,046	0,039	0,060	0,053
Swisspacer	hliníková fólie / laminát	160 / 0,19	0,052	0,027	0,069	0,061
Swisspacer-V	nerezová fólie / laminát	14,3 / 0,19	0,035	0,055	0,043	0,039
Thermix TX.N	nerezová fólie / mPP	14,6 / 0,23	0,045	0,038	0,057	0,041

5 Metodika práce

5.1 *Postup při výpočtu součinitele prostupu tepla rámu U_f v programu Flixo*

5.1.1 Výběr a narýsování dřevěných a plastových profilů

V první řadě bylo třeba vyhledat a následně narýsovat v programu AutoCad 2007 výkresy sledovaných profilů oken dřevěných, nacházející se na evropském trhu. A to profily s přerušením a bez přerušení tepelného mostu hliníkové okapnice a bez okapnice, v tloušťkách 68, 78, 88, 92 a zjistit tak rozměrovou závislost mezi jednotlivými tloušťkami profilů a jednotlivé profily zobrazit do výpočtové řady součinitele prostupu tepla. Tyto tloušťky se prodávají na evropském trhu, ale pro výpočtovou řadu bylo třeba si vybrat jeden reprezentativní profil a ten narýsovat v tloušťkách po 5 mm v řadě 68 – 108 mm. Tedy vytvořit 9 výkresů pro jednu řadu s okapnicí bez přerušení tepelného mostu, 9 výkresů s okapnicí s přerušením tepelného mostu, 9 výkresů pro boční a horní vlysy oken (bez okapnice) s těsněním a s kováním a 9 výkresů pro boční a horní vlysy oken pouze s těsněním a 15 výkresů pro originální profily oken. Celkem tedy bylo potřeba vytvořit 51 výkresů, pro které bylo nutné provést výpočty součinitele prostupu tepla a jednotlivá data mezi sebou porovnat a porovnat je s plastovými profily.

U plastových profilů se postupovalo obdobně. Bylo třeba vyhledat originální profily 3 - 7 komor s dorazovým těsněním a 5 - 8 komor se středovým těsněním ve funkční spáře. Tyto profily byly porovnávány s dřevěnými. Dále pro zjištění závislosti počtu komor na součinitel prostupu tepla rámu byly přidávány dutiny vždy stejné tloušťky v rozmezí 5-10 komor. Pro zjištění závislosti ocelové výztuže a obvodového kování bylo postupováno obdobně, vytvořily se rámy, kterým byla přidávána dutina vždy stejné tloušťky, v jedné variantě s působením ocelové výztuže a obvodového kování a v druhé variantě bez

působení ocelové výztuže s obvodovým kováním. Pro zjištění vlivu působení obvodového kování byly v první variantě počítány rámy bez působení ocelové výztuže s obvodovým kováním a v druhé variantě rámy bez působení ocelové výztuže a obvodového kování. Tento postup byl proveden pro rámy s dorazovým a se středovým těsněním. Celkem bylo nutné pro plastové rámy narýsovat a propočítat 50 profilů: Tyto profily se pak porovnávaly mezi sebou, přičemž byla zjišťována závislost různých působících vlivů na rám a byly porovnávány s profily dřevěnými.

5.1.2 Zadávání dat do programu Flixo

Veškeré profily vstupující do programu Flixo musely mít zasklení nahrazeno izolační deskou o tepelné vodivosti $\lambda = 0,035 \text{ W/(m.K)}$. Tato deska je vložena do rámu s vůlí $b_1 \geq 5 \text{ mm}$ a s hloubkou uložení nepřesahující $b_2 \leq 15 \text{ mm}$.

„Viditelná délka desky je nejméně 190 mm a tloušťka desky d musí být stejná jako tloušťka zasklení nebo neprůsvitné výplně“. [9]

V našem případě bylo použito desky s viditelnou délkou 234 mm a tloušťky 24 mm.

Dřevěnému nebo plastovému rámu byly přiděleny dle použitého materiálu patřičné tepelné vodivosti, měkké dřevo $\lambda = 0,13 \text{ W/(m.K)}$, PVC $\lambda = 0,17 \text{ W/(m.K)}$, EPDM $\lambda = 0,25 \text{ W/(m.K)}$, ocel $\lambda = 50 \text{ W/(m.K)}$, hliník $\lambda = 160 \text{ W/(m.K)}$, izolační deska $\lambda = 0,035 \text{ W/(m.K)}$, silikon $\lambda = 0,35 \text{ W/(m.K)}$, polyamid 66 $\lambda = 0,30 \text{ W/(m.K)}$ a tepelné vodivosti dutin, v závislosti na rozměrech dutin a na jejich uzavření, zda jsou větratelné, či nevětratelné [9].

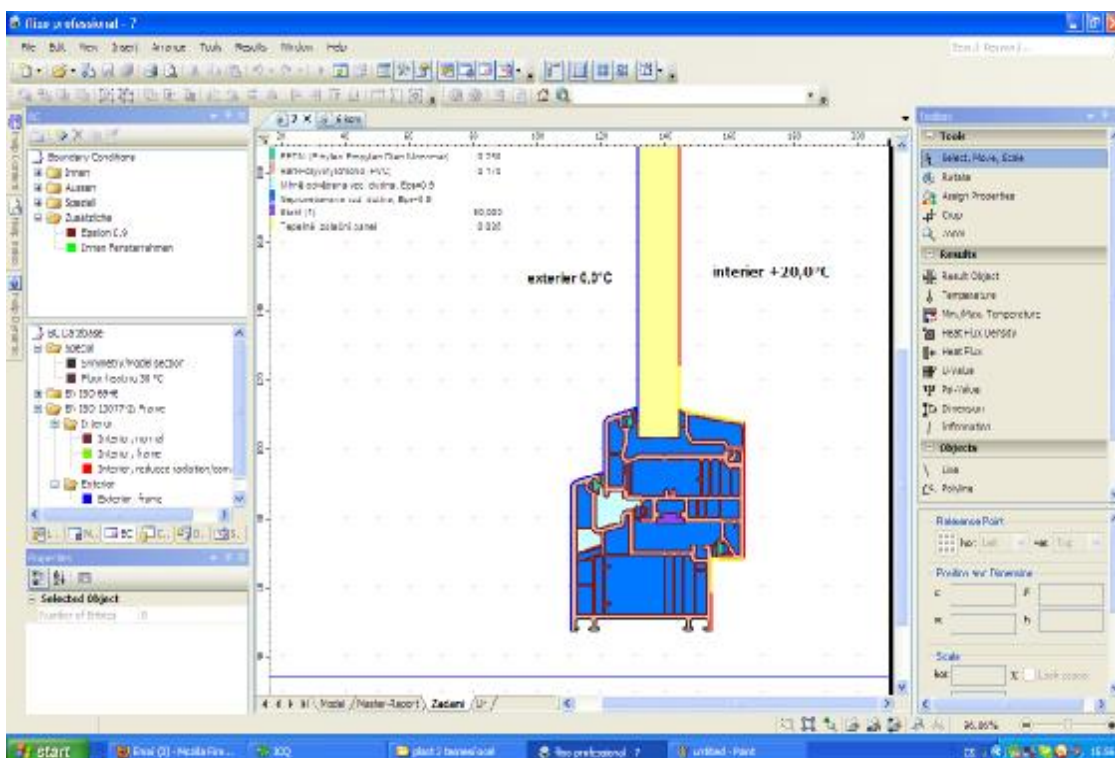
Za nevětratelnou dutinu se považuje dutina úplně uzavřená, nebo spojena s okolím štěrbinou nepřesahující šířku 2 mm. Za mírně odvětrávanou dutinu se považuje drážka o malých průřezech štěrbinou od 2 mm do 10 mm, hloubky větší nebo rovné velikosti štěrbinou. Za dostatečně odvětrávané dutiny a drážky se považuje štěrbina spojující dutiny a drážky s okolím větší jak 10 mm [9].

