

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

**Fakulta lesnická a dřevařská**

**Katedra dřevěných výrobků a konstrukcí**



**Porovnání vlastností špaletových oken a rustikálních eurooken vhodných pro použití v roubených stavbách**

**Bakalářská práce**

**Autor práce: František Jon**

**Vedoucí práce: Ing. Kamil Trgala, Ph.D.**

© 2018 ČZU v Praze

### Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "Porovnání vlastností špaletových oken a rustikálních eurooken vhodných pro použití v roubených stavbách" jsem vypracoval samostatně, pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 20. 4. 2018

---

## Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval vedoucímu bakalářské práce Ing. Kamilu Trgalovi, Ph.D., za vstřícnost, ochotu a odborné vedení při zpracování této bakalářské práce.

# Porovnání vlastností špaletových oken a rustikálních eurooken vhodných pro použití v roubených stavbách

## Souhrn

Tato práce se zabývá problematikou, výrobou a testováním okenních výplní, vhodných do roubených staveb. Součástí práce je výroba dvou typů oken. První z nich je modernizované špaletové okno s dvojsklem umístěným ve venkovním křídle. Obě křídla špaletového okna se otvírají dovnitř a jsou osazena těsněním. Druhým typem okna je rustikální eurookno. Rustikální eurookno se svou konstrukcí neodlišuje od běžných moderních eurooken. Jediným rozdílem je rustikální tvarování pohledových částí profilu, napodobující historický vzhled okna.

Hlavním cílem práce bylo ověření tepelně technických vlastností oken, se získáním přesné hodnoty  $U_w$  součinitele prostu tepla okenních výplní. Obě vyrobená okna byla podrobena testování dle normy ČSN EN ISO 8990, v teplé kalibrované skříni. Výsledek testování byl porovnán s numerickým výpočtem dle ČSN EN ISO 10077-1. U obou typů oken byly testováním naměřeny výrazně nižší hodnoty, než byly vypočteny dle uvedené normy. Důvodem může být nepřesnost v provedení výpočtů, případně nevhodně či nepřesně zvolená kritéria pro výpočet, stanovená normou.

**Klíčová slova:** tepelné chování oken, špaletová okna, rustikální eurookna

# **Comparison of properties of double frame windows and rustical euro windows suitable for rural log houses**

## **Summary**

The main topic of this bachelor thesis is production and testing of window panes suitable for wood buildings. Production of two types of windows is part of this work. First window is modern double frame window with double glazing placed in outside wing. Both wings of double framed window open inward and have gasket. The second type is rustical euro window. Rustical euro window is similar to other modern euro windows. The only difference is in profile shape of view section, imitating historical appearance.

Main purpose of this work was to verify thermal properties of mentioned windows and capture exact values  $U_w$  thermal transmittance of window panes. Both window types were tested according to ČSN EN ISO 8990 in a warm calibrated device. The results were compared with numerical calculation based on ČSN EN ISO 10077-1. Significantly lower values were measured for both window types than values calculated from mentioned norm. This may be due to verifiability in calculations or inconveniently chosen criteria for calculations set by norm.

**Keywords: thermal performance of windows double frame windows, rustical euro windows**

## Obsah

<b>1 Úvod.....</b>	<b>8</b>
<b>Cíl práce.....</b>	<b>9</b>
<b>2 Literární rešerše.....</b>	<b>10</b>
<b>2.1 Dřevo.....</b>	<b>10</b>
2.1.1 Využití dřeva ve stavebnictví.....	10
2.1.2 Dřevo ve výrobě dřevěných oken .....	11
2.1.2.1 Truhlářské řezivo .....	11
2.1.2.2 Hranoly pro výrobu okenních profilů .....	13
<b>2.2 Roubené stavby.....</b>	<b>15</b>
2.2.1 Historie.....	15
2.2.2 Moderní roubenky.....	16
2.2.2.1 Stavební otvory pro okenní výplň.....	17
2.2.2.2 Sesychání a sedání roubené konstrukce .....	18
<b>2.3 Okna.....</b>	<b>18</b>
2.3.1 Historie okenních výplní .....	19
2.3.2 Současný stav okenních konstrukcí a předpokládaný vývoj.....	21
2.3.3 Rozdělení oken.....	22
2.3.4 Výhody a nevýhody dřevěných oken .....	22
2.3.5 Názvosloví oken.....	23
2.3.6 Druhy spár otvorových výplní .....	25
2.3.7 Skleněné výplně .....	26
2.3.8 Distanční rámečky.....	27
2.3.9 Kování oken .....	30
2.3.10 Těsnění.....	31
2.3.11 Povrchová úprava .....	32
<b>2.4 Požadavky na okna.....</b>	<b>32</b>
2.4.1 Odolnost proti zatížení větrem .....	32
2.4.1.1 Zkoušení odolnosti proti zatížení větrem podle EN 77.....	33
2.4.2 Nároky na vodotěsnost.....	34
2.4.2.1 Zkouška vodotěsnosti oken při statickém tlaku podle EN 86 ....	35
2.4.2.2 Kondenzace vody ve funkční spáře.....	36
2.4.3 Nároky na zvukotěsnost .....	36
2.4.3.1 Zjištění neprůzvučnosti otvorových výplní.....	37

2.4.3.2	Metoda umělé neuronové sítě (Buratti et al., 2013).....	38
2.4.4	Tepelně-technické vlastnosti oken .....	39
2.4.4.1	Únik tepla okny .....	39
2.4.4.2	Tepelný most.....	40
2.4.4.3	Součinitel prostupu tepla.....	41
2.4.5	Nároky na průvzdušnost.....	44
2.4.5.1	Zkoušení spárové průvzdušnosti podle EN 42.....	45
<b>3</b>	<b>Materiál a metodika.....</b>	<b>46</b>
<b>3.1</b>	<b>Technické vybavení.....</b>	<b>46</b>
<b>3.2</b>	<b>Výroba oken.....</b>	<b>46</b>
3.2.1	Konstrukce špaletového okna .....	47
3.2.2	Konstrukce rustikálního eurookna .....	48
3.2.3	Příprava materiálu .....	48
3.2.3.1	Výroba křídel a ráků .....	50
3.2.3.2	Výroba zasklívacích lišt .....	50
3.2.3.3	Výroba špalet (deštění) .....	50
3.2.3.4	Výroba duplexů.....	51
3.2.3.5	Výroba venkovních obložek .....	51
3.2.3.6	Výroba venkovního parapetu .....	52
3.2.3.7	Vyspravení a broušení povrchu.....	52
3.2.3.8	Povrchová úprava.....	52
3.2.3.9	Kompletování oken .....	53
<b>3.3</b>	<b>Testování oken v kalibrované teplé skříní.....</b>	<b>55</b>
<b>4</b>	<b>Výsledky a diskuze .....</b>	<b>59</b>
<b>4.1</b>	<b>Výsledky měření v kalibrované teplé skříní.....</b>	<b>59</b>
4.1.1	Eurookno .....	59
4.1.2	Špaletové okno .....	61
4.1.3	Výpočet součinitele prostupu tepla .....	65
<b>5</b>	<b>Závěr.....</b>	<b>67</b>
<b>6</b>	<b>Seznam literatury .....</b>	<b>68</b>
<b>7</b>	<b>Seznam zkratk .....</b>	<b>72</b>

# 1 Úvod

Stavby postavené roubenou technologií mají na území České republiky dlouholetou tradici, která se vyvíjela po několik staletí. Roubená konstrukce je tvořena vrstvením vodorovných masivních trámů svázaných v nároží tesařskými spoji. V současné době je na roubené stavby kladen nahradit rostlé masivní trámy lepenými KVH případně BSH hranoly, které jsou tvarově i zorněrově s. Ani lepené hranoly však plně nesplňují požadavky součinitele prostupu tepla dle platných norem. Řešení pak nabízí moderní konstrukce skladby stěn, kdy je roubení doplněno o tepelnou izolaci. Ta může být umístěna z vnitřní nebo venkovní strany roubení, případně může být vložena mezi dvěma roubenými konstrukcemi.

Stejně jako roubené stavby zaznamenaly v posledních desetiletích značný technologický pokrok, doznaly mnohých vývojových změn také používané okenní výplně. V současné době se nepoužívají pouze špaletová okna, ty jsou často nahrazována eurookny a v menší míře jsou pak používána také okna z jiných materiálů, než je dřevo.

Špaletová okna jsou tvořena dvěma samostatnými rámy s křídly, mezi sebou pevně spojenými špaletami. Nejprve byla vnitřní křídla otevíravá dovnitř místnosti a venkovní křídla ven, později byla hlavně ve městech používaná okna s oběma křídly otevíravými dovnitř. Špaletová okna v současné době doznaly mnohých technických vylepšení, obě křídla jsou vybavena těsněním, jsou osazena plně seřiditelnými závěsy a vnější křídlo je osazeno izolačním dvojsklem.

Eurookna jsou dnes nejpoužívanějšími okny vyráběnými ze dřeva, na jejich výrobu se používá výhradně lepené lamelové dřevo, zaručující tvarovou stálost výrobku. Pohyb křídla v rámu obstarává obvodové kování umožňující snadné otevírání a dosedání křídla, i jeho seřízení. Moderní eurookna bývají zasklena dvojskly, trojskly případně čtyřskly, mají tak velice dobré tepelně izolační vlastnosti. Rustikální eurookna si pak ponechávají všechny výhody eurooken, jediným rozdílem jsou zdobené prvky profilů napodobující historický vzhled.



## **Cíl práce**

Cílem této bakalářské práce bylo stanovení fyzikálních vlastností dvou konstrukčních variant okenních výplní vhodných pro horské roubené domy a jejich vzájemné porovnání. Předmětem zájmu bylo okno špaletové a rustikální eurookno. Byl kladen důraz na porovnání především tepelně technického chování metodou chráněné teplé skříně podle ČSN EN ISO 8990.

## 2 Literární rešerše

### 2.1 Dřevo

Dřevo patří k nejstarším a nejoblíbenějším přírodním materiálům s nejušestrannějším využitím. Postupné prohlubování poznatků o struktuře dřeva, chemickém složení, fyzikálních a mechanických vlastnostech vyvolává intenzivní rozvoj techniky a technologie jeho zpracování a mnohostrannosti jeho použití. Dřevo je pro svůj přírodní charakter, přirozenou kresbu, fyzikální vlastnosti a estetický vzhled velice žádaným prvkem v prostředí člověka. Další nespornou výhodou dřeva jako materiálu je fakt, že při odborném hospodaření v lesích může být neustále obnovován, a to v předpokládaném množství a přibližné kvalitě. Dřevo představuje pružný, pevný, a při tom lehký materiál, který má dobré tepelně izolační vlastnosti. Snadno se opracovává, tlumí vibrace, je odolné vůči chemikáliím, schopné při změnách praskat, je relativně dobře spojitelné a lehce manipulovatelné. Tyto vlastnosti umožňují jeho využití v řadě průmyslových odvětvích (výroba stavebních konstrukcí, nábytku, hudebních nástrojů, hraček, sportovních potřeb, či v chemickém a celulózo-papírenském průmyslu). Výrobky ze dřeva však mohou mít celou řadu nedostatků, jako je variabilita vlastností v důsledku měnících se podmínek při jeho tvorbě, lehká zápalnost a hořlavost, navlhavost a nasákavost, důsledkem čehož dochází ke změně jeho rozměrů, tvaru a vlastností. Dřevo má také relativně nízkou odolnost vůči působení dřevokazných hub a hmyzu. Jednotlivé nedostatky lze vhodným způsobem omezit nebo zcela vyloučit (Gandelová et al., 2014).

#### 2.1.1 Využití dřeva ve stavebnictví

Současná environmentální i energetická krize a výsledné předpisy vedly k novému zájmu při používání udržitelných materiálů pro stavební aplikace. Dřevěné budovy pomáhají plnit požadavky potřeb udržitelných a cenově dostupných staveb v mnoha zemích díky jejich dobrým strukturálním vlastnostem, přirozenému prostředí a relativně nízkým nákladům. Navíc, při zohlednění správného návrhu a údržby, mohou mít dřevěné konstrukce dlouhou životnost. Hlavní výhodou dřeva je dostupnost a lehkost, má však zřetelné dimenzní omezení a nejistoty – u mechanických vlastností způsobených jeho strukturou. V dnešní době jsou limity dřeva částečně nebo již úplně překonány díky technologickému pokroku v dřevozpracujícím průmyslu, výrobou konstrukčního dřeva a panelů. Dřevo vyniká vysokou nosností vzhledem ke své váze. Při porovnání s betonem vykazuje podobné vlastnosti pro komprese a trakci při stejném objemu, ale pouze 1/5 jeho hmotnosti. I když je dřevo hořlavým materiálem,

vykazuje velmi špatné vedení tepla při požáru a neztrácí své mechanické vlastnosti při vystavení vysokým teplotám. Rostlé dřevo nevykazuje dobré vlastnosti z hlediska akustické izolace, zatímco dřevěné perforované panely mohou být dobrými zvukovými pohlcovači. Dřevo má vynikající poměr pevnosti k hmotnosti, tepelně-izolační a akustické vlastnosti, které jsou užitečné pro různé druhy použití v budovách – od strukturálních nosníků a rámu, izolačních obálek, oken, dveřních rámu až po stěny, podlahy a nábytek. Většina studií potvrzuje, že dřevěné materiály mají obecně nižší energetické náklady v porovnání s materiály, které se běžně používají pro stavbu budov (ocel, beton, cihly). I když je dřevo běžně klasifikované jako udržitelný materiál, jeho skutečná udržitelnost je závislá na mnoha faktorech – na vhodné správě lesa, na výrobních metodách a montáži stavby, na vzdálenosti přepravy a použití lepidel. Dřevěné konstrukce jsou na konci svého života plně recyklovatelné a mají tak velmi malý dopad na životní prostředí. Pro výše uvedené vlastnosti je dřevo jedním z nejzajímavějších a nejmodernějších materiálů pro stavbu budov. Vývoj technologií v dřevozpracujících odvětvích v příštích letech pravděpodobně povede k rozšíření dřevěných budov, nízkoenergetických a pasivních budov (Asdrubali et al., 2017).

### **2.1.2 Dřevo ve výrobě dřevěných oken**

Ve výrobě oken je používána především jehličnatá surovina – smrk, borovice, modřín. Pro luxusnější interiéry se využívají listnaté dřeviny – dub, meranti, mahagon, teak. V současné době jsou nejpoužívanějšími dřevinami pro výrobu oken smrk a borovice. V obou případech jde o měkké, lehké, pružné a pevné dřevo, které v suchém prostředí vykazuje vysokou trvanlivost. Při výběru materiálu je důležité použít nejkvalitnější materiál na křídla – bez přirozených vad (suky, trhliny, vlnitý průběh vláken), případně vhodným způsobem tyto vady vymanipulovat. Na rámy lze použít i méně kvalitní materiál, stále však platí minimální výskyt vad. V současné době jsou nejčastějším a nejvhodnějším vstupním materiálem pro výrobu dřevěných oken lepené lamelové prvky (eurohranoly). Běžné truhlářské řezivo (rostlé dřevo) se na vlysy rámu či křídel používá jen omezeně (např. u historických oken). Používá se však na dřevěné doplňky oken (krycí a zasklívací lišty, klapačky, okapnice atd.) (Kočí, 2000).

#### **2.1.2.1 Truhlářské řezivo**

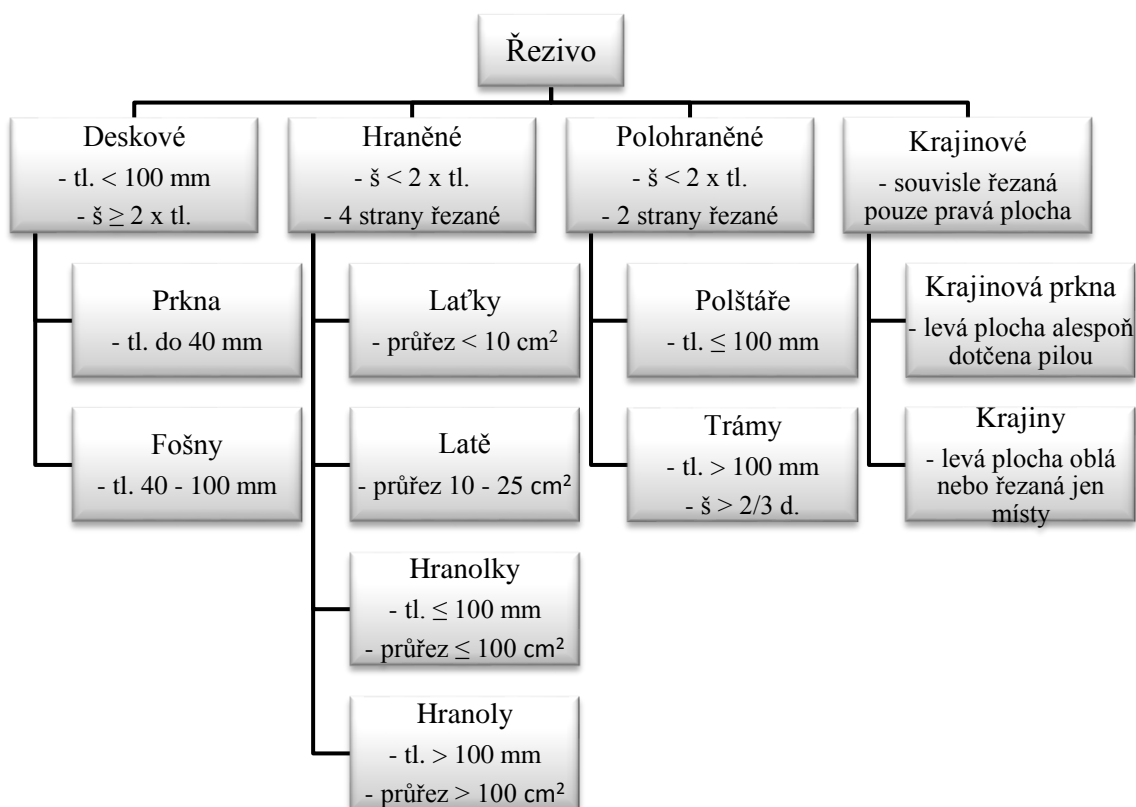
Řezivo je dřevní materiál stanoveného druhu, rozměrů a jakostí, se dvěma rovnoběžnými rovinami ploch, získaný podélným rozřezáním vhodných sortimentů surového dříví, zejména pilařské kulatiny. Řezivo se vyrábí ve specializovaných provozech – pilnicích,

kde se k podélnému rozřezání používají rámové, kotoučové, nebo pásové pily (ČSN EN 844-3 (490016)).

**Tabulka 1 – Popis řeziva**

<b>Řezivo</b>	<b>Popis</b>
<b>Omítané</b>	Středové řezivo a boční řezivo s rovnoběžnými plochami, nebo ofrézovanými kolmo k plochám a s oblinou ne větší, než je dovolená podle technických norem
<b>Neomítané</b>	Deskové řezivo s neoříznutými nebo částečně oříznutými boky, avšak s oblinou větší, než je dovoleno u omítaného řeziva
<b>Radiální</b>	Řezivo získané orientovaným pořezem výřezů, nebo prizem s převládajícím směrem řezů blízkým poloměru letokruhů
<b>Tangenciální</b>	Řezivo získané orientovaným pořezem výřezů, nebo prizem s převládajícím směrem řezů v tečně letokruhů

Rozdělení řeziva je uvedeno v následujícím schématu.



**Obrázek 1 – Schématické rozdělení řeziva**

### 2.1.2.2 Hranoly pro výrobu okenních profilů

Moderní dřevěná okna se vyrábějí z vícevrstvých lamelových hranolů tzv. eurohranolů vzniklých horizontálním slepením jednotlivých lamel (zpravidla tři nebo čtyři vrstvy) dodávaných jako polotovary. Masivní nelepené hranoly se používají zcela výjimečně, například pro výrobu historických oken, musí se však jednat o kvalitní řezivo s radiální orientací vláken. Jejich použití pro eurookna je zcela nepřípustné. Vlhkost řeziva na výrobu eurohranolů musí být v rozmezí 10-15 %, přičemž nesmí být rozdíl mezi jednotlivými vrstvami vyšší než 3 %. Vnější i vnitřní lamely musí být vyrobeny z řeziva s radiálním až poloradiálním sklonem vláken (max.45°). Zároveň musí být u jednotlivých lamel prostrídána orientace vláken, aby došlo k vyrušení vnitřních sil ve dřevě. Tangenciální sklon vláken je ve vrchních vrstvách nepřípustný z důvodu zvýšené tvarové a rozměrové změny řeziva vlivem kolísání vlhkosti. Dalším důvodem je nebezpečí výskytu tzv. fládového" povrchu, u kterého se jednotlivé vrstvy dřeva prokreslují na povrchu, což znemožňuje kvalitní povrchovou úpravu okna. Hranoly pro výrobu oken nesmějí být dle normy ČSN EN 942 poškozeny hmyzem, hnilobou a plísní, dále nesmějí mít výsušné trhlinky, obsahovat dřevň, vypadavé a křídlaté suky (zdravé suky v omezeném množství a velikosti) (Petřtyl et Šubrt, 2012).

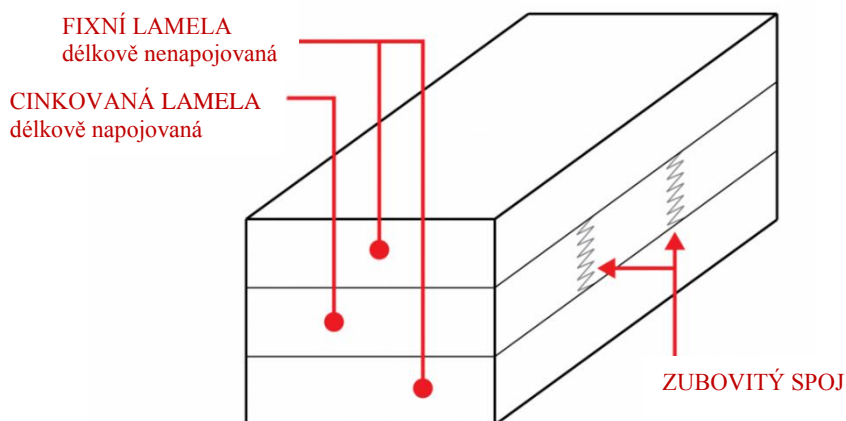
V následující tabulce jsou uvedeny normy, se kterými musí být okenní hranoly v souladu.

**Tabulka 2 – Normy pro okenní hranoly**

Číslo normy	Název
ČSN EN 942	Dřevo na truhlářské výrobky – Všeobecné požadavky
ČSN EN 386	Lepené lamelové dřevo – Požadavky na užitné vlastnosti a výrobní požadavky
ČSN EN 387	Lepené lamelové dřevo – Velké zubovité spoje
ČSN EN 390	Lepené lamelové dřevo – Rozměry – mezní úchytky
ČSN EN 205	Lepidla – Lepidla na dřevo pro nekonstrukční aplikace, stanovení pevnosti lepeného spojení ve smyku při tahovém namáhání
ČSN EN 204	Klasifikace termoplastických lepidel na dřevo pro nekonstrukční aplikace
ČSN EN 14298	Řezivo – Stanovení kvality sušení

## Fixní okenní hranoly

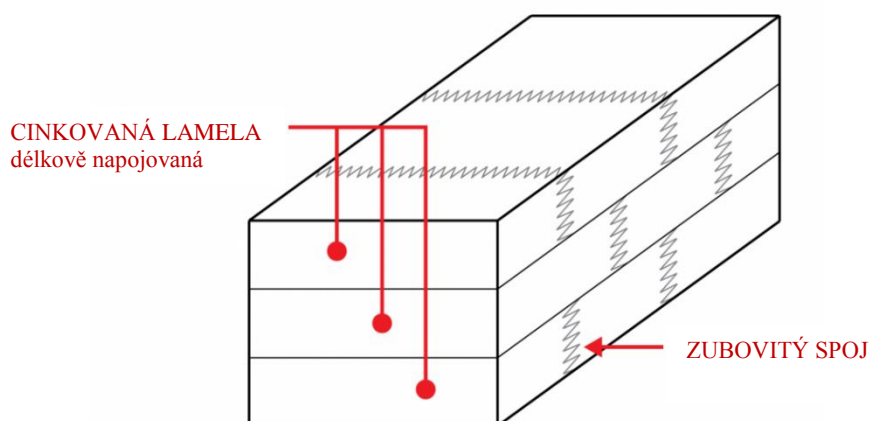
Hranoly s krajními pohledovými lamelami bez podélného napojení, středové mohou být napojeny. Fixní hranoly jsou vhodné zejména při použití transparentního lazurovacího laku, kdy je zřetelně viditelná struktura dřeva. Podélně nenapojované hranoly se běžně vyrábějí v délkách 800-3000 mm.



Obrázek 2 - Fixní eurohranol ([www.hege-okna.sk](http://www.hege-okna.sk))

## Cinkované délkově napojované okenní hranoly

Hranoly s lamelami napojovanými ve všech vrstvách, pomocí ozubového spoje tzv. cinkový spoj, s doporučenou délkou jednotlivých lamel minimálně 200 mm. Z hlediska únosnosti není délka krajových lamel stanovena normou, jde tedy spíše o vzhled. Z tohoto důvodu je vhodnější při použití lazurovacího laku volit délku jednotlivých lamel alespoň 500 mm. Použití lazurovacích laků pro tyto hranoly se však příliš nedoporučuje, zvláště u borovicového dřeva, které má výrazně barevně odlišené jádro a běl, napojení lamel tak působí nepřirozeně a zvýrazňuje ozubový spoj. Délkově napojované hranoly jsou vhodné pro použití krycího (pigmentového) laku, který zakryje strukturu dřeva včetně ozubových spojení jednotlivých lamel. Napojované hranoly se standardně vyrábějí v délce 6 m.

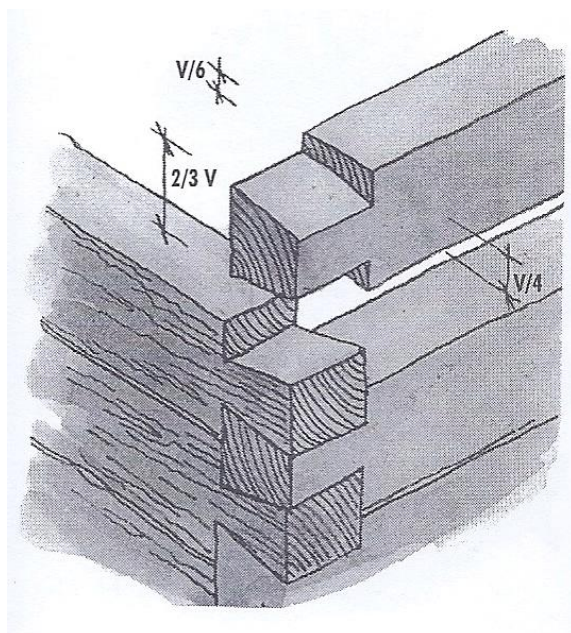


Obrázek 3 - Napojovaný eurohranol ([www.hege-okna.sk](http://www.hege-okna.sk))

## 2.2 Roubené stavby

### 2.2.1 Historie

V minulosti tvořily velkou část zástavby vesnic i menších měst domy postavené roubenou technologií, která se na našem území objevuje minimálně od raného středověku. Dřevo bylo až do konce 18. století nejvíce zastoupeným stavebním materiálem, a to nejen na venkově ale i v oblastech, které dnes vnímáme jako tradiční regiony zděné architektury. Dodnes se tak můžeme na mnoha místech setkat s větším množstvím roubených či srubových staveb. Nosné stěny těchto objektů jsou sestaveny z vodorovně ukládaných, v různém stupni opracovaných kmenů či klád, až po zcela hraněné trámy, mnohdy bez použití doplňkových spojovacích prostředků. Postupem času se zformovalo několik typů konstrukcí vzájemně se od sebe lišících především charakterem rohových spojů. Nejstarším a nejjednodušším způsobem je prosté překřížení (přeplátování) jednotlivých vodorovných prvků (trámů), v místě křížení zeslabených, jejichž konce se nechávají volně přesahovat. Od období středověku, kdy byla tato technologie zcela běžnou, se postupně přešlo u nás k nejpoužívanějšímu tzv. rybinovému spojení. Spoje se tesařky opracovávaly v různých regionálních modifikacích. Charakteristické u nich je, že jednotlivé trámce se dotýkají pouze v šikmo seříznutých plochách rybiny, zabraňujícím rozestupu stavby (Pešta, 2013).



Obrázek 4 - Nároží roubení s rybinovým spojem (www.drevostavby-rychle.cz)

Dřevo se v minulosti téměř výhradně opracovávalo pomocí tesařských seker, štípáním a osekáváním z původních kmenů. Až do počátku 20. století bylo pro drobné majitele

venkovských usedlostí snazší opracovat dřevo přímo na stavbě tesařskými postupy než dopravovat kulatinu na pilu. Širší spáry mezi trámy se před vymazávkou utěsnily mechem, slámou, koudelí, pazdeřím nebo tenkou kulatinou. Vymazávka se vyráběla z přemrzlé hlíny a nařezané slámy. Aby vymazávka držela a nevypadávala, zatloukaly se do bočních oblin stěnových trámů štípané količky. Suchá varianta kdy se vymazávka nahradí dřevěnou lištou, se používala pouze výjimečně (Lukeš, 2014).

Zpočátku se od sebe roubené domy architektonicky příliš nelišily, později došlo k diferenciaci dle kraje. Domy se od sebe postupně začaly odlišovat dle finančních možností vlastníka (zdobením štítů, pavlače, kabřince, podstávky, orámováním oken) (Hájek, 2001).

### **2.2.2 Moderní roubenky**

Dnešní roubené domy kloubí do hromady tradici dřevěných staveb spolu s výdobytky moderních domů, a to jak po stránce materiální, tak po stránce komfortní. Většina lidí si pod pojmem roubený dům představí starý venkovský příbytek, který ručně vytesali naši předkové ze surových kmenů a spáry mezi trámy vymazali jilem. Doba se mění a s ní se mění také technologie při zpracování dřeva i samotné stavbě. Tradiční přírodní materiály je tak možné skloubit se všemi přednostmi moderního bydlení. Současné dřevostavby z lepeného masivu nabízí v porovnání s ostatními stavebními materiály ničím nenapodobitelné přírodní vlastnosti. Dřevo je schopné regulovat vlhkost uvnitř objektu, krásně voní, odbourává smog, elektromagnetickou a statickou elektřinu, díky tomu se v interiéru nevíří prach a prostředí je vhodné i pro alergiky (Almáši, 2018).

Při stavbě moderních roubenek dochází ke stále většímu využívání lepených KVH případně BSH hranolů. BSH hranoly jsou tvořeny vzájemným slepením a délkovým napojením dřevěných lamel. Jednotlivé lamely jsou předem vysušeny na vlhkost 10-12 %, výsledný hranol má potom předepsanou vlhkost 15 % ( $\pm 3$  %). Díky tomu dochází k menším objemovým změnám, menšímu sedání, a tím také ke zkrácení doby nutné k vyžrání roubenky. Snížením vlhkosti je také omezeno riziko růstu dřevokazných hub, plísní a napadnutí dřevokazným hmyzem (Nešporová, 2017a).

### **Tradiční roubenky**

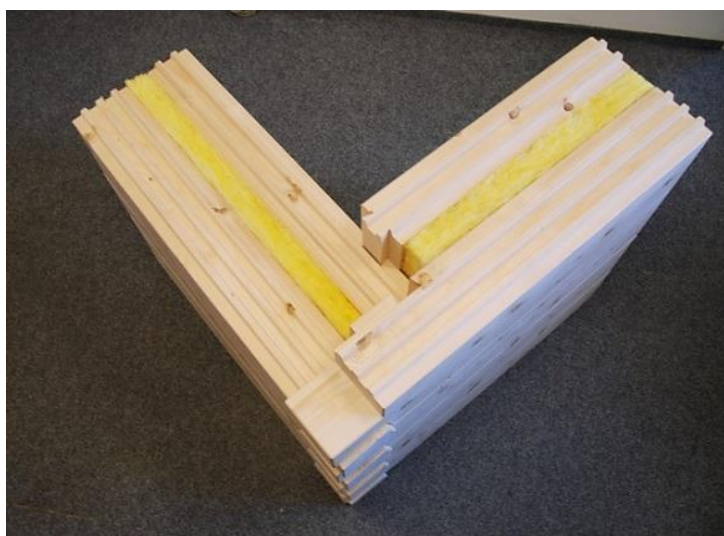
Moderní roubenky lze stavět klasickým způsobem – jednoduché stěny s mezerami mezi trámy vyplněnými tepelnou izolací, v nároží spojené typickým rybinovým spojem. Dalším tradičním způsobem je jednoduchá roubená stěna na pero a drážku. Tento systém však vyžaduje



použití výhradně BSH hranolů, které jsou se shora opatřeny perem a ze spodu drážkou. Mezi perem a drážkou se nechává drobná mezera vyplněná těsnícím materiálem (Nešporová, 2018).

### **Moderní roubenky s přidanou tepelnou izolací**

Tepelnou izolaci lze umístit z vnitřní strany budovy před klasické roubení a zakrýt pohledově deskovým materiálem. Aby nebylo skryto pohledové roubení z obou stran, nabízí se řešení dvojitým roubením. Jedná se o dvě roubené stěny oddělené mezerou, do které se vloží tepelná izolace s nižším difuzním odporem. Nevýhodou tohoto řešení může být riziko kondenzace vodní páry na vnitřním povrchu vnější stěny, a také je velmi problematické dlouhodobé zajištění vzduchotěsnosti celé konstrukce (Nešporová, 2018).



**Obrázek 5 - Detail dvojitého roubení s tepelnou izolací (www.okpyrus.cz)**

Novinkou v oblasti roubených staveb je systém kombinující roubenou stěnu s vrstvenými CLT panely. Z vnější strany domu je klasické roubení, uvnitř je vložena izolace s elektroinstalačními rozvody a v interiéru je pohledový CLT panel. Oproti dvojitému roubení jsou u této skladby vyřešeny problémy s kondenzací vody a vzduchotěsností obálky. Nevýhodou této varianty je oproti předešlým konstrukčním řešením vyšší cena (Nešporová, 2018).

#### **2.2.2.1 Stavební otvory pro okenní výplň**

Stavební otvory pro okna a dveře v roubených stěnách je nutné na výšku připravit s dostatečnou rezervou umožňující sedání stěn. Rezerva pro sedání činí 6-7 % z výšky stavebního otvoru. Nad oknem je možné buď ponechat mezeru, kterou vyplníme měkkou minerální izolací, nebo je možné vrchní vlys rámu výškově nastavit, v trámku nad oknem

vytvořit drážku, do které nasuneme nastavenou část okna a utěsníme minerální izolací. V případě lištování, či použití obložek je vždy nutné, aby výsledné zabudování umožňovalo sedání nosné konstrukce (Nešporová, 2017b).

#### 2.2.2.2 Sesychání a sedání roubené konstrukce

Dřevo je hydrokopický materiál, to znamená, že neustále mění svůj obsah vody v závislosti na prostředí, ve kterém se nachází. Z hlediska uložení vody ve dřevě rozlišuje vodu volnou a vodu vázanou. Z hlediska rozměrových změn nás primárně zajímá obsah vody vázané, která se nachází v buněčných stěnách a má zásadní význam na fyzikální a mechanické vlastnosti dřeva. Při odevzdávání vody do okolního prostoru nastává proces sesychání, při kterém se mění rozměry, případně i tvar tělesa. Sesychání má anizotropní charakter, v podélném směru je mnohem menší než v příčném. Obráceným procesem je bobtnání, kdy dřevo přijímá z okolního prostředí vlhkost a rozměry prvku se zvětšují (Nešporová, 2017b).