Po přidělení materiálových vlastností a dutin následovalo označení okrajových podmínek. *„Odpor při přestupu tepla na vnější a vnitřní straně závisí na přenosu tepla prouděním a zářením (sáláním) do vnějšího a vnitřního okolí. Konvekční podíl může být snížen na okrajích nebo v styku dvou povrchů. Pokud vnější povrch není vystaven k*

normálním povětrnostním podmínkám (viz EN ISO 10211-1:1995, příloha E)“. [9]. Na exteriérové straně byla stanovena okrajová podmínka 0°C s odporem při přestupu tepla pro vodorovný tepelný tok $R_{se} = 0,04 \text{ (m}^2\cdot\text{K)/W}$.

Na interiérové straně byla stanovena okrajová podmínka 20°C s odporem při přestupu tepla pro vodorovný tepelný tok s rovinným povrchem $R_{si} = 0,13 \text{ (m}^2\cdot\text{K)/W}$ a u okrajů nebo styku mezi dvěma povrchy $R_{si} = 0,20 \text{ (m}^2\cdot\text{K)/W}$. Po splnění těchto podmínek mohl být zahájen tepelný technický výpočet součinitele prostupu tepla rámem U_f .

Obr.1 Početní program FLIXO



Z výsledných dat byly pro jednotlivé typy profilů dřevěných a plastových ráků vytvořeny grafy, které se mezi sebou porovnávaly a zjišťovaly se působící vlivy na ráky, viz kapitola 7. Dřevěné profily byly vypočteny pro hliníkovou okapnici s přerušením tepelného mostu, bez přerušení tepelného mostu a pro profily bez okapnice. Váženým průměrem pro normový rozměr ráku $1230 \times 1480 \text{ mm}$ bylo třeba sjednotit profil s okapnicí s profilem bez okapnice. Pro tyto profily byl vytvořen graf s rovnicí. Tato rovnice byla použita pro výpočet tloušťky ráku při dosazení známých hodnot U_f a naopak.

Pomocí této rovnice se porovnávaly dřevěné profily s plastovými a data se zaznamenávala do tabulky.

$$\text{Vážený průměr} = \frac{U_{f1} \cdot A_{f1} + U_{f2} \cdot A_{f2}}{A_{f1} + A_{f2}}$$

Vážený průměr = W/(m².K)

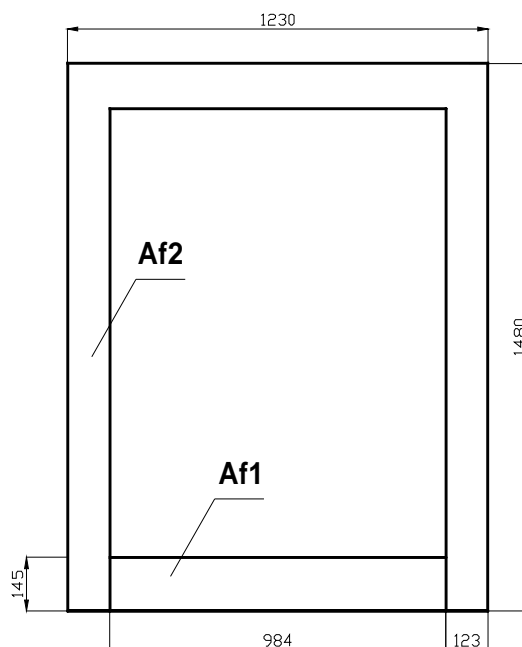
U_{f1} = Součinitel prostupu tepla rámu s okapnicí W/(m².K).

U_{f2} = Součinitel prostupu tepla rámu bez okapnice W/(m².K).

A_{f1} = Plocha rámu s okapnicí (m²), viz obr.17.

A_{f2} = Plocha rámu bez okapnice (m²), viz obr.17.

Obr.2 Normový rám



Tab.1 Obsah rámu bez okapnice a s okapnicí pro normový rám

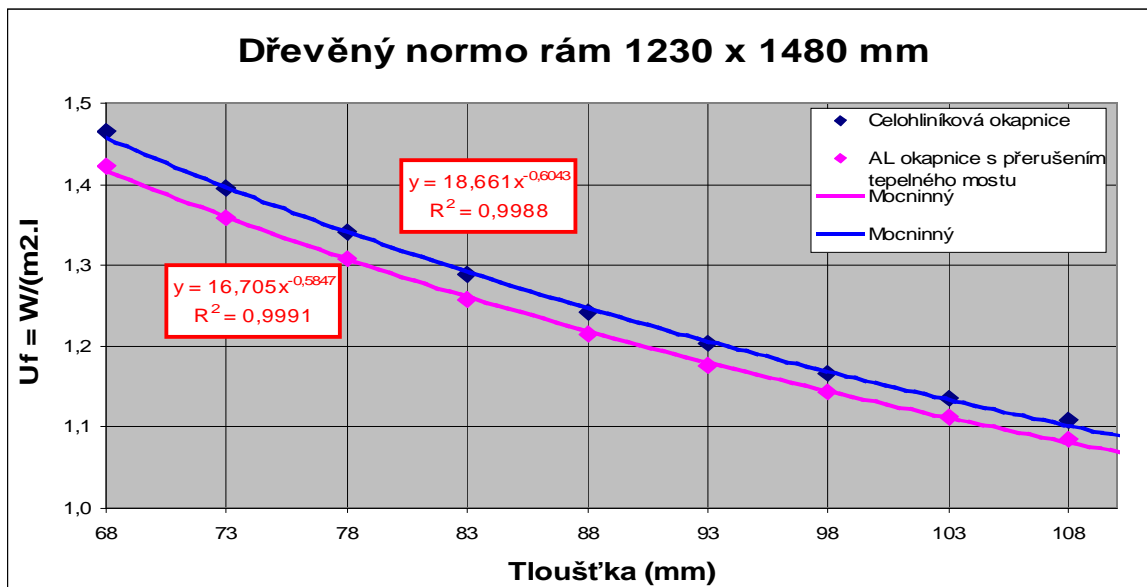
Normový rozměr rámu 1230 x 1480 mm	
Af2 = obsah rámu bez okapnice	Af1 = obsah rámu s okapnicí
m ²	m ²
0,485112	0,14268

V tabulce 3 jsou vypočteny váženým průměrem hodnoty součinitele prostupu tepla pro rámy s působením okapnice s přerušením a bez přerušení tepelného mostu. Z výstupních dat byl vytvořen graf. Jednotlivé křivky byly proloženy spojnicí trendu a formátováním byly zobrazeny rovnice regrese. Ty byly použity ve výpočtovém vzorci v programu Microsoft Excel sloužící pro výpočet součinitele prostupu tepla a pro výpočet tloušťky. Po dosažení součinitele prostupu tepla plastového rámu U_f do vytvořeného vzorce zjistíme ekvivalentní tloušťku pro dřevěný rám. Stejným způsobem se postupovalo pro plastové rámy.