Sedání je proces, při kterém postupně dochází ke zmenšení výšky stěny vlivem sesychání nosné konstrukce. V případě rozdílných materiálů v hlavní nosné konstrukci je nutné počítat i s rozdílným sedáním stavby, typickým příkladem jsou poloroubené stavby s roubenou světnicí a zděnou částí. Řešením problému může být technologická přestávka stavby. Kdy se na stavbě provede provizorní zastřešení, které však zvyšuje finanční náročnost projektu a riziko vniknutí vody do stavby. Další možností je použít vysušené řezivo, případně lepené BSH hranoly. Posledním řešením je použití rektifikačních šroubů, kterými lze vyrovnávat výškový rozdíl vlivem sedání. Šrouby se zpravidla používají ke zvedání roubené části, která klesá vlivem sesychání dřeva. V dnešní době se jedná o nejrozšířenější řešení při rozdílném sedání stavby (Nešporová, 2017b).

### 2.3 Okna

Okna jsou klíčovým prvkem pro kvalitu mikroklimatu a pobytu v budovách vůbec. Poskytují světlo, výhled a solární teplo, při otevření pak čerstvý vzduch a plný kontakt mezi interiérem a exteriérem. V uzavřeném stavu mají okna naopak interiér od vnějšího prostředí izolovat – proti proudění vzduchu, tepelně i zvukově. Tuto druhou funkci plní snáze neprosklené stěny s tepelnou izolací, ty ale neposkytují světlo atd. Klasická česká okna obsahovala dvě roviny zasklení oddělené asi dvěma decimetry vzduchové dutiny, z hlediska současných požadavků nebyla dostatečně těsná. Za to u těchto oken nevznikal geometrický tepelný most na okrajích, neboť nebyla násobně tenčí než okolní stěna – na rozdíl od nyní užívaných oken s jedním dvojsklem, kde takový tepelný most okolo okenního rámu existuje.

Doba 21. století přinesla nové technologie i nápady, jimiž lze vlastnosti oken výrazně zlepšit (Hollan et Šťastník, 2008).

### **2.3.1 Historie okenních výplní**

V dřívějších dobách bylo dřevo prakticky jediným materiálem používaným pro výrobu otvorových výplní. Nároky na osvětlení vnitřních prostor byly minimální, postačovaly tedy jen malé okenní otvory. Okenní křídla se otvírala buď zavěšená na typických kovaných rohových závěsech a čepech, nebo se pouze vsazovala a zajistila obrtlíky. Tabulové sklo pro okna, bylo až do konce 18. století velice drahé, jelikož se vyrábělo převážně ručně. Proto bývala prosklená okenní křídla nahrazena otevíracími okenicemi, které umožňovaly větrání místnosti, ne však její osvětlení. Rozvoj sklářského průmyslu v 19. století vedl ke zlevnění tabulkového skla, které se tak stalo dostupnější. Začátkem 19. století se nejprve ve městech, později i na venkově přidávala druhá okna. Před stará vnitřní křídla otvíravá dovnitř, se přidala nová vnější křídla, ta se otvírala ven. Přidáním druhých oken došlo ke zlepšení tepelně i zvukově-izolačních vlastností. Došlo také ke změně členění křídel, a tak vznikla typická čtyř-, šesti- či osmitabulková dvoukřídlá okna, typická pro český venkov. Také kované vnější rohové závěsy byly postupně nahrazeny průmyslově vyráběnými válečkovými závěsy s různě zdobenými konci. Zvětšování oken vedlo k nahrazení trámové zárubně fošnami. Odtud byl již jen krok k takzvaným špaletovým oknům (s pevným kastlíkem), hojně rozšířeným od posledních desetiletí 19. století. Tato konstrukce je již truhlářským produktem vyrobeným obvykle jako celek. Při montáži je zasunuta do ostění tak, aby byla zapuštěna za líc fasády. Mezi vnitřním a vnějším rámem je mezera 20-30 cm, která je vyplněna deštěním (Lukeš, 2014; Pešta, 2013).

Okna otevíraná ven a dovnitř se používala v roubených stavbách na horách a venkově i ve 20. stol., zatímco ve městech byla používána spíše křídla obě otevíraná dovnitř. Důvodem používání oken otvíravých dovnitř a ven byla jejich nižší pořizovací cena a vyšší voděodolnost, nevýhodou bylo větší vystavení povětrnostním vlivům (Dirlam, 2013).

Dvojitá (špaletová, kastlíková) okna jsou v podstatě dvě jednoduchá okna spojená v jeden celek dřevěným ostěním tzv. špaletou, případně jsou dvě jednoduchá okna samostatně usazena vně a uvnitř zdi. Po druhé světové válce, se rozšířila výroba oken zdvojených, která se skládají ze dvou samostatných křídel na pevně k sobě spojených. Tato okna se mimo klasických otvíravých, velice často používala jako kyvná nebo otočná. Unifikovaná výroba zdvojených oken snížila výrobní náklady při současném zvýšení výrobní kapacity a efektivnosti výroby (Petřtyl et Šubrt, 2012).

Na následujícím obrázku jsou znázorněna špaletová okna, otevíravá dovnitř.



**Obrázek 6 - Špaletová okna u roubené stavby**

Zpočátku dostačující a funkci plnící okna přestala být pro rozvíjející se stavební průmysl vyhovující. Jedním z problémů bylo používání pro výrobu rostlé (masivní) dřeva, které schlo přirozeným způsobem několik let. Tento způsob sušení byl při přechodu na sériovou výrobu zcela nedostačující, začalo se tedy přecházet k průmyslovému vysoušení řeziva. Urychlený proces vysoušení plně nenahradí přirozený proces, neboť struktura dřeva se během zkrácené doby sušení není schopna plně přizpůsobit novým podmínkám. Ve dřevě dochází k vnitřním napětím, důsledkem je pak tvarová nestálost a tvorba výsušných trhlin. Od konce 80. let byly na okna kladeny stále přísnější nároky a zdvojená okna se postupně nahradila moderními eurookny. Moderní dřevěná okna se vyrábějí z lepených lamelových hranolů, které zaručují tvarovou stálost okenního rámu. Jednoduché skleněné výplně nahradilo izolační dvojsklo případně trojsklo. Jedná se plochá skla slepená k sobě, mezi kterými je distanční rámeček vymezující vzdálenost mezi skly. Vzniklá dutina je z důvodu zlepšení vlastností vyplněna plynem, nejčastěji argonem. Primitivní kování nahradilo kování obvodové, které zajišťuje funkčnost celého okna. Kromě pohybu křídla v rámu, má kování také zásadní vliv na těsnost funkční spáry okna. Pro utěsnění funkční spáry se používá těsnění z různých materiálů (např. ATPK, TPE), které omezuje pronikání vzduchu a hluku (Petřtyl et Šubrt, 2012).

Následující obrázek zobrazuje rustikální eurookna.



Obrázek 7 - Rustikální eurookna u roubené stavby

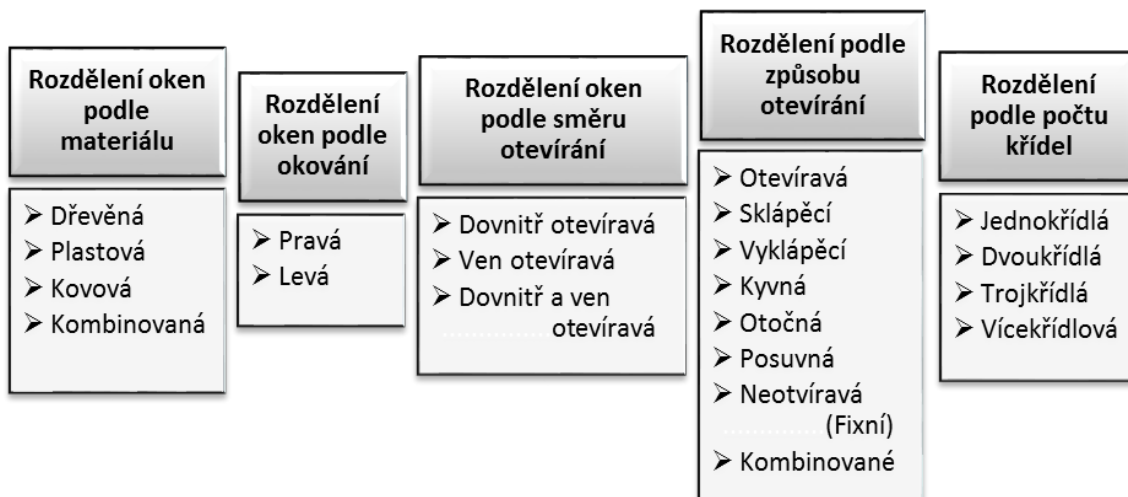
### 2.3.2 Současný stav okenních konstrukcí a předpokládaný vývoj

Okenní konstrukce představovaly v minulosti z tepelně-technického hlediska nejslabší článek obalové konstrukce budovy a výrazně ovlivňovaly velikost jejich tepelných ztrát. Součinitel prostupu tepla se pohyboval okolo  $U_w \geq 2,7 \text{ W} / (\text{m}^2 \cdot \text{K})$ . Současná okna na všech materiálových bázích prošla výrazným kvalitativním vývojem. Za posledních 20 let se europrofily dřevěných oken z původních 68 mm, rozšířily na tloušťky 78,88 a 92 mm. Vedly k tomu statické, ale i tepelně-technické důvody, a především stále se zlepšující vlastnosti systémů zasklení. Současná okna dosahují hodnoty teplotního součinitele tepla v rozmezí  $U_w = 1,4$  až  $0,8 \text{ W} / (\text{m}^2 \cdot \text{K})$ . Zvýšený zájem o nízkoenergetické a pasivní stavby vyvolává zájem o okna s adekvátními parametry, kde by  $U$  hodnota okna měla být menší než  $0,8 \text{ W} / (\text{m}^2 \cdot \text{K})$ . Rámové vlysy těchto oken musí mít stavební hloubku alespoň 88 mm případně 92 mm. Ve středové části mohou mít materiál s nižší vodivostí, např. tvrzený PUR. Na trhu se dále objevují dřevěná okna s integrovanými vzduchovými mezerkami v rámových vlysech. Z důvodu zvýšení životnosti a snížení nákladů na údržbu se dřevěná okna kombinují s profily ze slitin hliníku. Z exteriéru poskytují kvalitu a životnost hliníku, z interiéru přírodní vzhled a dokonalý detail dřevěného okna. V zahraničí se vyrábí okna s materiálovou kombinací dřevo-plast-hliník. Jedná se o kombinaci dřevěného okna s předsazenou komorou z PVC opláštěnou hliníkem. Toto okno je předurčeno pro nízkoenergetickou výstavbu s deklarovanou  $U_f$  hodnotou  $0,76 \text{ W} / (\text{m}^2 \cdot \text{K})$ . Moderní okna s kvalitním systémem zasklení

se svými tepelně-izolačními vlastnostmi snaží vyrovnat vlastnostem plných částí obvodových stěn (Puškár, 2012).

### 2.3.3 Rozdělení oken

Na následujícím schématu je zobrazeno možné dělení oken.



Obrázek 8 - Schématické dělení oken

### 2.3.4 Výhody a nevýhody dřevěných oken

#### Výhody

- Dřevěná okna mají velmi dobré tepelně-technické vlastnosti plynoucí z přirozených fyzikálních vlastností dřeva
- Při pravidelné údržbě zaručují dřevěná okna dlouhou životnost – zde je možné odkázat na dnešní existenci oken ve stavbách realizovaných ještě v 19. století
- Pro většinu lidí jsou dřevěné okenní výplně pocitově příjemnější
- Vysoká variabilita provedení omezená pouze nástrojovým vybavením jednotlivých výrobců, profily lze individuálně upravovat dle přání zákazníka (samozřejmě je nutné zachovat základní statické parametry profilu, tak aby nebyla snížena jeho únosnost)
- Případné poškození, ať mechanická nebo vzniklá účinkem chemikálií, je možné poměrně snadno opravit
- Obnovou nátěru lze dosáhnout zcela nového vzhledu
- V omezené míře je možné opravovat i poškozený výrobek

## **Nevýhody**

- Výrazně vyšší pořizovací cena oproti oknům plastovým (to ale většinou platí pouze ve srovnání s plasty v základním provedení v bílé barvě nebo jednostranném barevném provedení)
- Jakožto přírodní materiál reaguje dřevo především na zvýšenou vlhkost vzduchu – problematická bývá zejména relativní vlhkost v interiéru dlouhodobě (od několika dní déle) přesahující hodnotu cca 70 % (přímým důvodem poškození však není vlastní působení zvýšené relativní vlhkosti vzduchu přesahující někdy i 90 %, ale vždy jde o neodbornou manipulaci s okny či dveřmi za těchto nepříznivých podmínek)
- Na rozdíl od oken plastových není prakticky možné ochránit povrch nových oken při expedici na stavbu a osazování do stavebního díla potažením ochrannou fólií, která by zabránila vzniku drobných poškození plynoucích z manipulace s výrobky
- Dřevěná okna a dveře jsou též citlivé na ultrafialové spektrum slunečního záření, jež způsobuje stárnutí laku a jeho postupnou degradaci, tento proces je dále podporován současným působením ostatních povětrnostních podmínek, především větru a srážkové vlhkosti
- Z předchozího bodu plyne nutnost obnovy povrchové úpravy oken a dveří z vnější strany, časový interval se pohybuje od 5 do 8 až 10 let podle intenzity působení nepříznivých povětrnostních vlivů
- V případě zanedbávání údržby či oprav porušených míst do struktury dřeva může vnikat vlhkost, dochází k neodstranitelným změnám vzhledu dřeva (šířením tmavých skvrn) i ke zhoršení kvality dřeva jako takového – optickou vadu lze odstranit pouze aplikací krycího nátěru na poškozená místa, kvalita dřeva takto zasaženého okna je trvale snížena stejně jako jeho další životnost

### **2.3.5 Názvosloví oken**

- **Okno**

Okno je stavebně truhlářský výrobek s poměrně složitou konstrukcí skládající se z pevné části (rámu) a pohyblivé části (křídla).

- **Okenní rám**

Okenní rám tvoří pevnou obvodovou konstrukci, složenou z obvodových profilovaných vlysů pevně ukotvených ve stavební konstrukci. Slouží pro zavěšení křídel, dosedání, otevírání a zavírání okenního křídla.

- **Okenní křídlo**

Pohyblivý rám se skleněnou výplní, osazený na závěsech a ovládaný klikou (olivou).

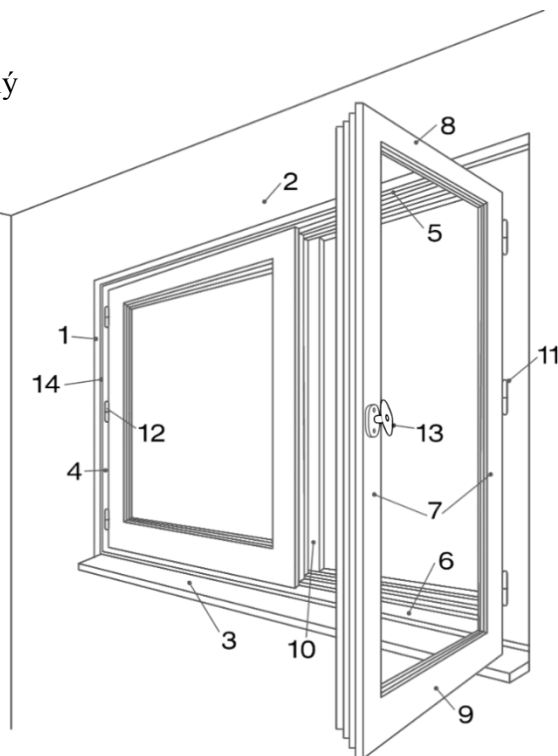
- **Klapačka**

Lišta překrývající svislou styčnou spáru dvoukřídlových oken.

- **Okapnice**

Zabraňuje zatékání dešťové vody, překrytím vodorovné styčné spáry na vnější straně spodního vlysu mezi křídlem a rámem. Dle typu

- 1) ostění
- 2) nadpraží
- 3) poprsníková deska
- 4) boční vlys rámu
- 5) horní vlys rámu
- 6) dolní vlys rámu
- 7) boční vlysy křídla
- 8) horní vlysy křídla
- 9) dolní vlysy křídla
- 10) klapačka
- 11) okenní závěs pravý
- 12) okenní závěs levý
- 13) oliva (půloliva)
- 14) krycí lišta



Obrázek 9 - Popis částí okna

okna může být umístěna jen na rámu nebo křídle, většinou je však tvořena systémem osazeným v křídle i rámu.

- **Sloupek, putec**

Sloupek je svislý a putec vodorovný vlys rámu členící plochu okna.

- **Příčle**

Pevné dílce křídla, nebo nalepovací lišty členící plochu skla na menší pole.

- **Špaleta (dešťění)**

Dřevěné obložení vnitřního ostění a podhledu překladu.

- **Krycí lišty**

Lišty zakrývající obvodovou spáru mezi okenním rámem a ostěním.

- **Ostění, nadpraží, poprsník**

Ostění jsou boční svislé části okenního otvoru. Nadpraží (překlad) tvoří horní část a poprsník (parapet) spodní část okenního otvoru.

- **Okenice**

Nezasklená dřevěná křídla, umístěná zpravidla na vnější straně okna. Slouží k zabezpečení okna proti nežádoucímu vniknutí.



- **Žaluzie a rolety**

Zatemňovací a clonící zařízení.

### **2.3.6 Druhy spár otvorových výplní**

#### **Připojovací spára**

Jedná se o prostor mezi ostěním a okenní výplní. Tento prostor by měl dosahovat podobných tepelně izolačních vlastností a trvanlivosti jako okolní konstrukce. Požadavky na připojovací spáru jsou určeny normou ČSN 73 05 40-2 (nulová propustnost vody a vzduchu, zamezení vzniku kondenzátu, možnost dilatace, tepelná a zvuková izolace). Připojovací spáry se dělí na tři zóny – tepelně izolační, vnitřní uzávěr a venkovní uzávěr. Jako tepelná izolace se používá nejčastěji PUR pěna, jako uzávěry se používají funkční pásy (Humenčák, 2007).

U roubených staveb však není použití PUR pěny zcela vhodné, z důvodu sedání stavby, proto je většinou nahrazena minerální izolací (případně může být doplněna kompresní páskou).

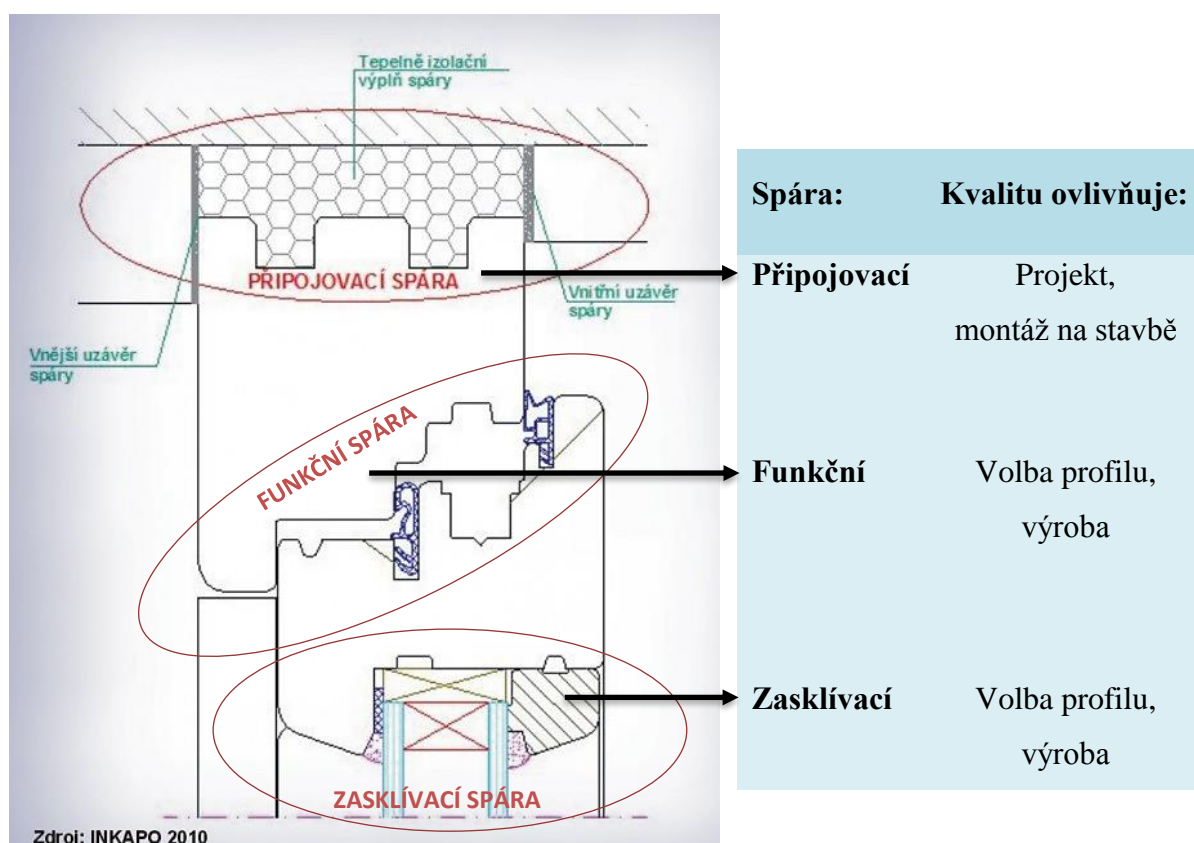
#### **Funkční spára**

Funkční spárou nazýváme prostor mezi křídlem a rámem otvorové výplně. Protože křídlo je zpravidla pohyblivé, dochází při každém otevření okna či dveří k přerušení těsnicí funkce, kterou je po zavření křídla nutné obnovit. Správně provedená funkční spára má dvě oblasti, které se každá jiným způsobem podílejí na její bezchybné funkci. Jsou to dešťová zábrana a zábrana větrová. Dešťová zábrana je umístěna na exteriérové straně otvorové výplně, ta větrová se pak nachází v prostoru mezi dešťovou zábranou a interiérovou stranou okna či dveří (Šubrt et al., 2013a).

#### **Zasklívací spára**

Zasklívací spára je prostor mezi vnitřním profilem okenního křídla a jeho skleněnou výplní. Předpisy, které musí zasklívací spára splňovat jsou obsaženy v normě ČSN 73 0540-2 – Tepelná ochrana budov – Požadavky. V této normě je jasně stanoveno, že nikde na vnitřním povrchu stavební konstrukce nesmí dojít ke vzniku kondenzace vzdušné vlhkosti. Důvodem vzniku kondenzátu je pokles povrchové teploty výplně pod mezní hodnotu. Příčinou může být použití teplých distančních rámečků nebo nedostatečná hloubka zasklení (Petřtyl et Šubrt, 2012).

Na následujícím obrázku jsou zobrazeny druhy spár okna.



Obrázek 10 - Druhy spár okna u otvorových výplní (INKAPO)

### 2.3.7 Skleněné výplně

Do okenních křídel se vsazuje skleněná výplň, obvykle se jedná o tabulkové sklo, případně výrobky z něho. Jednoduché zasklení, tedy samotné 4mm sklo, se dnes používá pouze pro interiéry. V současné době jsou běžně používána dvojskla případně trojskla, v menší míře čtyřskla. Dvojsklo v podstatě představuje dvě plochá skla slepená k sobě. Mezi skly vymezuje vzdálenost distanční rámeček a vzniklá dutina je vyplněna plynem, nejčastěji argonem, případně kryptonem. Trojskla a čtyřskla jsou principově stejná, pouze jsou k sobě pomocí rámečků slepena tři případně čtyři skla (Petřtyl et Šubrt, 2012).

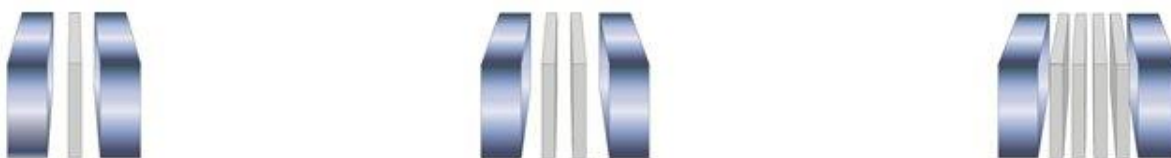
Plyn však z meziskelního prostoru postupně difunduje a nahrazuje se vzduchem. Tato náhrada by neměla být rychlejší než 3 % za rok a plyn by tak neměl ztratit účinnost dříve než po 40 letech. Z důvodu minimalizace tepelných ztrát se používají trojskla – tedy zasklení, v němž jsou pomocí distančních rámečků spojena 3 skla. Nevýhodou trojskel je jejich vyšší váha, proto bývá prostřední sklo nahrazeno plastovou, pokovenou membránou tzv. Heat Mirror. Tyto membrány mohou být i dvě a rozdělit tak prostor mezi skly za pomoci distančních rámečků na tři samostatné dutiny vyplněné těžkým plynem. Díky tomu se lze dostat z běžného

součinitele tepla  $U_g = 1,1 \text{ W} / (\text{m}^2 \cdot \text{K})$  až na hodnotu  $U_g = 0,4 \text{ W} / (\text{m}^2 \cdot \text{K})$ . Zasklení by mělo být do okenního křídla zasazeno alespoň 28 mm, jinak na okraji zasklení hrozí kondenzace vodních par (Šubrt, 2004).

Na základě typu pokovení, má folie Heat Mirror různé vlastnosti. Folie může být nepropustná pro UV záření, málo propustná pro světlo či málo propustná pro tepelné záření směrem dovnitř. Protože je sklo při výrobě zahříváno, používají se výhradně nerezové distanční rámečky. Výhodou Heat Mirror je, že sklo má hmotnost dvojskla, ale vlastnosti jsou stejně dobré jako trojsklo, případně čtyřsklo (Petřtyl et Šubrt, 2012).

### Vrstvené bezpečnostní sklo

Nejčastěji používaná bezpečnostní skla pro zajištění ochrany osob a majetku jsou vrstvená bezpečnostní skla STRATOBEL / STRATOPHONE (dříve obchodní název Connex). Vrstvené bezpečnostní sklo se skládá ze dvou či více tabulí skla a jedné či více polyvinylbutyralových mezivrstev (PVB folií), které se vyznačují mimořádnou pevností, pružností a přilnavostí. Tyto vlastnosti zaručí, že v případě rozbití skla zůstanou střepy přichyceny k folii a nerozletí se do okolí. Počet mezivrstev a počet skel určují úroveň bezpečnosti z hlediska ochrany. Vrstvená skla s PVB folií mají vlastní systém značení např. 44.3, 66.2, 88.4 – první dvě číslice udávají tloušťku tabulí skla v mm, třetí číslice, oddělená tečkou, značí počet PVB folií mezi tabulemi skla. Tloušťka jedné folie je 0,38 mm. Příklady, jak mohou být skla konstruovaná, jsou uvedeny na následujícím obrázku (AGC Flat Glass Czech a.s., 2011).



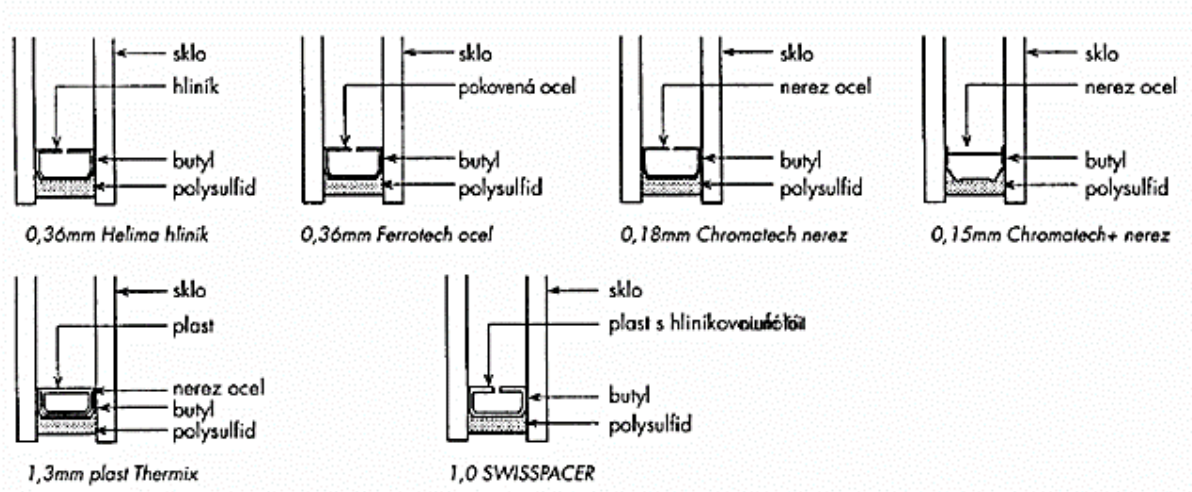
Obrázek 11 - Příklady složení skla STRATOBEL (stavba.tzb-info.cz)

#### 2.3.8 Distanční rámečky

Distanční rámeček je profil, který určuje vzdálenost mezi jednotlivými tabulemi izolačních skel. Vyrábí se z různých materiálů. Dříve používaný hliníkový distanční rámeček značně vede teplo a hrozí tak orosování skel po obvodu, proto se dnes používá pouze minimálně (Petřtyl et Šubrt, 2012).

Na kvalitu distančních rámečků z tepelně technického hlediska má vliv jejich konstrukce a tepelná vodivost materiálů, ze kterých jsou vyrobeny. Konstrukci samotného rámečku tvoří tuhá schránka naplněná molekulovým sítím sloužícím k vysušování meziskelního prostoru. Na tuto schránku jsou kladeny požadavky tuhostní stability a nepropustnosti meziskelní výplně, které jsou mnohdy v rozporu s tepelně technickým hlediskem. V současné době je často diskutovaná otázka aplikace rámečků, zejména typu Warm Edge (WE) přinášející zlepšení tepelných vlastností izolačních skel, a tím i celého transparentního prvku. Jsou v zásadě dvojího materiálového typu – nerezové a plastové. Diskuse o tom, které jsou vhodnější je obtížná, neboť se vždy jedná o souhrn různých užitečných vlastností, které můžeme porovnávat jednotlivě, nebo je posuzovat komplexně. Obecně lze konstatovat, že nerezový distanční rámeček má vyšší tepelnou vodivost než plastový, ale na druhou stranu je subtilnější. Konečná hodnota součinitele prostupu tepla se tedy diametrálně neliší. Další neméně důležitý ukazatel, zejména z hygienického hlediska, je faktor vnitřního povrchu, který ověřuje riziko vzniku povrchové kondenzace na skle a tím i následnou možnost vzniku plísní na rozhraní konstrukce okna a stěny – ostění a nadpraží. Vzhledem k nízkým povrchovým teplotám na vnitřním líci konstrukcí je toto nebezpečí často velmi aktuální (Vaverka, et al., 2010).

Na následujícím obrázku jsou zobrazeny typy distančních rámečků.



Obrázek 12 - Typy distančních rámečků (Vaverka, et al., 2010)

V následující Tabulce 3 je uveden vliv jednotlivých typů distančních rámečků na vybrané parametry okna.

Parametry okna jsou: šířka rámečku 14 mm, dřevěný rám s hliníkovou zasklívací lištou,  $U_f$  rámu  $1,70 \text{ W} / (\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ,  $U_g$  skla v centru  $1,16 \text{ W} / (\text{m}^2 \cdot \text{K})$ , rozměry okna 1230 x 1480 mm.

**Tabulka 3 - Vliv jednotlivých typů distančních rámečků na vybrané parametry okna**

Typ rámečku		Hliník	Ocel	Nerez	Nerez	Plast	Plast
		Rolltech	Ferrotech	Chromatech	Chromatech Plus	Thermix	Swisspacer
<b>Rozměry rámečků vč. tmelů</b>	<b>š x v (mm)</b>	9,5 x 15	9,5 x 15	9,5 x 15	10 x 15	11 x 15	9,5 x 15
<b>Ekvivalentní součinitel tepelné vodivosti</b>	<b>W/(m.K)</b>	2,4	1,8	0,7	0,6	0,3	0,4
<b>Lineární činitel prostupu tepla rámečku <math>\psi</math></b>	<b>W/(m.K)</b>	1,63	1,22	0,48	0,43	0,24	0,27
<b>Lineární činitel prostupu tepla <math>\psi</math> okraje skla</b>	<b>W/(m.K)</b>	0,078	0,074	0,060	0,058	0,045	0,048
<b>Součinitel prostupu tepla <math>U_w</math> okna</b>	<b>W/(m<sup>2</sup>.K)</b>	1,73	1,71	1,64	1,64	1,58	1,58

Vaverka, et al., 2010

Nekovové distanční rámečky jsou do budoucna velmi slibným prvkem při výrobě okenních výplní. Mezi nekovovými materiály vykazují dobré vlastnosti pěny, které mají lepší tepelný výkon a celkově snesou vyšší teploty oproti termoplastům. Tepelný výkon distančních rámečků lze dále zlepšit, a to snížením šířky distanční lišty a sekundárního těsnícího materiálu, snižující velikost tepelného mostu na okraji skla, čímž se zvýší tepelná účinnost. Vhodným řešením ke snížení sekundární šířky tmelu by mohly být kompozitní materiály, kombinující vysoce izolační materiály jako jsou polyuretanová pěna, aerogely a vakuové materiály k vytvoření součástí, které splňují všechny požadavky. Další možností může být použití vlnitého tvaru okrajových těsnění, čímž by se zvýšila délka dráhy pro přenos tepla (Van Den Bergh et al., 2013).

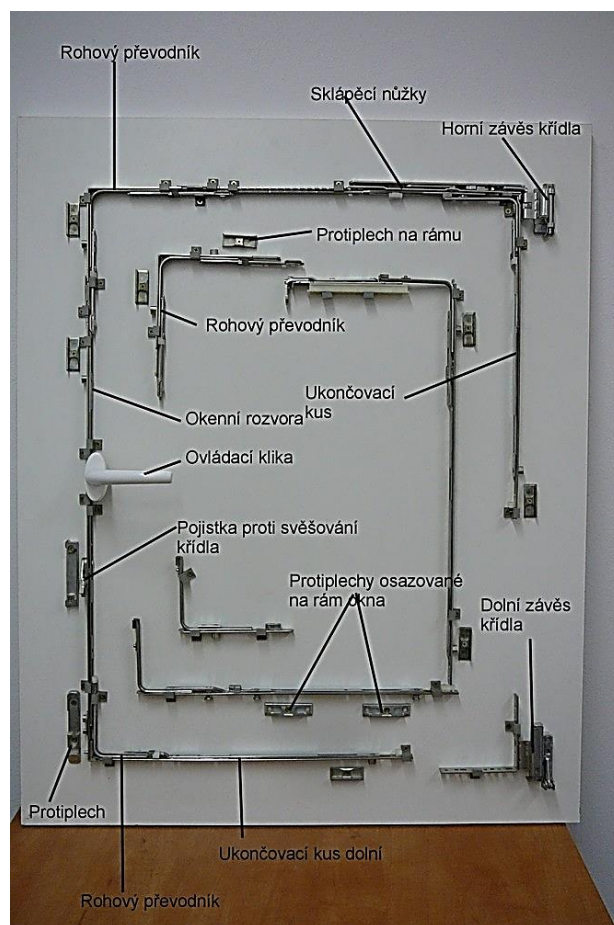
### 2.3.9 Kování oken

Kování zabezpečuje pohyb a manipulaci (otevírání a zavírání) okenního křídla v rámu. Kování u oken lze rozdělit do dvou skupin – konstrukční a vrchní. Konstrukční kování zabezpečuje zavěšení, zavírání a otevírání (zavěsy, jazýčky, válečkové uzávěry, rozvory, rozpěry křídel, spojky, pákové uzávěry apod.) Vrchní kování zabezpečuje manipulaci s křídly (olivy, půlolivy, úchytky, kliky, rukojeti atd.) (Kočí, 2000).