Tab.2 Součinitel prostupu tepla U_f vypočtené váženým průměrem na normový rám 1230 x 1480 mm

	Vážený průměr na normo rám 1230 x 1480 mm	
	$U_f = W/(m^2 \cdot K)$	
Tloušťka (mm)	Celohliníková okapnice	AL okapnice s přerušením tepelného mostu
68	1,465	1,423
73	1,394	1,359
78	1,341	1,307
83	1,289	1,258
88	1,243	1,216
93	1,203	1,177
98	1,167	1,143
103	1,135	1,113
108	1,108	1,086

Obr.3 Součinitel prostupu tepla dřevěných rámu pro normový rozměr okna 1230 x 1480 mm s rovníci



6 Analýza faktorů ovlivňujících tepelně izolační vlastnosti okenních rámu

6.1 Dřevěný rám

Z výpočtů součinitele prostupu tepla rámu U_f , tloušťkové řady 68-108 mm jdoucí po sobě po 5 mm, jsme získali z grafu mocninnou funkci, kde bylo patrné, že tepelně izolační vlastnosti dřevěného rámu se zlepšují s rostoucí tloušťkou. Další ovlivňující činitel bylo použití okapnice s přerušením tepelného mostu z polyamidu, ta vykazovala lepší tepelně izolační vlastnosti, než-li použití pouze hliníkové okapnice bez přerušení tepelného mostu. Nejlépe si na tom stály profily bez použití jakékoliv okapnice. Další ovlivňující činitel je celoobvodové kování z oceli, které také negativně působí na součinitel prostupu tepla rámu.

6.2 Plastový rám

Plastové rámy vykazovaly na základě tepelně technických výpočtů lepší hodnoty s vyšším počtem komor, lepších hodnot bylo také dosaženo s profily obsahujícími mezi dorazovým těsněním středové těsnění ve funkční spáře, které z jedné mírně odvětrávané dutiny vytvořilo jednu dutinu mírně odvětrávanou a jednu dutinu neprovětrávanou. Lepších hodnot bylo také dosaženo při nepoužití ocelové výztuhy křídla. Další faktor ovlivňující součinitel prostupu tepla je tloušťka rámu a tloušťka plastových příček. Tvarové provedení ocelových výztuh a plastového profilu rámu. Tak jako u dřevěného rámu tak i u plastového rámu negativně ovlivňuje tepelně izolační vlastnosti celoobvodové kování.

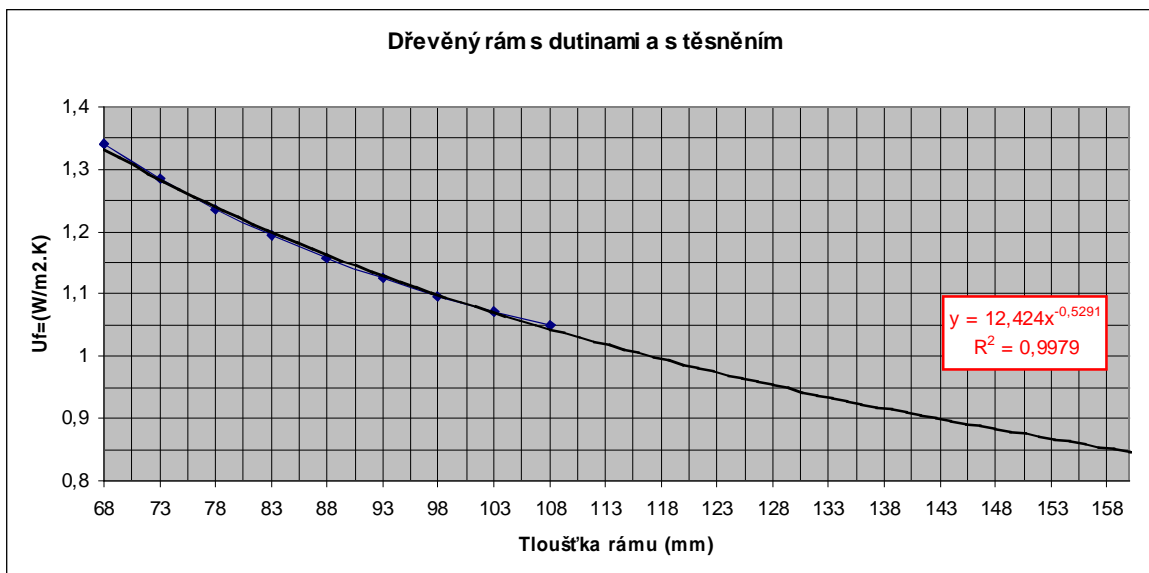
7 Rozbor majoritních faktorů ovlivňujících U_f

7.1 Dřevěný rám

7.1.1 Vliv tloušťky rámu

Hlavní faktor ovlivňující tepelně izolační vlastnosti je tloušťka rámu. S rostoucí tloušťkou se podle mocninné funkce $y = 12,424 \cdot x^{-0,5291}$ snižuje součinitel prostupu tepla U_f . Křivka má na začátku strmější charakter, který se se zvětšující tloušťkou pozvolna snižuje. V tomto případě byly počítány pouze rámy bez dalšího působícího vlivu okapnice a celoobvodového kování. Výpočty viz příloha-(Dřevěný rám s těsněním.)

Obr.1 Závislost tloušťky rámu na součiniteli prostupu tepla



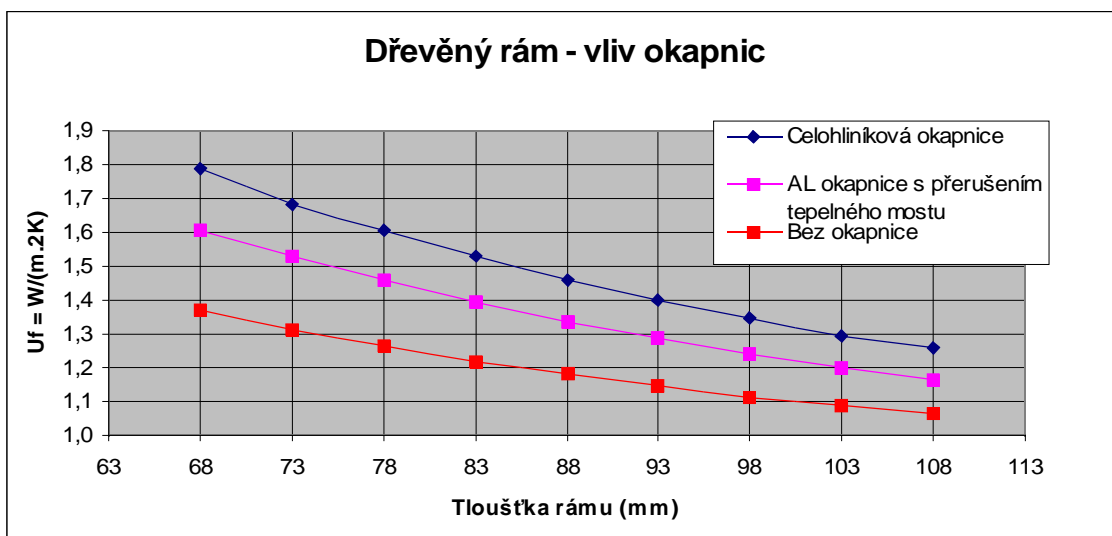
Tab.1 Součinitel prostupu tepla dřevěných ráků pouze s těsněním.

Tloušťka (mm)	Prostup tepla $U_f = W/(m^2 \cdot K)$
68	1,341
73	1,284
78	1,236
83	1,195
88	1,158
93	1,126
98	1,097
103	1,072
108	1,049

7.1.2 Vliv okapnice

Další faktor ovlivňující součinitel prostupu tepla je typ použité okapnice na spodním vodorovném vlysu ráku. Hliníková okapnice s přerušením tepelného mostu pomocí polyamidu vykazuje lepší hodnoty, než-li okapnice bez přerušení tepelného mostu. Volba použité okapnice má značný vliv při menších tloušťkách ráku, a to při tloušťce ráku 68 mm s rozdílem od 0,186 $W/(m^2 \cdot K)$ a při tloušťce 108 mm s rozdílem 0,096 $W/(m^2 \cdot K)$. S rostoucí tloušťkou ráku se vliv použitého druhu okapnice snižuje, ale přesto není zanedbatelný. V grafu je také znázorněn rám bez použití okapnic, používající se na svislý a na horní vodorovný vlys ráku. Tento rám vykazuje nejlepší hodnoty součinitele prostupu tepla. V uvedených variantách v grafu je zohledněno celoobvodové kování. Výpočty viz. příloha-(Dřevěný rám s okapnicí s přerušením tepelného mostu. Dřevěný rám s okapnicí bez přerušením tepelného mostu. Dřevěný rám bez okapnice.)

Obr.1 Vliv okapnic na součinitel prostupu tepla rámu U_f



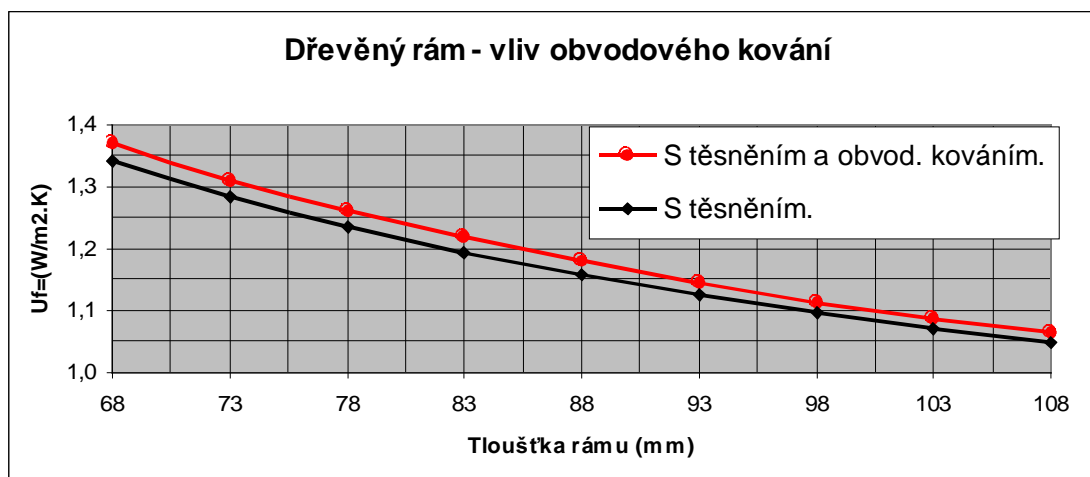
Tab.1 Součinitel prostupu tepla rámu pro AL okapnici, AL okapnice + polyamidem a bez okapnice v závislosti na tloušťce

Tloušťka (mm)	Jednotky v $U_f = W/(m^2.K)$		
	Celohliníková okapnice	AL okapnice s přerušením tepelného mostu	Bez okapnice
68	1,789	1,603	1,370
73	1,685	1,528	1,309
78	1,608	1,461	1,262
83	1,529	1,395	1,218
88	1,458	1,337	1,180
93	1,400	1,286	1,145
98	1,347	1,240	1,114
103	1,297	1,200	1,087
108	1,261	1,165	1,063

7.1.3 Vliv celoobvodového kování

Další faktor ovlivňující součinitel prostupu tepla je celoobvodové kování, které je z ocele upravené na povrchu pozinkem s vodivostí $\lambda = 50 \text{ W/(m.K)}$. Tento materiál zhoršuje tepelně izolační vlastnosti rámu a bylo by možné tento materiál nahradit například legovanou ocelí s vodivostí v rozhraní $\lambda = 11\text{-}30 \text{ W/(m.K)}$ nebo nerez ocelí s vodivostí $\lambda = 17 \text{ W/(m.K)}$. Za úvahu by stálo použití kombinace zmíněných kovů a tuhých plastů s vodivostí v rozhraní $\lambda = 0,2\text{-}0,35 \text{ W/(m.K)}$. V grafu jsou znázorněny rámy bez okapnic, používající se na svislé a na horní vodorovný vlys rámu. Jedna varianta je s obvodovým kováním a druhá varianta bez obvodového kování. Tak jako v předešlých případech je značný vliv obvodového kování při menších tloušťkách rámu, a to u tloušťky 68 mm s rozdílem od $0,029 \text{ W/(m}^2\text{.K)}$. S rostoucí tloušťkou rámu až na tloušťku 108 mm se toto negativní působení kování snižuje až na rozdíl $0,014 \text{ W/(m}^2\text{.K)}$.

Obr.1 Vliv obvodového kování na součinitel prostupu tepla rámu U_f



Tab.1 Součinitel prostupu tepla rámu s obvodovým a bez obvodového kování

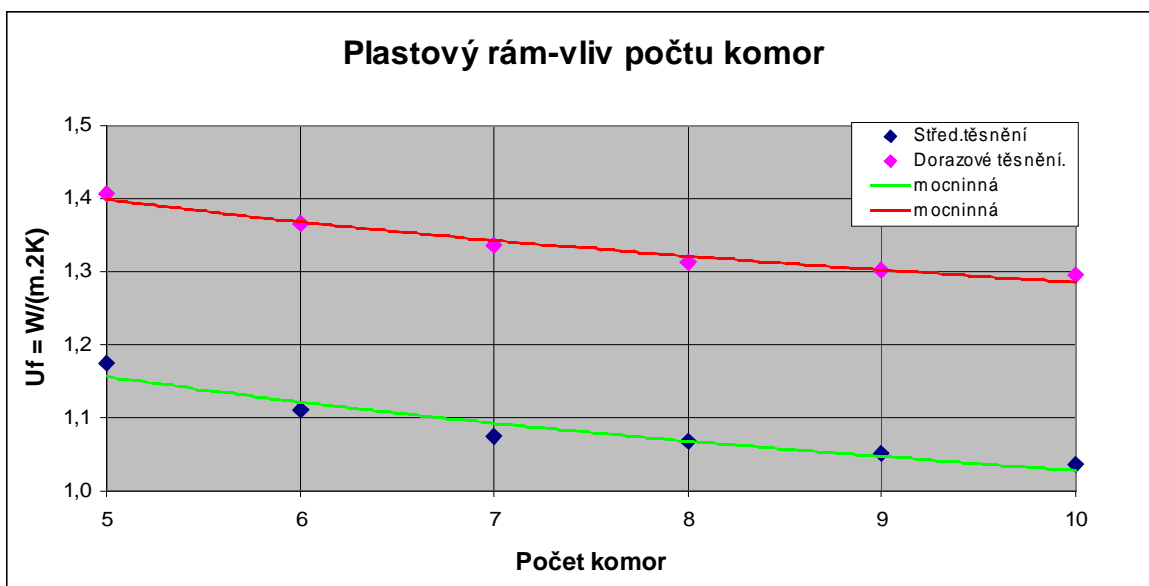
Dřevěný rám (mm)	Jednotky v $U_f = W/(m^2.K)$	
	S těsněním a obvod. kováním.	S těsněním.
68	1,370	1,341
73	1,309	1,284
78	1,262	1,236
83	1,218	1,195
88	1,180	1,158
93	1,145	1,126
98	1,114	1,097
103	1,087	1,072
108	1,063	1,049

7.2 Plastový rám

7.2.1 Vliv počtu komor s rostoucí tloušťkou

Plastovému rámu tloušťky 70 mm byly přidávány komory stejné tloušťky od 5 do 10 komor, bez působení ocelové výztuže a obvodového kování. Byla zkoumána pouze závislost přidávání počtu komor na součinitel prostupu tepla. Na obr.1 jsou znázorněny křivky pro rám s dorazovým a se středovým těsněním. Tyto křivky mají velmi podobnou strmost, kdy přidáním 4 komor dosáhnou zlepšení o 0,1 W/(m².K). Výpočty viz příloha- (Plastový rám se středovým těsněním , Plastový rám s dorazovým těsněním).