Dříve bylo možné křídla otvorových výplní pouze otevírat, později sklápět, vyklápět či posouvat, vždy však byla k dispozici jediná možnost. Vývoj se ubíral ke kombinaci výše uvedených způsobů. Moderní obvodové kování umožňuje různé druhy pohybu a jejich kombinace – otvíravě sklopné, posuvně sklopné a posuvně skládací (Petřtyl et Šubrt, 2012).

Celoobvodová kování mají ve srovnání s klasickými typy závěsů a uzávěrů jednu nevýhodu a tou je cena. Jinak poskytují velké množství výhod, jak pro výrobce, tak pro zákazníka. Jejich funkce je bezpečná, při sklápění můžeme omezit sklopný úhel, dále jsou vybavena pojistkami proti chybné manipulaci klikou a proti svěšování křídla. Uzavírací čepy mají dostatečnou toleranci pro montáž a je jimi možno regulovat přítlak křídla na rám. Dvoukřídla okna umožňují zajištění jednoho křídla v zavřené poloze lehce dosažitelným ovládním. Lze také použít typy obvodového kování, která jsou odolná vůči vloupání (Kočí, 2000).

Na Obrázku 13 je ukázka obvodového kování eurookna.



Obrázek 13 - Obvodové kování (stavba.tzb-info.cz)

Předpoklady pro bezchybnou funkci kování (Petřtyl et Šubrt, 2012):

- použití produktu, který prošel ověřovacími zkouškami a výrobce může předložit příslušné certifikáty
- dodržení předepsaného schématu okování otvorové výplně
- použití všech předepsaných komponent včetně určeného počtu spojovacího materiálu
- dodržení šířky funkční spáry
- po osazení otvorové výplně do stavebního díla musí být umožněno její přesné vystředění a dodatečné seřízení

### 2.3.10 Těsnění

Těsnění oken má omezit pronikání vzduchu i hluku funkční spárou. Funkční spára se dříve nechávala volná a sloužila k přívodu vzduchu, který byl potřeba nejen k dýchání, ale také k hoření loučí či kamen. Po odstranění ohnišť z bytů a zvýšení cen energií se začaly tyto spáry utěšňovat, tehdy obvykle kovovým těsněním nebo nalepovacím proužkem z molitanu. Dnes se používá těsnění z různých materiálů a různých tvarů. Umisťuje se dle počtu těsnících úrovní a tvaru profilů do různých míst okenního rámu či křídla (Petřtyl et Šubrt, 2012).

Okna mohou mít jedno nebo dvě těsnění, podle toho hovoříme o oknech dvoustupňově těsněných nebo jednostupňově těsněných. U dvoustupňově těsněných oken můžeme ve funkční spáře rozlišit dva druhy těsnění. První, blíže vnějšímu povrchu, je dešťová zábrana – má za úkol zajistit těsnost okna proti průniku hnaného deště. Dešťová zábrana je většinou tvořena obvodovou drážkou na křídle, kterou steče do sběrné drážky na spodním vlysu rámu. Tato zábrana propustí vodu jen do dekompresní dutiny, ta pak odteče odtokovými otvory na vnější stranu okna. Druhým stupněm těsnění je větrová zábrana, jejíž úlohou je omezit infiltraci vzduchu na požadovanou, normou stanovenou, hodnotu. Větrovou zábranu tvoří těsnící profily, kterých může být několik, ale každý z nich musí být veden vždy v jedné úrovni po celém obvodu okenního křídla. Tyto těsnící profily jsou umístěny za dešťovou zábranou, ve střední a ve vnitřní poloze. To je velmi výhodné vzhledem k tomu, že jsou vyrobeny z gumových či plastových profilů – vadí jim proto střídání teplot a působení ultrafialových paprsků. Příklad vhodného řešení těsnění je vidět na Obrázek 14. Jednostupňově těsnění nemají samostatnou dešťovou zábranu a nemají dostatečně velkou sběrnou drážku. Jednostupňově těsnění není zcela vhodný způsob – je problematické vyrovnání tlaku v dekompresní dutině, těsnící profil na venkovním dorazu v praxi nikdy netěsní dokonale a vodu v menší či větší míře propouští (Motyková, 2008).

### 2.3.11 Povrchová úprava

Původně bylo dokončování oken založeno na nanášení bezbarvých nebo pigmentových nátěrových hmot na bázi organických rozpouštědel. V šedesátých letech se objevily chemicky chráněné lazury a následně se začali používat silnovrstvé lazury opět na bázi organických rozpouštědel. V této vývojové etapě již vznikl základní systém a návazný dokončovací systém nátěrových hmot. Pigmentový základ byl nanášen máčením a dokončovací vrstva byla provedena stříkáním. Revoluční obrat v povrchovém dokončování oken, způsobily vodní lakové systémy v polovině osmdesátých let. Pojivé systémy byly na bázi akrylátů.

Základní nános nátěrové hmoty obsahuje UV absorbér a přídavky na ochranu výrobku v uzavřeném obale. Okna se máčí v základové barvě, nanočástice pronikají hluboko do pórů dřeva a tím zajišťují nejenom optimální ochranu, ale také přilnavost finální lazury oken. Tvrdá, ale pružná lazura (nebo krycí barva) se na okna nanáší vysokotlakým nástřikem. Díky ní okna odolávají povětrnostním vlivům, některým chemikáliím a do jisté míry vydrží i mechanické poškození. Nevýhodou je, že všechny vodou ředitelné produkty mají hydrofilní účinek na dřevní vlákna. Při aplikaci dochází ke zvedání dřevních vláken, což vede k nutnosti přebroušení takto dokončené plochy. Vodou ředitelné nátěrové hmoty zasychají působením celého komplexu dějů, jež ovlivňují výslednou kvalitu filmu nátěrových hmot (Kočí, 2000).

## 2.4 Požadavky na okna

Funkční vlastnosti oken, včetně oken střešních a dveří balkonových i vchodových, stanovuje norma ČSN EN 14351-1+A1 Okna a dveře – Norma výrobku, funkční vlastnosti. Každý objednatel oken by měl vědět, jaké parametry bude dodávaná otvorová výplň mít a zda splňuje požadavky normy v závislosti na tom, kam je určena. To není vždy tak jednoduché, jelikož požadavků na funkční vlastnosti je mnoho a nelze požadovat, aby jeden výrobek splňoval všechny. Nelze například požadovat, aby výrobek při maximální možné zvukotěsnosti plnil nároky na přirozenou průvzdušnost, která by zajistila požadovanou výměnu vzduchu přirozeným způsobem bez nuceného větrání (Petřtyl et Šubrt, 2012).

### 2.4.1 Odolnost proti zatížení větrem

Zatížení větrem se stanovuje podle ČSN EN 1991-1-4 a hodnotí se relativní průhyb rámu. Zatížení větrem je závislé na výšce a tvaru budovy, větrné oblasti a charakteru oblasti. Součástí normy je příloha, která obsahuje mapu větrných oblastí na území ČR. Mapa definuje základní rychlost větru  $V_{b0}$  ve výšce 10 m nad zemí v terénu kategorie II s roční



pravděpodobností překročení  $p = 0,02$  (střední doba návratu 50 let). Na mapě jsou vyznačeny větrné oblasti s výchozí základní rychlostí 22,5 m/s, 25 m/s, 27,5 m/s a 30 m/s. Ve vyznačených oblastech s výchozí základní rychlostí větru  $V_{b,0} > 30$  m/s nebo ve speciálních případech umístění staveb (na vrcholcích kopců, v úzkých údolích apod.) je nutné výchozí základní rychlost větru pro konkrétní lokalitu upřesnit na základě ČHMÚ (Helegda, 2009).

#### 2.4.1.1 Zkoušení odolnosti proti zatížení větrem podle EN 77

Podstatou metody je napodobení namáhání okna větrem, které má prokázat, zda okno za tohoto namáhání vykazuje přijatelnou deformaci, zachovává si svoje vlastnosti a zaručuje bezpečnost uživatelů. Okna se testují ve zkušebních komorách, do kterých se vzorky pevně upevní, dle platných předpisů tak aby na něm nevznikaly dodatečné spáry a ohybová napětí. Změří se teplota vzduchu ve zkušebně i ve zkušebním zařízení a zapíše se do zkušebního protokolu. Okno se nejprve zatíží 3 tlakovými rázy. Doba náběhu tlaku musí být nejméně 1 sekundu. Při každém rázu se musí tlak udržovat nejméně 3 sekundy. Tyto tlaky se musí provést tlakem, se kterým se počítá pro zkoušky deformace. Po ukončení tlaku se musí všechny otvíravé části 5x otevřít a zavřít. Pokud se má zkoušet odolnost okna proti přetlaku a podtlaku, musí se každá ze 3 zkoušek provést nejprve na přetlak a pak na podtlak. Před měřením deformace při podtlaku se provede nové počáteční zatížení (Polášek et Špaček, 2007).

Okno se podrobí zkouškám v následujícím pořadí (Polášek et Špaček, 2007):

##### 1) Zkouška deformace

Číselníkové úchylkoměry na stojanech k měření posunutí vzhledem k rovině okna, se ustaví do měřicí polohy. Okno se vystaví stupňovitému zvyšování tlaku, až po stanovený tlak pro tuto zkoušku. Zkušební tlaky jsou nejprve stanoveny na 100, 200, 300, 400, 500 Pa poté se tlak zvyšuje, nejvíce však po 250 Pa, až do požadovaného tlaku. U každého tlakového stupně jsou měřeny posuny okna v rovině. Po zrušení tlaku se po stabilizaci změní v charakteristických místech trvalé změny v rovině okna.

##### 2) Zkoušky při opakovaném přetlaku nebo podtlaku

Okno se vystaví  $n$ -tlakovým rázům od 0 do stanoveného tlaku. Doba změny nesmí být kratší než 1 sekundu a při každém rázu se musí tlak udržovat 3 sekundy. Po uzavření zkoušek se otvíravé části 5x otevřou a zavřou. Zaznamenají se všechna zjištěná poškození a funkční závady.

### 3) Zkouška bezpečnosti při přetlaku nebo podtlaku

Určený maximální tlak se má se dosáhnout v co nejkratším čase, který však nesmí být kratší než 1 sekundu. Tlak se pak udržuje 3 sekundy. Po dokončení zkoušky se zaznamenají všechny deformace, závady a poškození.

### 4) Vyhodnocení výsledků

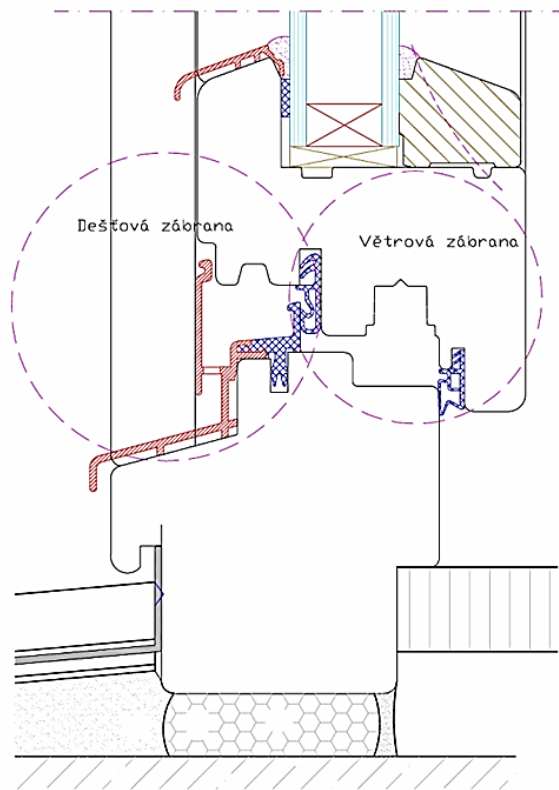
Na náčrtu okna se vyznačí místa měřených bodů. Výsledky zkoušek deformací se graficky vyjádří jako funkce tlaku pro každý bod měření. Deformace se uvádějí v mm a tlak v Pa. Uvedou se trvalé deformace zjištěné při zkoušce. Závady zjištěné na okně během zkoušek se zaznamenají a vyznačí se na náčrtku okna.

## 2.4.2 Nároky na vodotěsnost

Hodnotí se odolnost proti průniku vody výrobkem, při určitém tlakovém zatížení na vnějším povrchu výrobku. V ČR je doporučeno řídit se třídami vodotěsnosti uvedenými v ČSN EN 14351-1+A1:2011, které jsou obsaženy v informativní Národní příloze. V tabulce doporučených parametrů, je uvedena jako minimálně doporučena třída 7A a 7B, které odpovídají běžným budovám, typu rodinných domků. Písmena znamenají nechráněné objekty (A) a částečně chráněné (B). Třída 7 znamená budovu do 5 m výšky a do 10 m šířky při třídě zatížení větrem 3. U výškových budov, jako jsou například panelové domy, kde výška přesahuje 20 m je třeba vyžadovat třídu alespoň 9A (Petřtyl et Šubrt, 2012).

Abychom zabránily zatékání vody, je nutné umístit na exteriérové straně funkční spáry dešťovou zábranu (viz Obrázek 14). Část, která zajišťuje odolnost proti průniku tlakové vody se nazývá dekompresní dutina. Důležité je, aby dekompresní dutina byla dostatečně velká a v celém jejím prostoru byl stejný tlak, jako je atmosférický tlak okolního prostředí. Profil křídla i rámu je upraven tak aby tvořil sběrný žlábek, ve kterém se shromažďuje srážková voda hnaná pod tlakem větru proti otvorové výplni. Po celém obvodu křídla je nutné, aby probíhala přerušovací drážka, která přeruší tok vody směrem do interiéru. Pokud přerušovací drážka probíhá po celém obvodu, dochází k řízenému odtoku vody na spodní stranu křídla odkud skapává do dekompresní dutiny, odtud odvodňovacími otvory volně odtéká, většinou na parapetní plech (Šubrt et al., 2013b).

Následující obrázek zobrazuje dešťovou zábranu a větrovou zábranu ve funkční spáře.



**Obrázek 14 - Dešťová a větrová zábrana ve funkční spáře**

#### 2.4.2.1 Zkouška vodotěsnosti oken při statickém tlaku podle EN 86

Podstatou metody je stanovení vodotěsnosti oken působením vody a tlaku vzduchu za definovaných podmínek na vnější plochu okna a zjišťování případného průniku vody. Testování probíhá ve zkušební komoře, ve které je zabudováno zařízení vytvářející rozdíl tlaku vzduchu mezi oběma plochami okna, postřikovací zařízení, přístroje umožňující rychlé změny tlaku vzduchu a měřící přístroje. Zkoušené okno se upevní svisle pravouhle, bez zkřížení do zkušebního rámu, tak aby na něm nevznikaly dodatečné spáry a ohybová napětí. Teplota ve zkušebně a ve zkušebním zařízení se zaznamená do zkušebního protokolu. Teplota vody se udržuje v rozmezí 8-25°C. Povrchové napětí vody nesmí být nižší než 0,06 N / m. Postřikovací zařízení musí rozstříkovat cca 2 l / m<sup>2</sup> na zkoušenou plochu. Okno se vystaví 3 tlakovým rázům. Použitý tlak je o 10 % vyšší než tlak 600 Pa uvažovaný pro zkoušku. Každý tlakový ráz musí trvat nejméně 3 s. Postupně se tlak zvyšuje až na 600 Pa a okno se postřikuje podle následujícího cyklu – 0 Pa 15 min a poté 50, 100, 150, 200, 300, 400, 500, 600 Pa, každý tento tlak po dobu 5 min. V případě spotřeby je možné zvyšovat zkušební tlak od této hranice dále max. ve stupních 250 Pa a času postřikování 5 minut při každém stupni. Po zrušení tlaku se všechny

otvíravé části okna 5 x otevřou a zavřou. Při zkoušce se zjišťuje tlakový stupeň a čas, při kterém došlo k průniku vody (Polášek et Špaček, 2007).

#### 2.4.2.2 Kondenzace vody ve funkční spáře

Palková a Palko (2014) se ve své práci zabývají problematikou tepelné vlhkosti ve funkční spáře okna. Práce obsahuje analýzu příčin vzniku kondenzace páry ve funkční spáře, včetně experimentálního ověření v komoře, na čtyřech běžných vzorcích.

Srážení kondenzátu ve funkční spáře není deklarováno standardy ani předpisy. Závažnost problému se liší v závislosti na materiálu, ze kterého jsou okna vyrobena. V případě dřevěných oken dochází k degradaci povrchové úpravy a změně charakteristik okna vlivem tepelné změny. Přestup vlhkosti přes mezery mezi křídlem a rámem, a následná změna teploty je hlavní příčinou kondenzace vodní páry. Průchod vlhkosti je způsoben rozdíly tlaku vzduchu s vodní parou (infiltrace a exfiltrace) a difúzí vodní páry o rozdílném nasycení vodní páry ve vnitřním a vnějším prostředí. Rozptýlené vodní páry se pohybují z míst s vyšším tlakem do míst s nižším tlakem. Parciální tlak vnitřní páry při 20 °C a vlhkosti vzduchu 50 % je 1168,5 Pa. Vnější parciální tlak vodní páry při -11 °C a vlhkosti vzduchu 83 % je 196,7 Pa. Teplejší vzduch při 20 °C může obsahovat až 17,25 g vodní páry na m<sup>3</sup>, zatímco vzduch při teplotě -11 °C pouze 1,96 g/m<sup>3</sup>. Tímto může v zimním období docházet vlivem exfiltrace a difúzí vodní páry ke kondenzaci vody nebo ledu (Palková et Palko, 2014).

Kondenzační hranice pro vodní páru byla zjištěna po správném nastavení obvodového kování, tedy i kompresi těsnění. Hodnoty rozdílu tlaku mezi chladnou a teplou stranou komory, při niž se tvorba kondenzátu zastaví, byla v rozmezí 60 až 75 Pa (Palková et Palko, 2014).

#### 2.4.3 Nároky na zvukotěsnost

Ochrana uživatele budovy před nadměrným hlukem, je významnou součástí kvality staveb. Zvuk je spojen s kmitáním částic v prostředí a je šířen vlněním. Okna a dveře patří z hlediska neprůzvučnosti mezi nejslabší místa obvodového pláště budovy. Neprůzvučnost je vlastnost konstrukce, která se projevuje ztrátou akustického výkonu při přenosu zvuku vzduchem prostřednictvím konstrukce (Rubáš et Kaňka, 2016).

K dodržení limitů z hlediska hladiny hluku, dle nařízení vlády č. 272/2011 Sb. platné od 1.1.2011 o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací, není možné navrhnout jednoduše vhodné zasklení oken. Důležité jsou frekvenční pásma, ve kterých zvukové vlny působí na budovu. Rozdílnou kvalitu hluku má městská doprava, jinou třeba hluk výrobního

provozu poblíž. Návrhu zvukově-izolačního výrobku musí předcházet měření, které stanoví tzv. vnější ekvivalentní hladinu akustického tlaku. Z této hodnoty a z požadované hodnoty akustického tlaku interiéru se může správně stanovit požadovaná hodnota vážené neprůzvučnosti okna (Petřtyl et Šubrt, 2012).

Akustické vlastnosti oken posuzujeme dvěma způsoby. Posuzují se zvlášť okna jako samostatný výrobek nebo jako součást stavební obálky budovy. Akustické vlastnosti stěn se vyjadřují pomocí tzv. vážené hodnoty stavební vzduchové neprůzvučnosti  $R'_w$  a nesmějí být nižší než tabulkové normové hodnoty. Jednotlivé součásti obvodového pláště, včetně neprůzvučnosti oken se hodnotí pomocí tzv. vážené neprůzvučnosti  $R_w$ . Podle poměru ploch otvorových výplní a neprůhledných částí obálky se požadavek na váženou neprůzvučnost vlastních oken a dveří může snížit až o 5 dB oproti požadavku na váženou neprůzvučnost celého pláště. Požadavky na váženou neprůzvučnost pláště jsou uvedeny v ČSN 73 0532 – Akustika – ochrana proti hluku v budovách a posuzování akustických vlastností stavebních výrobků – Požadavky (Rubáš et Kaňka, 2016).

#### 2.4.3.1 Zjištění neprůzvučnosti otvorových výplní

U oken se používají rozměry zkušebního otvoru přednostně 1 250 x 1500 mm jak je pro specifický malý otvor popsáno v ČSN EN ISO 10140-1. Akustika – Laboratorní měření izolace stavebních konstrukcí. Montáž okna do zkušebního vzorku, musí být provedena stejným způsobem, jakým běžně používána v praxi. Připojovací spáru je důležité dostatečně utěsnit, aby byl přenos mezerou mezi oknem a otvorem dostatečně potlačen. Teplota obou komor se musí nacházet v rozmezí 17 až 23 °C a zkušební okno musí být před zkoušením alespoň 24 hodin při této teplotě. Zkoušená výplňová konstrukce je nainstalována ve zkušebním otvoru, mezi vysílací a přijímací místnostmi stanoveným technologickým postupem výrobce. Dále se určují faktory přizpůsobení spektru ( $C$ ;  $C_{tr}$ ), které lze přičíst k hodnotě  $R_w$ . Hodnota  $C$  představuje hluk při běžné činnosti v bytě. Faktor  $C_{tr}$  se vztahuje k běžnému ruchu ve městech a obcích. Uvedené faktory ( $C$ ;  $C_{tr}$ ) se uvádějí současně s veličinou  $R_w$  (dB) a platí pro základní kmitočtový rozsah 100 až 3 150 Hz. Jako doplňkové byly dále určeny faktory přizpůsobení spektru pro rozšířený kmitočtový rozsah  $C_{100-5000}$  a  $C_{tr, 100-5000}$ , které jsou vztaženy ke kmitočtovému rozsahu 100 až 500 Hz (Rubáš et Kaňka, 2016).

#### 2.4.3.2 Metoda umělé neuronové sítě (Buratti et al., 2013)

Okna jsou nejslabší částí fasády z hlediska akustického výkonu, který se vyjadřuje pomocí tzv. vážené hodnoty stavební zvukové neprůzvučnosti  $R_w$ , měřený podle ISO 140-3. Cílem tohoto modelu je vytvoření umělé neuronové sítě (ANN) pro odhad  $R_w$  hodnoty dřevěných oken, při dosažení omezeného počtu parametrů.  $R_w$  se obvykle měří v laboratoři dle normy ISO 10140-2, toto měření je však velice nákladné a zdlouhavé.

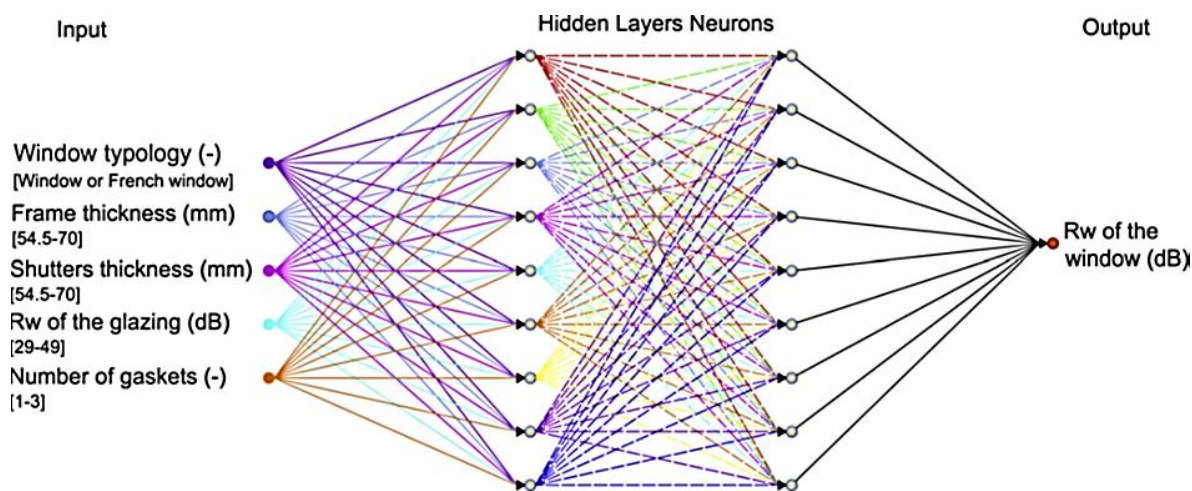
Zvuková izolace oken závisí na mnoha faktorech: typu oken (tloušťce, šířce dutiny, výplňovém plynu dutiny) rozměrech a parametrech zasklení, použitých těsněních a systému kování. Hlavní vliv na vzdušnou zvukovou izolaci má dřevěný rám a akustický výkon zasklení. Zvukovou izolaci zasklení lze zvýšit použitím tlustšího skla nebo rozšířením plynového prostoru (dutiny zasklení). V případech, pokud je požadován  $R_w$  pod 35 dB můžeme akustický výkon rámu zanedbat, jeli požadován výkon vyšší než 40 db, je třeba použít vyztužené rámy s příslušným těsněním.

Umělá neuronová síť je matematický model schopný simulovat chování biologické neuronové sítě, jako lidský mozek. ANN simuluje model černé krabice, který se naučí vztah mezi vstupem a výstupem během výuky, bez podrobných informací o vyšetřovaném systému. Vícevrstvá napájecí síť nejčastěji používá síťovou architekturu, kde jsou nejméně tři vrstvy: vstupní vrstva, výstupní vrstva, a různý počet skrytých vnitřních vrstev, které umožňují síti učit se lineární a nelineární vztahy mezi vstupními a výstupními vektory. Počet neuronů ve vstupu se rovná počtu zadaných parametrů, zatím co počet výstupů odpovídá množství výsledků. Zpracování modelu se skládá ze dvou fází. První je fáze výcviku, kdy je síť vyškolená a datová sada předpovídá výstup založený na vstupních datech. Při druhé testovací fázi, je síť testovaná, dokud nebude vypočtená chyba v tolerančních mezích.

Výběr vstupních parametrů je důležitým úkolem v ANN modelování. Pro zjištění  $R_w$  hodnoty jsou zásadní tyto parametry: typologie oken, tloušťka rámu, tloušťka žaluzie, počet a druh těsnění a akustická účinnost zasklení.

Byl vyvinut model ANN pro výpočet hodnoty  $R_w$  okna, pomocí algoritmu Back Propagation s dvěma skrytými vrstvami (konfigurace 5-10-10-1) s chybou nižší než 3 %

(< 1,5 dB), tyto hodnoty lze tedy považovat za spolehlivé. Model je zobrazen na následujícím obrázku.



Obrázek 15 – Simulace neuronové sítě (Buratti et al., 2013)

## 2.4.4 Tepelně-technické vlastnosti oken

### 2.4.4.1 Únik tepla okny

Okna jsou tradičně nejslabším článkem tepelných izolací domu. Únik tepla okny probíhá mnoha různými způsoby. Jedním z nich je únik tepla skrz zasklení, ten lze do jisté míry eliminovat vícenásobným zasklením vyplněným plynem, který hůře vede teplo, čímž se snižuje přenos tepla prouděním. Distanční rámeček není vhodné používat ocelový ani hliníkový, které značně vedou teplo a způsobují tak velký tepelný most. Dalším způsobem, úniku tepla je radiace, tedy tepelné záření, které lze omezit pokovením skel. Pokovení způsobuje odraz pro tepelné paprsky v oblasti dlouhovlnného záření, ale zároveň významně nesnižuje světelnou propustnost. K úniku tepla dochází také infiltrací, tedy pronikáním vzduchu z exteriéru do interiéru. Obměna vzduchu v místnosti je z hygienických důvodů nutná, nadměrným větráním však dochází k nadměrnému úniku tepla. Současná plastová i dřevěná okna mají těsnění na takové úrovni, které zamezuje přirozenou výměnu vzduchu. Proto je nutné často větrat, použít mikroventilací nebo je možné minimalizovat tepelné ztráty centrálním větráním rekuperací. Dalším způsobem úniku tepla je prostup skrze okenní rám a křídlo. U dřevěných oken se tyto ztráty minimalizují použitím masivních profilů, případně lze rám i křídla dodatečně vybavit tepelnou izolací (nejčastěji pěnový polyuretan). Posledním místem úniku tepla bývá tepelná vazba mezi okenním rámem a ostěním, kde nejlepší prevence umístit na ostění tepelnou izolaci (Šubrt, 2004).

#### 2.4.4.2 Tepelný most

Tepelný most je místo, kde dochází k vícerozměrnému a zvýšenému vedení tepla. Tepelné mosty mají stále větší význam, z důvodu neustálého zvyšování energetických nároků na stavební konstrukce. Jedním z důvodů vzniku tepelných mostů je také hygienická stránka věci. Dříve, když se topilo v lokálních kamnech pevnými palivy, docházelo k intenzivnímu větrání místnosti. Častým větráním byl vnitřní vzduch suchý a nedocházelo ke kondenzaci vody v místech tepelných mostů. Dnes vzhledem k úsporám energii dochází k minimálnímu větrání a vzduch je pak vlhčí, což může vést ke kondenzaci vodní páry na studených místech konstrukce. Výsledkem je růst plísní.

Dalším důvodem, proč je nutné tepelné mosty omezovat, je minimalizace úniku tepla konstrukcemi. Dříve se tepelné odpory běžně pohybovaly okolo  $0,7 \text{ (m}^2\cdot\text{K)/W}$  a přírážka na vliv tepelných mostů 10% ze součinitele prostupu tepla, čímž se do výpočtu zahrnuly tepelné ztráty tepelnými mosty. Tepelné mosty však nejsou přímo závislé na tepelně izolačních vlastnostech jednotlivých konstrukcí. V současné době je nutné zvyšovat součinitel prostupu tepla  $U$  nikoli o 10 %, jako dříve u normy ČSN 06 210 ale o vhodnou konstantní hodnotu. U vhodně řešených tepelných mostů je to zvýšení  $\Delta U = 0,1 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$  u velmi dobře řešených tepelných mostů je možné tuto přírážku snížit na  $\Delta U = 0,05 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$ . Je tedy patrné, že čím nižší součinitel tepelné propustnosti má daná konstrukce, tím větší na vliv na ní má případný tepelný most (Šubrt, 2004).

Tepelná vazba, je typ tepelného mostu vznikající stykem dvou různých konstrukcí, příkladem může být okenní ostění. Tepelné mosty mohou být v konstrukci nahodilé (nepravidelnost v konstrukci) nebo systematické (kotvící prvky okenního rámu) (Šubrt et al., 2011).

Všechny detaily obálky je nutné řešit tak, aby splňovali tyto požadavky:

- Po celou dobu životnosti stavby nesmí dojít k porušení konstrukce
- Vnitřní povrch musí mít takovou takovou teplotu, aby na ni nerostly plísně
- Detail musí umožňovat, aby stavba byla plně funkční, musí mít příslušnou nosnost dle umístění
- Musí být vzduchotěsný
- Musí být na stavbě realizovatelný

Detail tepelného mostu se obvykle navrhuje jako řez daným místem, kde má tedy pouze dva rozměry, ovšem realita je mnohdy odlišná, na stavbě se provádí ve trojrozměrném prostoru.



Pokud se tedy navrhuje, jakýkoli detail, je třeba dbát na to, jak ho realizovat a jak jím bude probíhat tepelný tok (Šubrt et al., 2011).

### **Dynamické tepelné mosty**

Norma ISO 10211 definuje postup a pravidla pro charakterizaci tepelných mostů. Výpočty jsou však zaměřeny na ustálený stav, pro získání lineární tepelné propustnosti nebo teplotního faktoru na vnitřním povrchu rámu. Ve výpočtech energetické náročnosti budov však existují dynamické tepelné aspekty obálky, které mají na danou problematiku velký vliv. Z důvodů vysokého procenta obálky ovlivněného teplotními mosty, je nutné brát v úvahu implicitní setrvačnost tepelných mostů pro přesnost výpočtů. Z tohoto důvodu byla vytvořena norma ISO 13786 pro dynamickou charakterizaci tepelných mostů, podle odhadu jejich dynamického dopadu. Pokud bude postupováno podle navrhované metody, snížíme tím vliv homogenní části konstruktivního chování tepelných mostů, ale získáme stacionární vlastnosti tepelných mostů (Martin et al., 2012).

#### **2.4.4.3 Součinitel prostupu tepla**

Klíčovým parametrem pro posuzování kvality okna je velikost hodnoty  $U$ . Jde o součinitel prostupu tepla libovolným materiálem, který tak určuje kvality výplňového prvku z hlediska tepelných ztrát. Jedná se o průměrnou tepelně izolační vlastnost celého výrobku, v případě okna tedy o rámy včetně zasklení. Okenní rámy mají téměř vždy horší vlastnosti než prosklené výplně. Obecně lze tedy říci, že čím je hodnota  $U$  menší, tím jsou okna kvalitnější. Požadovaná normová hodnota je dnes v případě nových oken je  $U_w 1,5(W/m^2 \cdot K)$ . Standardně jsou však požadována okna  $U_w 1,2-1,1(W/m^2 \cdot K)$  a minimálně dosažitelná hodnota je  $U_w 0,4-0,55(W/m^2 \cdot K)$  (Smola, 2011).

Součinitel prostupu tepla  $U [W / (m^2 \cdot K)]$  je veličina, pomocí níž se stanovuje, jak je odolná konstrukční skladba proti pronikání tepla danou konstrukcí. Hodnota součinitele prostupu tepla je závislá na:

- součiniteli tepelné vodivosti materiálu  $\lambda [W / (m \cdot K)]$
- tloušťce materiálu  $d (m)$
- na hodnotě odporu proti přestupu tepla na vnitřní straně konstrukce  $R_{si}$  a na vnější straně  $R_{se}$

**Tabulka 4 – Součinitel prostupu tepla vybraných otvorových výplní**

<b>Požadované a doporučené hodnoty součinitele prostupu tepla pro budovy s převažující návrhovou vnitřní teplotou <math>\theta_{im}</math> v intervalu 18 °C až 22 °C včetně (tab. 1)</b>			
<b>Popis konstrukce</b>	<b>Součinitel prostupu tepla [W/(m<sup>2</sup>·K)]</b>		
	<b>Požadované hodnoty <math>U_{N,20}</math></b>	<b>Doporučené hodnoty <math>U_{rec,20}</math></b>	<b>Doporučené hodnoty pro pasivní budovy <math>U_{pas,20}</math></b>
Výplň otvoru ve vnější stěně a strmé střeše, z vytápěného prostoru do venkovního prostředí, kromě dveří	1,5	1,2	0,8 až 0,6
Šikmá výplň otvoru se sklonem do 45°, z vytápěného prostoru do venkovního prostředí	1,4	1,1	0,9
Dveřní výplň otvoru z vytápěného prostoru do venkovního prostředí (včetně rámu)	1,7	1,2	0,9
Výplň otvoru vedoucí z vytápěného do temperovaného prostoru	3,5	2,3	1,7
Výplň otvoru vedoucí z temperovaného prostoru do venkovního prostředí	3,5	2,3	1,7

ČSN 73 0540 – 2 – 2011

### **Metody určení U hodnoty**

Tepelná účinnost okna závisí na tepelném výkonu, geometrických charakteristikách rámu a interakci s jeho komponenty. Tepelná propustnost se vyhodnocuje podle mezinárodní normy ISO 10077-1, která specifikuje jednoduchou metodu pro výpočet tepelného výkonu okenní výplně. Nevýhodou je, že výpočetní postup nezohledňuje účinky slunečního záření, přenos tepla způsobený únikem vzduchu a větráním. Metoda také nepočítá s některými doplňky jako např. těsnění či vložky, které mohou výrazně přispět k dosažení vysokého výkonu okna. Druhá část norma ISO 10077-2 uvádí podrobný popis metody pro výpočet rámových profilů  $U_f$  a jejich lineární propustnost se zasklením, poskytující informace o vstupních datech potřebných pro výpočet (Malvoni et al., 2016).