Obr.1 Vliv počtu komor při rostoucí tloušťkou rámu na součinitel prostupu tepla rámu U_f



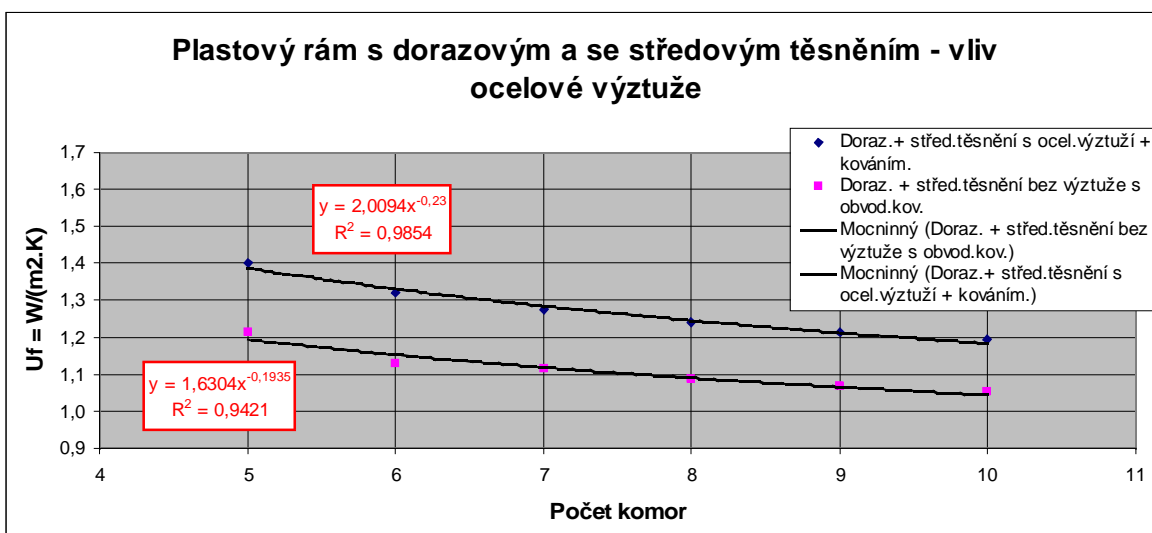
Tab.1 *Součinitel prostupu tepla rámu v závislosti na přidávání počtu komor pro rámy s dorazovým a se středovým těsněním ve funkční spáře*

Počet komor plastového rámu	Jednotky v $U_f = W/(m^2.K)$	
	Střed.těsnění	Dorazové těsnění.
5	1,174	1,407
6	1,111	1,365
7	1,075	1,336
8	1,069	1,313
9	1,050	1,302
10	1,036	1,295

7.2.2 Vliv ocelové výztuže

Další faktor ovlivňující součinitel prostupu tepla rámu je ocelová výztuž, s vodivostí $\lambda = 50 \text{ W/(m.K)}$. Ocelovou výztuž je možné v křídle nahradit fixací křídla ke skleněné tabuli, nebo vypěněním dutin rámu a křídla tepelně izolačním materiálem sloužící zároveň jako výztuha.

Obr.1 Vliv ocelové výztuže se středovým těsněním rámu na součinitel prostupu tepla rámu U_f



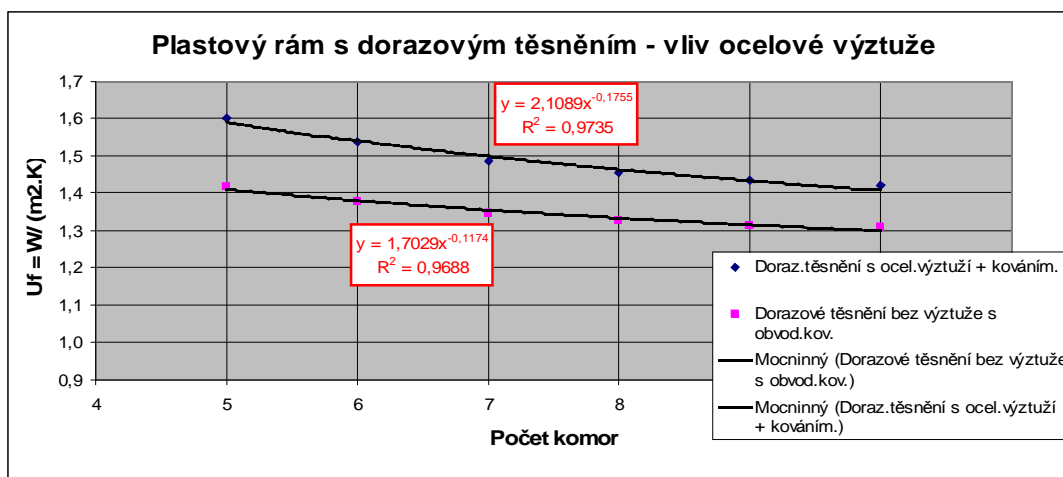
V obr. 1 pro plastové rámy se středovým těsněním byly jednotlivé křivky proloženy spojnicí trendu a formátováním byly zobrazeny rovnice regrese. Ty byly použity ve výpočtovém vzorci. Při zadání 5 komor do obou rovnic byl rozdíl způsoben vlivem výztuže $0,2 \text{ W/(m}^2\text{.K)}$, pro 10 komor byl tento rozdíl pouhých $0,14 \text{ W/(m}^2\text{.K)}$. Z toho je patrné, že ocelová výztuž má největší vliv pro rámy s nižším počtem komor a navyšování počtu komor se vliv ocelové výztuže snižuje.

Výpočty viz příloha-(Plastový rám se středovým těsněním , ocelovou výztuží a obvodovým kování. Plastový rám se středovým těsněním , bez ocelové výztuže s obvodovým kování).

Tab.1 Součinitel prostupu tepla plastového rámu s dorazovým a se středovým těsněním ve funkční spáře v závislosti na ocelové výztuže

Počet komor plastového rámu	Jednotky v $U_f = W/(m^2 \cdot K)$	
	Doraz.+ střed.těsnění s ocel.výztuží + kováním.	Doraz. + střed.těsnění bez výztuže s obvod.kov.
5	1,401	1,215
6	1,322	1,131
7	1,277	1,113
8	1,239	1,087
9	1,212	1,067
10	1,193	1,053

Obr.2 Vliv ocelové výztuže s dorazovým těsněním rámu na součinitel prostupu tepla rámu U_f



V obr. 2 pro plastové rámy s dorazovým těsněním byly jednotlivé křivky také proloženy spojnicí trendu a formátováním byly zobrazeny rovnice regrese. Ty byly použity ve výpočtovém vzorci. Při zadání 5 komor do obou rovnic byl rozdíl způsoben vlivem výztuže 0,18 $W/(m^2 \cdot K)$, pro 10 komor byl tento rozdíl pouhých 0,11 $W/(m^2 \cdot K)$. Z toho je patrné, že ocelová výztuž má největší vliv pro rámy s nižším počtem komor a

navyšováním počtu komor se vliv ocelové výztuže snižuje.

Výpočty viz příloha-(Plastový rám s dorazovým těsněním, ocelovou výztuží a obvodovým kováním. Plastový rám s dorazovým těsněním, bez ocelové výztuže s obvodovým kováním).