Pro homogenní materiály nebo vícevrstvé moduly, jejíž geometrii a termofyzikální vlastnosti vedou k jednorozměrnému toku tepelné propustnosti, lze výsledky snadno vypočítat použitím informací od výrobce, o tepelné vodivosti daného materiálu. Pokud součásti nelze ošetřit jako homogenní (konstrukce je zhotovena z různých materiálů, nebo vedení tepla je dvojrozměrné či trojrozměrné) není možné použít pouze numerická hodnocení, ale tyto metody je třeba integrovat pomocí experimentálních validací. Velké množství tepelných ztrát skrze stavební obálku probíhá prostřednictvím nehomogenních součástí, jako jsou okna, dveře a

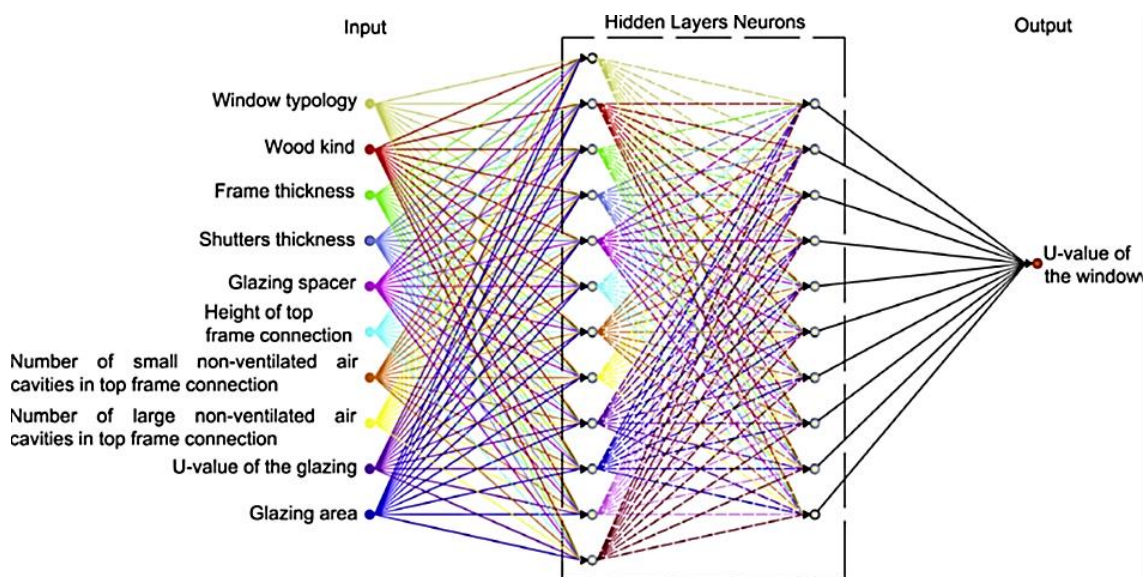
tepelné mosty. Tuto tepelnou ztrátu lze v laboratoři přiblížit s použitím teplé skříně. Kalibrace a jednotlivé postupy lze provést, s přihlédnutím ke třem normám pro kalibraci teplých skříní, evropské EN ISO 8990, americké ASTM C1363-05 a ruské GOST 26602. 1-99 (Asdrubali et Baldinelli, 2011).

### **Výpočet součinitele prostupu tepla metodou umělé neuronové sítě (Buratti et al., 2012)**

Metoda výpočtu U hodnoty pomocí modelu umělé neuronové sítě, byla vyvinutá k předpovědi tepelného výkonu dřevěných oken a překonává omezení konvenčních přístupů, které vyžadují komplexní analytický přístup (normy ISO 10077-1 a 10077-2) nebo experimentální testy (norma ISO12657-1). Model je založený na omezeném počtu vstupních parametrů a je nastaven pomocí datové sady sestavené Univerzitou v Perugii, za pomoci softwaru CDF a experimentů v chráněné teplé skříně.

Umělá neuronová síť (ANN) je genetické označení pro několik matematických modelů, schopných simulovat biologický neuron se síťovým chováním jako lidský mozek. Počet neuronů ve vstupní vrstvě se rovná počtu parametrů, které ovlivňují výsledek a počet neuronů ve výstupu odpovídá výslednému odhadu (konfigurace neuronů 10-12-10-1). Vícevrstvá neuronová síť s dvěma směry skryté vrstvy, má algoritmus výuky zpětného šíření a funkci přenosu sigmoid. ANN může pracovat jako model černé krabice, který nevyžaduje žádné podrobné informace o zkoumaném systému, ale může se naučit vztah mezi vstupem a výstupem na základě údajů ze školení.

Účelem vyvinutého modelu ANN je předpovědět tepelnou propustnost dřevěných oken na základě omezeného počtu parametrů. Výběr vstupních parametrů je důležitým úkolem v ANN modelování. Parametrů, které ovlivňují tepelný výkon je v datové sadě uvedených 22, výsledky ukázaly, že pro tuto metodu jich postačuje 10 (typologie oken, druh dřeva, tloušťka rámu, tloušťka žaluzie, rozteč zasklení, velikost zasklení, hodnota U pro zasklení, výška připojení horního rámu, počet malých a velkých dutin v rámu). Takto nastavený ANN model může v reálném čase předpovědět U hodnotu dřevěných oken, s odchylkou +/- 1 % pomocí 10 deseti parametrů, které stručně popisují okno. Metoda ANN umožňuje snadno odhadnout tepelný výkon oken, bez experimentální kampaně nebo početní analýzy s CFD kódy což šetří čas a peníze. Model je zobrazen na obrázku níže.



Obrázek 16 - Simulace neuronové sítě (Buratti et al., 2012)

### 2.4.5 Nároky na průvzdušnost

Průvzdušnost okna udává, jak otvorová výplň utěsněna a je ovlivněna především provedením funkční spáry. Průvzdušnost okna ovlivňuje dvě neslučitelné vlastnosti. První z nich jsou tepelné ztráty způsobené odvodem teplého vzduchu funkční spárou. Druhou vlastností je výměna vzduchu v místnosti a zajištění tak nezbytných hygienických požadavků. V současné době se používá pro hodnocení průvzdušnosti zatřídění do tříd 0 až 4 podle ČSN EN 12207 Okna a dveře – průvzdušnost – Klasifikace. Zkouška se provádí při tlaku 100 Pa, množství vzduchu, které projde funkční spárou, se vztahuje buď na plochu okna, nebo na délku funkční spáry. Většina moderních oken splňuje třídy 3 nebo 4. Je to dáno tím, že konstrukce oken i jejich výroba je na velmi vysoké úrovni, výsledkem je výrobek s velmi dobrou těsností. Místem tepelných ztrát, kromě funkční spáry, je také přípojovací spára. Těmito spárami se snaží vzduch pronikat oběma směry (interiér – exteriér) (Petřtyl et Šubrt, 2012).

Požadavek na minimální množství čerstvého vzduchu pro obytné budovy není v České republice přímo stanoven. Obvykle se doporučuje zajistit 15-30 m<sup>3</sup>/ (h . os). Hodnota 30 m<sup>3</sup> přibližně odpovídá hodnotě 8 l / (s . os) uváděné v zahraničních zdrojích jako doporučení pro obytné budovy a byla zřejmě odvozena podobným způsobem (Novák, 2008).

#### 2.4.5.1 Zkoušení spárové průvzdušnosti podle EN 42

Podstatou metody je stanovení průvzdušnosti okna měřením jednorozměrného toku vzduchu, který je zajištěn ustáleným rozdílem tlaku vzduchu mezi prostředím po obou stranách měřeného okna při konstantní teplotě a vlhkosti vzduchu těchto prostředí.

Zkoušené okno odpovídající platným technickým předpisům, se upevní svisle pravoúhle bez zkřížení do zkušebního rámu, tak aby na něm nevznikaly dodatečné spáry a ohybová napětí. Do zkušebního protokolu se zaznamená teplota vzduchu ve zkušebně a zkušebním zařízení. Okno se vystaví 3 tlakovým rázům, při použití tlaku o 10 % vyššího než 600 Pa, který je uvažovaný pro zkoušku. Po zrušení tlaku se okno 5x otevře a zavře. Následně se okno podrobí stupňovitému zvyšování tlaku, kdy každý stupeň působí alespoň 10 s. Tlakové stupně jsou 50, 100, 150, 200, 300, 400, 500, 600 Pa. Poté se tlakové stupně aplikují v obráceném sestupném pořadí. Uvádí se vyšší naměřená hodnota, z obou měření tlakového rozdílu.

Výsledky se vyhodnocují na základě proniklého vzduchu v m<sup>3</sup>/h v závislosti na délce spáry, ploše křídla a celkové plochy okna (Polášek et Špaček, 2007).

## 3 Materiál a metodika

### 3.1 Technické vybavení

V následující tabulce jsou uvedeny stroje použité při výrobě oken.

Tabulka 5 - Zařízení použité při výrobě

Výrobní zařízení	Značka a typ stroje	Účelové použití
Okružní pila	Robland Z170	rozmítání řeziva, podélné řezání
Okružní formátovací pila	Altendorf F45	formátování dílců, kapování, zařezávání
Spodní truhlářská frézka	Ligmet STF 6	profilování dílců, čepování, řezání
Čtyřstranná frézka	Weinig Powermat 400LE	čtyřstranné opracování dílců
Dlabačka	Vapos D-150	vrtání a dlabání otvorů pro kování
Dlabačka řetězová	FKS	výroba dlabů u obložek
Širokopásová bruska	Houfek Bulldog 1100	broušení ploch
Lis na rámové konstrukce		klížení rámu, křídel, obložek
Lis na spárovky (turniket)	Balínek Sedlčany TKL 3	lepení spárovek
Sada fréz na eurookna	RH+ Euro 68	sada pro kompletní výrobu oken
Sada fréz na špalet. okna	RH+ typ L	sada pro kompletní výrobu oken
Univerzální truhlářské frézy		univerzální frézy
Excentrická bruska	Festool ETS EC 150/3	ruční broušení
Truhlářské kozy		odkládání, dokončovací ruční práce
Běžné ruční nářadí		ruční práce, dokončovací práce
Frézka na lodičky	METABO W7-115	frézování drážek pro lodičky
Aku vrtačka	DeWALT AKU DCD780	vrtání a šroubování
Stříkací box		povrchová úprava oken

### 3.2 Výroba oken

Jedním z cílů bakalářské práce je výroba dvou typů oken vhodných k použití v roubených stavbách, kterými se bakalářská práce dále zabývá.

Rozměr obou oken byl zvolen 800x1200mm. Prvním typem je klasické dvojité okno (špaletové) dříve běžně používané v roubenkách, které je však značně modernizováno. Jedná se tedy o špaletové okno vybavené dvěma těsněními s použitím dvojskla ve venkovním křídle a povrchovou úpravou vodou ředitelnými nátěrovými hmotami aplikované vysokotlakým stříkacím zařízením.

Druhým typem je rustikální eurookno IV 68. Eurookna jsou dnes nejpoužívanějším typem dřevěných oken ve stavebnictví. Rustikální eurookna jsou svou konstrukcí a vlastnostmi stejné s klasickými eurookny, rozdíl tedy spočívá v jejich vzhledu, mají zdobené prvky

napodobující historický vzhled. Jedinou zásadní konstrukční změnou je použití klasické dřevěné křídelní okapnice z důvodu sjednocení vzhledu s okny špaletovými.



**Obrázek 17 - Vyrobená okna**

Z venkovní strany jsou okna osazena obložkami, masivním dřevěným parapetem a jsou téměř k nerozeznání

### **3.2.1 Konstrukce špaletového okna**

#### **Rám**

Základními konstrukčními částmi okna, jsou dva rámy spojené špaletou (deštěním), které tvoří pevnou obvodovou konstrukci pro zavěšení, dosedání, otevírání a uzavírání okenních křídel. Na vnějším rámu je osazena venkovní obložka s masivním parapetem. Spojení špalety s vnějším rámem je provedeno po celém obvodu do polodrážky, na vnějším obvodu rámu. Špaleta s vnitřním rámem je spojena v polodrážce uvnitř rámu a zároveň tak špaleta s rámem tvoří polodrážku, do které dosedá vnitřní křídlo. Rohové spoje vnitřního i vnějšího rámu jsou provedeny na jednoduchý čep a rozpor. Špalety jsou v rozích sešroubovány a slepeny. Na vnějším rámu je v polodrážce provedena sběrná drážka s výtokovými otvory pro odtok vody.

#### **Vnitřní křídlo**

Světlost vnitřního křídla je členěna na čtyři části viz obrázek. Svislé dělení probíhá polovinou šíře křídla, zatímco vodorovné dělení v 1/3 výšky křídla. Svislé i vodorovné příčle jsou spojeny s křídlem čepem a dlabem. Rohový spoj křídla je proveden na dvojitý čep a rozpor. Křídlo je zaskleno 4 mm tabulkovým sklem v polodrážce a zajištěno je silikonem a lištami, které jsou přisponkovány. Křídlo doléhá do těsnění umístěného v podrážce rámu, tvořené

špaletou. Správnou funkci křídla v rámu zajišťují závěsy TKZ EXPERT 13,5 DZ PH, které lze doplnit vhodnými návleky. Uzavírání křídla je provedeno na okenní jazýček s protiplechem, ovládaný půl-olivou Dáša.

### **Vnější křídlo**

Venkovní křídlo je stejně dělené jako křídlo vnitřní. Rozdílem je řešení příčlí (duplexů), ty jsou na sklo přilepeny oboustrannou lepicí páskou a následně společně s celým křídlem zasilikovány. Skleněnou výplň tak tvoří jediné dvojsklo (4/12/4), zatímco u vnitřního křídla jsou použita čtyři samostatná skla vložená mezi příčle. Sklo je usazeno v polodrážce na pěnové pásce a vymezeno distančními podložkami, z vnitřní strany je pak zajištěno zasklívacími lištami a připevněno nastřelovacími sponkami. Nalehávkové těsnění je umístěno v obvodové polodrážce křídla. Z venkovní strany je křídlo opatřeno dřevěnou okapnicí. Stejně jako vnitřní křídlo je i venkovní křídlo osazeno závěsy TKZ EXPERT 13,5 DZ PH, a uzavíráno je okenním jazýčkem s půl-olivou.

## **3.2.2 Konstrukce rustikálního eurookna**

### **Rám**

Rohový spoj je proveden na dvojité čep. Na spodním vlysu rámu je vytvořená drážka s otvory pro odtok dešťové vody. Po obvodu rámu jsou umístěny prvky obvodového kování, včetně okenních závěsů. Z venkovní strany je rám osazen obložkou a dřevěným masivním parapetem.

### **Křídla**

Rohový spoj křídla je proveden na dvojité čep. Světlost křídla je členěna na čtyři části viz obrázek. Svislé dělení probíhá polovinou šíře křídla, zatímco vodorovné dělení v 1/3 výšky křídla. Skleněnou výplň tvoří jediné dvojsklo, na kterém jsou přilepeny duplexy. Skleněná výplň (dvojsklo 4/16/4), je v polodrážce usazena na pěnové pásce a vymezena distančními podložkami, z vnitřní strany je zajištěna lištami a přistřílena sponkami. Křídlo je vybaveno dvěma těsněními, hlavním obvodovým těsněním a přídatným nalehávkovým těsněním.

## **3.2.3 Příprava materiálu**

Jelikož je výrobní proces velice podobný, výroba obou typů oken byla provedena současně. Jako vstupní materiál pro výrobu oken byly použity smrkové fixní eurohranoly a smrkové řezivo vysušené na vlhkost 9-12 %. Eurohranoly se používají ke zhotovení rámu i křídla eurookna a vnějšího křídla s rámem špaletového okna. Pro výrobu ostatních částí oken bylo použito truhlářské řezivo. Prvním krokem při výrobě oken bylo délkové krácení fošen a



prken s délkovou nadmírou. Vzniklé zkrácené přířezy se rozmítly na okružní pile a tím se získaly přířezy s nadmírou. Zároveň bylo provedeno vymanipulování nepřipustných vad (trhliny, suky, hniloba). Vznikl tak neopracovaný přířez, který měl zatím hrubé rozměry (jmenovitý rozměr + nadmíra na opracování). Takto připravené přířezy byly společně s fixními eurohranoly přepraveny ke čtyřstranné frézce, kde došlo ke čtyřstrannému opracování, srovnání do roviny a docíleno pravoúhlosti. Výsledkem byly přířezy s dvěma čistými rozměry (tloušťka a šířka).