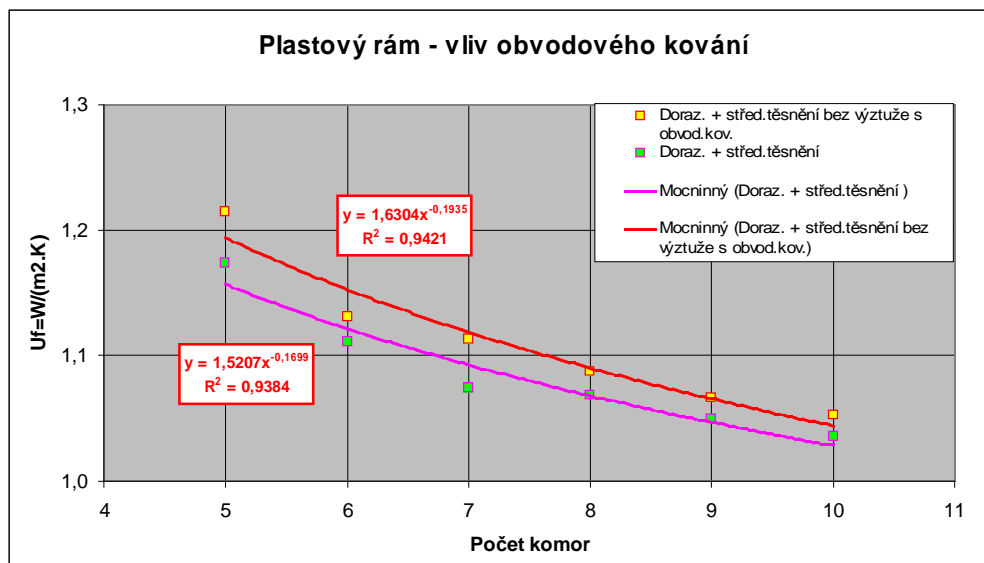
Tab.1 Součinitel prostupu tepla plastového rámu s dorazovým těsněním v závislosti na ocelové výztuže

Počet komor plastového rámu	Jednotky v $U_f = W/(m^2 \cdot K)$	
	Doraz.těsnění s ocel.výztuží + kováním.	Dorazové těsnění bez výztuže s obvod.kov.
5	1,603	1,418
6	1,537	1,377
7	1,485	1,349
8	1,455	1,326
9	1,434	1,315
10	1,421	1,309

7.2.3 Vliv celoobvodového kování

Další faktor ovlivňující součinitel prostupu tepla je jako u dřevěných rámu celoobvodové kování, které je z ocele upravené na povrchu pozinkem s vodivostí $\lambda = 50$ W/(m.K). V grafu 1 jsou znázorněny rámy se středovým těsněním bez ocelové výztuže a v grafu 2 jsou znázorněny rámy s dorazovým těsněním bez ocelové výztuže. Jedna křivka značí rámy s obvodovým kováním a druhá rámy bez obvodového kování. Vzniklé křivky byly proloženy spojnicí trendu a formátováním byly zobrazeny rovnice regrese. Ty byly použity ve výpočtovém vzorci.

Obr.1 Vliv obvodového kování pro rámy se středovým těsněním na součinitel prostupu tepla plastového rámu U_f



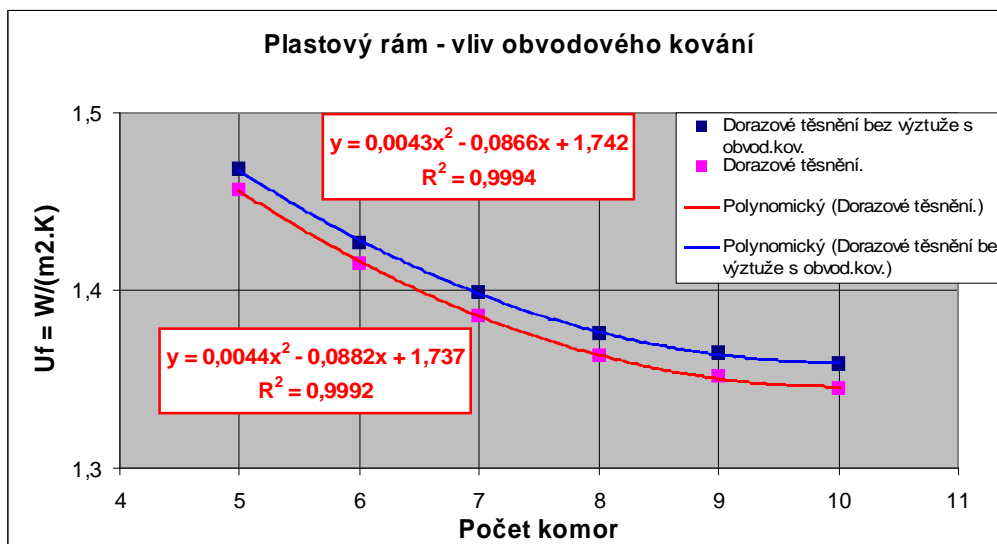
Pro 5 komorový systém rámu se středovým těsněním se po odstranění obvodového kování zlepšily hodnoty součinitele prostupu tepla o $U_f = 0,03 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$ a pro 10 komorový systém to bylo už jen o $U_f = 0,01 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$. Vliv obvodového kování je nejvíce patrný při menším počtu komor, zvětšováním počtu komor se působení obvodového kování na tepelně technické vlastnosti rámu snižuje.

Tab.1 Součinitel prostupu tepla plastového rámu se středovým těsněním ve funkční spáře v závislosti na obvodovém kování

Počet komor plastového rámu	Jednotky v $U_f = W/(m^2.K)$	
	Doraz. + střed.těsnění bez výztuže s obvod.kov.	Doraz. + střed.těsnění
5	1,215	1,174
6	1,131	1,111
7	1,113	1,075
8	1,087	1,069
9	1,067	1,050
10	1,053	1,036

Výpočty viz příloha-(Plastový rám se středovým těsněním bez ocelové výztuže s obvodovým kováním. Plastový rám se středovým těsněním, bez ocelové výztuže a bez obvodového kování).

Obr.2 Vliv obvodového kování pro rámy s dorazovým těsněním na součinitel prostupu tepla plastového rámu U_f



Pro 5 komorový systém rámu s dorazovým těsněním se po odstranění obvodového kování zlepšily hodnoty součinitele prostupu tepla o $U_f = 0,01 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$ a pro 10 komorový systém to bylo stále $U_f = 0,01 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$. Zvyšováním počtu komor v rámu s dorazovým těsněním byl rozdíl mezi rámem s obvodovým kováním a rámem bez obvodového kování stále stejný. Nebyl zaznamenán snižující se vliv obvodového kování se zvyšujícím se počtu komor.

Výpočty viz příloha-(Plastový rám s dorazovým těsněním bez ocelové výztuže s obvodovým kováním. Plastový rám s dorazovým těsněním, bez ocelové výztuže a bez obvodového kování).

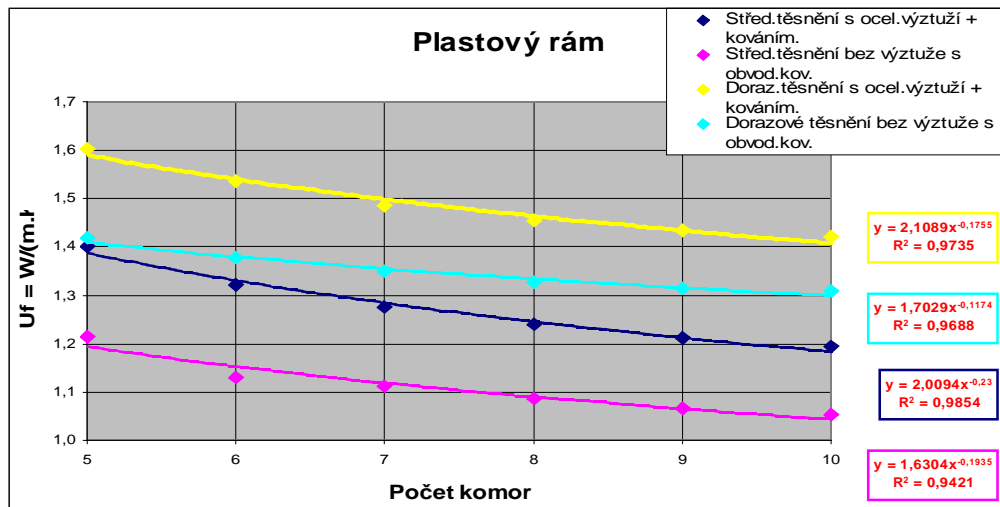
Tab.1 Součinitel prostupu tepla plastového rámu s dorazovým těsněním ve funkční spáře v závislosti na obvodovém kování

Počet komor plastového rámu	Jednotky v $U_f = W/(m^2 \cdot K)$	
	Dorazové těsnění bez výztuže s obvod.kov.	Dorazové těsnění.
5	1,418	1,407
6	1,377	1,365
7	1,349	1,336
8	1,326	1,313
9	1,315	1,302
10	1,309	1,295

7.2.4 Vliv středového těsnění

Na obr.1 jsou zobrazeny plastové rámy s obvodovým kováním. První varianta je pro středové těsnění s působením ocelové výztuže a bez působení výztuže a druhá varianta je pro plastové rámy s dorazovým těsněním s působením ocelové výztuže a bez působení výztuže. Výpočty viz příloha-(Plastový rám s dorazovým těsněním s ocelovou výztuží s obvodovým kováním. Plastový rám s dorazovým těsněním, bez ocelové výztuže a s obvodovým kováním. Plastový rám se středovým těsněním s ocelovou výztuží s obvodovým kováním. Plastový rám se středovým těsněním bez ocelové výztuže s obvodovým kováním).

Obr.1 Vliv středového těsnění na součinitel prostupu tepla rámu U_f



Na obr.1 lze vidět rozdíl tepelně technických vlastností mezi středovým a dorazovým těsněním pro variantu s ocelovou výztuží a pro variantu bez ocelové výztuže. Pro rámy s 5 komorami, ocelovou výztuží a tloušťky 70 mm činil rozdíl mezi středovým a dorazovým těsněním $U_f = 0,20 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$ a při nepoužití ocelové výztuže byl tento rozdíl $U_f = 0,22 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$. Tyto výsledky se mohou mírně měnit v závislosti na provedení jednotlivých dutin v rámu.

Tab.1 Součinitel prostupu tepla U_f pro rámy se středovým a s dorazovým těsněním, s ocelovou výztuží a bez ocelové výztuže.

Počet komor plastového rámu	Jednotky v $U_f = \text{W}/(\text{m}^2.\text{K})$			
	Střed. těsnění s ocel. výztuží + kování.	Střed. těsnění bez výztuže s obvod. kov.	Doraz. těsnění s ocel. výztuží + kování.	Dorazové těsnění bez výztuže s obvod. kov.
5	1,401	1,215	1,603	1,418
6	1,322	1,131	1,537	1,377
7	1,277	1,113	1,485	1,349
8	1,239	1,087	1,455	1,326
9	1,212	1,067	1,434	1,315
10	1,193	1,053	1,421	1,309

8 Vyhodnocení dat a interpretace výsledků

8.1 Ekvivalence originálních plastových ráků s dřevěnými

Zde byly porovnávány dvě varianty plastových ráků se dvěmi variantami dřevěných ráků. Plastové ráky v první variantě byly s dorazovým těsněním, s ocelovou výztuží a s obvodovým kováním. V druhé variantě byly se středovým těsněním, s ocelovou výztuží a s obvodovým kováním. Dřevěné ráky v první variantě měly na spodním vlysu AL okapnici bez přerušení tepelného mostu a ve druhé variantě s AL okapnicí s přerušením tepelného mostu.

Tab.1 Součinitel prostupu tepla ráku U_f pro originální plastové profily s dorazovým a se středovým těsněním, s ocelovou výztuží a s obvodovým kováním.

Počet komor	2 těsnění s ocelovou výztuží $U_f = (W/m^2 \cdot K)$	3 těsnění s ocelovou výztuží $U_f = (W/m^2 \cdot K)$
3	1,915	
4	1,694	
5	1,578	1,339
6	1,546	1,362
7	1,556	1,374
8		1,165

Výpočty viz příloha-(Plastový rák originální se středovým těsněním, s ocelovou výztuží a s obvodovým kováním. Plastový rák originální s dorazovým těsněním, s ocelovou výztuží a s obvodovým kováním).

Tab.2 Srovnání plastového a dřevěného rámu s AL okapnicí bez přerušení tepelného mostu

Plastový rám originál	Ekvivalentní tl. (mm) dřev.rámu s AL okapnicí pro typ plast.rámů:		
	Počet komor	Doraz.těsnění s výztuží	Střed.těsnění s výztuží
	3	43	
	4	53	
	5	60	78
	6	62	76
	7	61	75
	8		98

V tabulce 2 jsou vypočítána data dosazením součinitele prostupu tepla plastového rámu U_f do vytvořené rovnice pro dřevěný rám, (výpočtová rovnice viz. program Microsoft Excel).

Pro dorazové těsnění je v tabulce 2 uvedeno, že plastový rám s dorazovým těsněním při počtu 7 komor je ekvivalentní tloušťce 61 mm dřevěného rámu. Z toho lze vyvodit, že dřevěný rám tloušťky 68 mm s AL okapnicí bez přerušení tepelného mostu má lepší tepelně izolační vlastnosti než-li plastové rámy 3-7 komor s dorazovým těsněním.

Pro středové těsnění v tabulce 2 je uvedena ekvivalence dřevěného rámu tl. 78 mm s plastovým rámem v počtu 5 komor se středovým těsněním. Tento rám tloušťky 78 mm má lepší tepelně izolační vlastnosti než-li plastové rámy se 6 a 7 komorami se středovým těsněním. Z toho je patrné, že plastový rám s 5 komorami je lépe konstrukčně řešen než rámy se 6 a se 7 komorami a tudíž vykazuje lepší součinitel prostupu tepla. Ekvivalentní plastovému rámu s 8 komorami se středovým těsněním je dřevěný rám tl. 98 mm, na trhu je pouze rám tloušťky 92 mm se součinitelem prostupu tepla bez přerušení okapnice $U_f = 1,214 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$, tudíž vykazuje horší součinitel prostupu tepla o $U_f = 0,049 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$ než zmíněný 8 komorový rám.

Tab.3 Srovnání plastového a dřevěného rámu s AL okapnicí s přerušením tepelného mostu.

Plastový rám originál	Ekvivalentní tl.(mm) dřev.rámu s (AL+plast) okapnicí pro typ plast.rámů:	
	Počet komor	Doraz.těsnění s výztuží
3	41	
4	50	
5	57	75
6	59	73
7	58	72
8		95

V tabulce 3 jsou řešeny dřevěné rámy s okapnicí s přerušením tepelného mostu. Tyto rámy vykazují lepší tepelně izolační vlastnosti, které se projevují v pozitivnější tloušťce rámu, která je menší o 3 mm v porovnání s předchozí tabulkou 2.

Plastový rám s dorazovým těsněním v počtu 7 komor je ekvivalentní tloušťce 58 mm dřevěného rámu. Tomu odpovídající rám na našem trhu je rám tloušťky 68 mm..

Plastový rám se středovým těsněním v počtu 5 komor je ekvivalentní tloušťce 75 mm dřevěného rámu. Tomu odpovídající rám na našem trhu je rám tloušťky 78 mm. Plastovému rámu s 8 komorami se středovým těsněním je ekvivalentní dřevěný rám tloušťky 95 mm, na trhu je pouze rám tloušťky 92 mm se součinitelem prostupu tepla s přerušenou okapnicí $U_f = 1,187 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$, tudíž vykazuje horší součinitel prostupu tepla o $U_f = 0,022 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$ než zmíněný 8 komorový rám.

9 Význam poznatků

Hlavním úkolem bylo porovnání plastových profilů nejčastěji se nacházejících na našem trhu s dřevěnými profily a tím získání pomůcky pro projektanty při volbě druhu rámu pro okenní výplně.

V této práci byly prováděny rozborů působících vlivů na dřevěné a plastové rámy, tyto poznatky je možné využít při konstrukčním řešení profilů.

Dále byly vytvořeny rovnice pro dřevěné rámy se zohledněním okapnice s přerušením a bez přerušení tepelného mostu. V této rovnici je možné po dosazení tloušťky rámu vypočítat jednoduše, rychle a levně součinitel prostupu tepla rámu U_r a ten pak porovnat s jiným součinitelem prostupu tepla vztahující se na jiný druh rámu. Nebo při známé hodnotě U_r jiného druhu rámu stanovit ekvivalentní tloušťku dřevěného rámu.

Dále byly vytvořeny rovnice pro výpočet součinitele prostupu tepla rámu a počtu komor pro plastové profily. V jedné variantě pro středové těsnění s ocelovou výztuží, v druhé variantě pro středové těsnění bez ocelové výztuže. Ve třetí variantě s dorazovým těsněním s ocelovou výztuží a ve čtvrté variantě s dorazovým těsněním bez ocelové výztuže rámu. Tyto rovnice slouží k orientačnímu určení součinitele prostupu tepla plastového rámu, orientačnímu z toho důvodu, protože i při správném zadání počtu komor a volbě rovnice pro rám se středovým či s dorazovým těsněním a při použití ocelové výztuže, či nikoliv, není zcela jasné, jakou tloušťku rámu výrobce pro daný počet komor použije. Z mého zjištění vyplývá odchylka $0,1 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$.



10 Diskuze

Mnou vybrané reprezentaty mi byly prodejci poskytnuty jako předloha, proto se domnívám, že následné zpracování dat do programu AutoCad bylo velmi přesné. Rovněž při zadávání jednotlivých ráků do početního programu FLIXO jsem získal přesnější výsledky než v programu AREA. A to z toho důvodu, že do programu AREA je velmi obtížné namodulovat různé křivky. Modulace zde vzniká přikládáním různých velikostí obdélníků a jsme limitováni počtem těchto obdélníků. Dále program AREA vyžaduje podrobné zpracování dutin v ráku, čímž může dojít k chybě vzniklé při zadávání. Program FLIXO výpočet dutin provádí automaticky, čímž se odstraní chyby způsobené lidským faktorem.

11 Závěr

Na základě výpočtů součinitele prostupu tepla pro dřevěné rámy s hliníkovou okapnicí (bez přerušení tepelného mostu a s přerušením tepelného mostu) a pro rámy bez hliníkové okapnice byla zjištěna rovnice sloužící k porovnání s výpočty pro plastové rámy s těsněním (dorazovým a středovým), s působením a bez působení ocelové výztuže. V tabulkách 2 a 3 viz.kapitola 8.1 je uveden počet komor pro plastové rámy prodávající se na našem trhu s ekvivalentní tloušťkou dřevěných rámu. Na základě této tabulky si projektant zvolí nejbližší tloušťku dřevěného rámu, který se prodává na našem trhu. Projektant si bude moci rozhodnout, zda použije dřevěný nebo plastový materiál. V programu Microsoft Excel byly vytvořeny výpočetní programy pro dřevěné rámy, sloužící po dosazení tloušťky k určení součinitele prostupu tepla a naopak.

Obdobné rovnice jsou zobrazeny pro plastové rámy. Se středovým těsněním a s dorazovým těsněním. V první variantě je zohledněna ocelová výztuž s obvodovým kováním, v druhé variantě je zohledněné pouze obvodové kování. Tyto rovnice slouží k orientačnímu určení součinitele prostupu tepla plastového rámu, na základě dosazení počtu komor do zvolené početní rovnice, viz program Microsoft Excel.

Tab.1 Rovnice pro výpočet součinitele prostupu tepla dřevěného rámu

S celohliníkovou okapnicí	S okapnicí bez přerušení tep.mostu
$y = 18,661x^{-0,6043}$	$y = 16,705x^{-0,5847}$
R2 = 0,9988	R2 = 0,9991

V kapitole 7.1 je rozepsán rozbor majoritních vlivů působících na dřevěné rámy. V kapitole 7.2 je rozepsán rozbor majoritních vlivů působících na plastové rámy.

Tímto byly splněny všechny stanovené cíle.



12 Seznam použité literatury

- [1] POLÁŠEK, Josef et. al. Stavebně truhlářská výroba, základy konstrukce a technologie. ISBN 978-80-7375-050-3
- [2] KOČÍ, Ivan. Okna. První vydání Praha 2000. ISBN 80-247-9023-8
- [3] ZÁPOTOCKÝ, Milan et. al. Česká komora lehkých obvodových plášťů, 2009. ISBN 978-80-254-4069-8
- [4] HÁJEK, Václav et.al. Konstrukce pozemních staveb 30, Kompletační konstrukce 1996. ISBN 80-01-02506-3
- [5] VAVERKA, Jiří et.al. Stavební fyzika 2, stavební tepelná technika. 2000. ISBN 80-214-1649-1.
- [6] PUŠKAR, A. et.al. Okna, dveře, prosklené stěny.
- [7] <http://test.stavona.cz/stavona-co-vas-zajima/co-je-teply-ramecek>
- [8] JIRÁK. Roman. <http://www.imaterialy.cz/> Foto: archiv autora
- [9] ČSN EN ISO 10077-2 Tepelné chování oken, dveří a okenic- Výpočet součinitele prostupu tepla- Část 2: Výpočtová metoda pro rámy
- [10] http://cs.wikipedia.org/wiki/Kj%C3%B3tsk%C3%BD_protokol
- [11] Hujňák. Dřevěné stavební konstrukce a dílce.
- [12] <http://www.eppplasty.cz/prumplast.htm>.
- [13] http://drevari.humlak.cz/data_web/Data_skola/HUdreva/2.pdf
- [14] KUDLÁČEK, Ivan. Ekologie průmyslu. 2002. ISBN 80-01-02495-4.
- [15] VAVERKA, Jiří et.al. Stavební tepelná technika a energetika budov. 2006. ISBN 80-214-2910-0.
- [16] <http://www.oknarepov.cz/produkty/plastova-okna-a-dvere>
- [17] <http://www.oknarepov.cz/produkty/drevena-okna-a-dvere>
- [18] <http://www.plastova-okna-fenster.cz/hlinikova-okna.html>



13 Přílohy

Přílohy se zadáním materiálů a s výpočty pro profily dřevěného a plastového rámu jsou vzhledem velkému počtu stran přiložené na CD v digitální formě včetně .výpočetních programů.