**Tabulka 6 - Použitý materiál**

<b>Použitý materiál</b>	<b>Účel použití</b>	<b>Množství</b>
Eurohranoly 72x86	Eurookno rám a křídlo	8 bm
Eurohranoly 63x65	Ven. špaletové křídlo	4 bm
Eurohranoly 56x75	Ven. špaletový rám	4 bm
Truhlářské řezivo	Vnitřní rám a křídlo, ostatní části	0,15 m <sup>3</sup>
Lepidlo PVAC Wurth D4	Konstrukční lepení spojů	0,05 Kg
Vrut 4x45	Spoj ozdobné lišty s obložkou	50 ks
Těsnění Roto T12MPS	Těsnění křídla eurookna a špa. ven. křídla	8 bm
Těsnění Treleborg L2110	Těsnění nalehávkové, křídlo eurookna	4 bm
Těsnění Treleborg L8002	Těsnění vnitřního křídla	4 bm
Vrut 3,5x35	Obvodové kování eurookno	30 ks
Distanční zasklívací podložky	Vystředění skleněné výplně vně křídla	24 ks
Wurth Fensterbausilikon	Silikonování skleněných výplní	600 ml
Okenní závěs TKZ EXPERT 13,5	Vnitřní a venkovní křídlo špalet. okna	4 ks
Okenní jazýček 11114	Uzavírání křídel špaletového okna	4 ks
Okenní půloliva Dáša BR	Ovládání křídel špaletového okna	4 ks
Okenní klika Roto	Ovládání eurookna	1 ks
Obvodové kování Roto NT E5/E20/A	Obvodové kování eurookna	1 ks
Rámové nůžky Roto NT E5 12/18-9	Rámové nůžky eurookna	1 ks
Oboustranná lep. páska	Lepení duplexů na skleněnou výplň	6 bm
Pěnová zasklívací páska	Usazení skleněné výplně	7 bm
Vrut 5x70	Spoj rámu eurookna a ven. obálky	20 ks
Vrut 4x50	Spoj špalety s rámy	50 ks
Vrut 4x40	Spoj ven. rámu s obálkou a parapetem	20 ks
Brusná houbička BAS 100	Broušení první vrstvy nátěrové hmoty	2 ks
Brusná houbička DUO 220	Broušení druhé vrstvy nátěrové hmoty	2 ks
ADLER AW DSL		
ADLER LIGNO+BASE (57960)	Nátěrová hmota - první máčení	0,2 Kg
ADLER LIGNO+SEALER(59110)	Nátěrová hmota – druhé máčení	0,2 Kg
ADLER LIGNO+Top LARCHE(59141)	Nátěrová hmota – krycí lazura	0,2 Kg
REMMERS		
INDULINE GW – 201 WEISS	Nátěrová hmota základ, máčení	0,2Kg
INDULINE ZW – 400 WEISS	Nátěrová hmota plnič	0,2Kg
INDULINE DW – 601/50	Nátěrová hmota RAL 9016	0,2Kg
AQUA STOP		

### 3.2.3.1 Výroba křídel a rámu

Připravené, ohoblované hranolky se na okružní formátovací pile zakrátily na požadovanou délku jednotlivých vlysů, rámu a křídel. Následně se na spodní frézce vybavené čepovacím vozíkem vyfrézovaly čepy na vodorovných vlysech, a rozpory na svislých (pouze u rámu eurookna tomu bylo naopak). Dalším krokem bylo vnitřní profilování jednotlivých vlysů, které se provedlo frézováním na spodní frézce. Průchodem vlysů křídla eurookna spodní frézou, došlo k profilaci zasklívací lišty, kterou bylo nutné druhým průchodem odříznout ze zasklívací polodrážky. Na spodním vlysu rámu obou oken bylo nutné vyvrtat na dlabáčce výtokové otvory pro odvod vody ze sběrné drážky. Vyprofilované rámové i křídelní vlysy byly přesunuty k hydraulickému lisu pro rámové konstrukce. Při klížení bylo nutné dbát na rovnoměrný nános lepidla na všechny lepené plochy spoje. Po nánosu lepidla se vložil sestavený rám či křídlo do hydraulického lisu kde došlo k jeho sražení, částečnému vytvrzení lepidla a zajištění pravouhlosti lepené konstrukce. Po úplném vytvrzení lepidla v rohových spojích, následovalo frézování vnějších profilů rámu a křídel. U křídel došlo k vyfrézování funkčních polodrážek, drážek pro těsnění a v případě eurookna drážky pro obvodové kování. Na rámech došlo k vyfrézování drážky pro parapet a obvodové drážky pro vnitřní obložku. Následně byly vyvrtány otvory pro závěsy, vydlabány otvory pro klíčky (půl - olivy) a jazýčky.

### 3.2.3.2 Výroba zasklívacích lišt

Lišty byly vyrobeny z truhlářského řeziva, které bylo rozřezáno a čtyřstranně ohoblováno (viz. výše příprava materiálu). Následně byly profilově opracovány dvěma průchody na spodní frézce. Nejdříve byl vyfrézován pohledový profil, následovala polodrážka u lišt pro špaletové okno a nakonec kulatina (poloměr r3) na zadní straně lišty.

### 3.2.3.3 Výroba špalet (deštění)

Špalety byly vyrobeny z deskového řeziva, které bylo podélně rozmítnuto a čtyřstranně ohoblováno (viz. výše příprava materiálu). Na hranách přířezů byl vyfrézován na spodní frézce spojovací profil „blesk“ pro vyšší pevnost spojů spárovky. Připravené přířezy byly poskládány do spárovky a slepeny v turniketovém hydraulickém lisu. Po vytvrzení lepidla ve spojích byly spárovky egalizovány na širokopásové brusce, z důvodu odstranění nerovností vzniklých při lepení. Následně byly spárovky naformátovány na formátovací okružní pile. Do naformátovaných špalet byly vyfrézovány na spodní frézce drážky pro těsnění u vnitřních křídel.

### 3.2.3.4 Výroba duplexů

Na výrobu duplexů bylo použito truhlářské řezivo čtyřstranně opracované (viz. výše příprava materiálu). Ohoblované řezivo bylo délkově nakráčeno na okružní formátovací pile na požadovanou délku, dle vnitřních rozměrů křídla. Následně byl na obou koncích duplexů na spodní frézce vytvořen kontraprofil vnitřního profilu křídla. Podélným ofrézováním duplexů bylo docíleno stejného profilu s křídlem.



Obrázek 18 - Výroba duplexů

### 3.2.3.5 Výroba venkovních obložek

Venkovní obložky se vyrábí z truhlářského hoblovaného řeziva (viz. výše příprava materiálu). Obložky byly vyrobeny ze dvou částí, z vlastní obložky a ozdobné lišty. Přířezy na obložky byly nakráčeny na formátovací okružní pile. Vodorovné, vrchní dílce byly následně vyčepovány na spodní frézce a na svislých, bočních dílcích byl vydlabán dlab na řetězové dlabačce. Na spodní frézce byla vyfrézována polodrážka a na jejím okraji byly skoseny hrany. Následně byly vyříznuty čepy a dlaby viz obrázek na okružní formátovací pile a spodní frézce. Na širokopásové egalizační brusce se obrousili hrany jednotlivých vlysů a následně se v hydraulickém lisu pro rámové konstrukce, sklížila obložka v jeden celek. Po vytvrzení lepidla bylo nutné obložku plošně egalizovat na širokopásové egalizační brusce. Následovala výroba ozdobné lišty, která po čtyřstranném ohoblování byla ofrézována na spodní frézce, jedním průchodem. Lišty byly následně zakráčeny a přišroubovány (přilepeny) na obložku.

### 3.2.3.6 Výroba venkovního parapetu

Na výrobu parapetu bylo použito truhlářské řezivo, ohoblované na čtyřstranné frézce (viz. příprava materiálu). Nejprve byl materiál na parapety nakrácen na okružní formátovací pile. Poté byl ofrézován několika průchody na spodní frézce. Prvním krokem bylo vytvoření oblého rohu parapetu, následovalo vyfrézování polodrážky, žlábků a horní kulatiny. Po vytvoření profilu parapetu následovalo vyříznutí pera pro vsunutí do rámu okna.

### 3.2.3.7 Vyspravení a broušení povrchu

Vyrobená okna bylo nutné vyspravit tmelením, případně lodičkami, kterými se vyspravili smolníky, menší suky a další drobné vady. Drážky pro lodičku byly vyfrézovány speciální frézou k této činnosti určenou. Po vyspravení vad, byl povrch namočen vodou, aby „vylezli léta“ a nedokonalosti povrchu, které by mohly vylézt při máčení impregnací při konečné povrchové úpravě. Po úplném uschnutí byly plochy oken obroušeny na širokopásové egalizační brusce, brusnými pásy o zrnitosti P 120, P150 a nakonec P180. Po strojním broušení bylo nutné ručně dobrousit, jednotlivé profily oken, včetně polodrážek a ostatních míst, která nelze obrousit strojně. Následně byly okna ofoukána stlačeným vzduchem, z důvodu odstranění nečistot a prachu.

### 3.2.3.8 Povrchová úprava

Na obě okna byly použity dvě různé povrchové úpravy, venkovní bílá Remmers RAL 9010 a vnitřní Adler AW DSL. Venkovní parapet byl ošetřen nátěrovou hmotou Remmers teak. Před aplikací, vnitřní světlé nátěrové hmoty bylo nutné zakrýt papírovou páskou části, které mají být bílé. Jednalo se tedy o venkovní stranu rámu i křídla eurookna a venkovní stranu venkovního rámu a křídla špaletového okna. Dále bylo nutné roztřídit zbytek části oken dle použití povrchové úpravy.

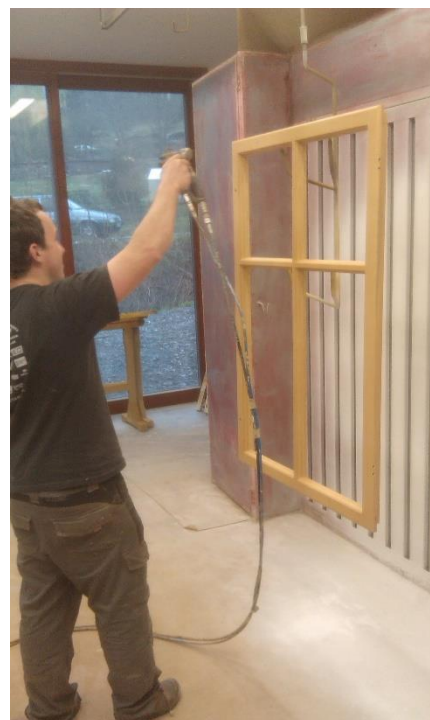
Všechny části okna, které měly být světlé byly máčeny ve fungicidní impregnaci Adler LIGNO+BASE (57960) a po vytvrzení byly přebroušeny brusnou houbičkou P100. Druhé máčení bylo Adler LIGNO+SEALER(59110) a po úplném vytvrzení bylo opět nutné lehké broušení povrchu brusnou houbičkou P220. Poté již následoval finální nástřik lazury Adler LIGNO+Top LARCHE(59141) vysokotlakým stříkacím zařízením. Po vytvrzení dvoubarevných částí bylo nutné, odstranit krycí papírovou pásku a zakrýt světlou povrchovou úpravou, aby mohla být aplikována bílá povrchová úprava z druhé strany. Bílé části okna byly

nejprve máčeny v napouštěcím základu Remmers Induline GW – 201 WEISS a po vytvrzení bylo nutné povrch přebrousit brusnou houbičkou P100. Poté byl stříkáním aplikován plnič Remmers Induline ZW – 400 WEISS , po vytvrzení byl povrch opět broušen houbičkou P220. Finální nástřik byl krycí bílé lazury Remmers INDULINE DW – 601/50 AQUA STOP SOND SD6L RAL9010. Po vytvrzení bylo nutné opět odkrýt olepení části křídel a rámu. Po aplikování povrchové úpravy bylo nutné počkat s dalším postupem alespoň 24 hodin z důvodů vytvrzení silnovrstvé lazury.

### 3.2.3.9 Kompletování oken

Po povrchové úpravě následovalo kompletování oken. Kompletování začalo okováním obou křídel a rámu špaletového okna. Křídla byla vsazena do rámu, vystředěna a následně se vyvrtali otvory pro závěsy. Po osazení závěsů následovala montáž jazýčků a jejich protiplechů. Venkovní rám byl v místě polodrážky pro špaletu pevně spojen s venkovní obálkou a parapem vruty. Proti možnému vniknutí vody byl spoj utěsněn silikonem. Poté byly oba rámy spojeny se špaletami v jeden celek, pomocí vrutů a montážního lepidla.

Při zasklívání venkovního křídla byla nejprve do zasklívací drážky vlepena pěnová páska, na kterou bylo usazeno a vystředěno pomocí distančních podložek izolační dvojsklo. Tabulkové sklo bylo v zasklívací drážce uloženo na nanesený silikon, který sklo pevně fixuje proti pohybu. Zasklívací lišty byly pod úhlem 45° nakráčeny na pokosové pile a přistříleny



Obrázek 19 - Stříkání

pneumatickou pistolí kovovými sponkami. Následně bylo venkovní křídlo a vnitřní rám špaletového okna opatřeno těsněním.



**Obrázek 20 - Kompletace**

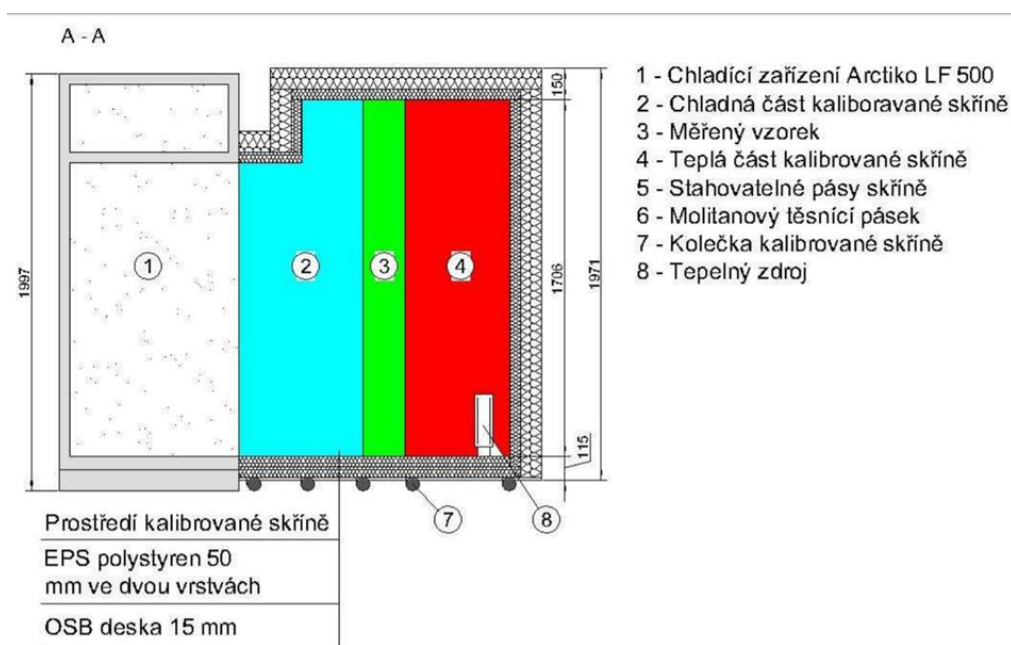
Následovalo okování eurookna, na které bylo osazeno obvodové kování Roto. Za pomoci šablon byly v rámu rozmístěny jednotlivé kameny. Na rám byl vruty z venkovní strany přidělán parapet a venkovní obálka. Proti možnému vniknutí vody byl spoj utěsněn silikonem. Zasklení křídla probíhalo obdobně jako u venkovního křídla špaletového okna, skleněná výplň byla usazena na pěnovou pásku, vystředěna distančními podložkami, zalištována a lišty přistříleny pneumatickou pistolí. Následně byly na obě křídla s izolačním dvojsklem, přilepeny oboustrannou lepicí páskou duplexy a celé zasklení bylo zasilikonováno transparentním silikonem.



**Obrázek 21 - Vyrobená okna**

### 3.3 Testování oken v kalibrované teplé skříně

Okna byla testována v kalibrované skříně, která je složena z rámové konstrukce tvořené sloupky 50x50 mm, vyplněné tepelnou izolací v podobě expandovaného polystyrenu. Na vnější straně stěn i stropů skříně je konstrukce dodatečně zateplena expandovaným polystyrenem o tloušťce 100 mm. Podlahu skříně tvoří dvě vrstvy expandovaného polystyrenu o celkové tloušťce 100 mm, zakryté 15mm OSB deskou. Skřín se otevírá odklonem interiérové části, čímž dojde k otevření prostoru chladné skříně. Do této části se vkládá vzorek okna, poté se teplá část vrátí zpět k chladné části a je uzavřena pomocí stahovatelných pásů. Důležité je aby, byla dostatečně zaizolovaná spára v místě přechodu teplé a studené části skříně a nedocházelo tak k tepelným ztrátám, které by mohly ovlivnit měření. Konstrukce použitého měřícího zařízení je vykreslena na následujícím obrázku.



Obrázek 22 - Schéma kalibrované skříně (Hladík, 2017)

#### Instalace vzorku a osazení měřících zařízení

Okno bylo osazeno do zkušebního zařízení, vystředěno, srovnáno do svislé i vodorovné roviny, bez zkřížení rámu, tak aby na něm nevznikaly dodatečné spáry a ohybová napětí. Do zkušebního otvoru byla okna připevněna kotvícími plechy a zapěněna PUR nízkoexpanzní pěnou. Celá přípojovací spára byla následně překryta izolační páskou, aby nedocházelo k okrajovým ztrátám. Při zabudování do zkušební komory zůstávalo okno plně funkční, bylo tedy možné ho kdykoli otevřít nebo zavřít.

Obrázky znázorňují připravená okna a jejich montáž do komory.



**Obrázek 23 - Zabudovávání vzorku do komory**

Dalším krokem bylo umístění teplotních čidel, která zaznamenávají teplotu na povrchu vzorku. Čidla byla umístěna na okenním rámu, křídle i zasklení z interiérové i exteriérové strany. Připevněna byla inteligentní plastelínou s nulou tepelnou jímavostí, díky tomu nedocházelo ke zkreslení informací teplotních čidel.

Teplota prostředí v měřicí skříni byla zaznamenána teploměrem Testo 735-2, který je určen k vysoce přesnému zaznamenávání dat. Teploměr byl osazen sondou Pt100. Pro záznam teplot na povrchu vzorku bylo použito zařízení Testo Saveris T3 D-2 s teplotní sondou.

Dále proběhla instalace chladicího zařízení Arctiko LF 500 o rozměrech 620x860x1997 mm a objemu 515 l. Chladicí zařízení bylo přistaveno k otvoru testovací komory a při jeho instalaci bylo dbáno na těsnost spoje – pomocí gumového těsnění mezi měřicí skříní a chladicím zařízením. Následně byla skříň uzavřena a zajištěna



**Obrázek 24 - Chladicí zařízení**



stahovatelnými pásy, při uzavírání bylo dohlíženo na správné dosednutí molitanové izolace ve spáře.

### Měření a záznam dat

System vytvořený pro měření v kalibrované teplé skříni se skládá z tepelného zdroje, regulátoru teploty, adaptéru a zařízení zaznamenávající tok energie. Tento systém zabezpečuje chod probíhajícího měření a zároveň slouží ke sběru dat potřebných pro stanovení součinitele prostupu tepla.

### Topné těleso

K vytvoření vhodných podmínek v teplé kalibrované skříni bylo jako zdroj tepla použito elektrické topné těleso – olejový radiátor Eurom RK 500 o rozměrech 140 x 350 x 400 mm a příkonu 500 W.



Obrázek 25 - Olejový radiátor Eurom RK 500

### Regulátor teploty

Regulátor zabezpečuje konstantní teploty v teplé části kalibrované skříně. Informace o prostředí uvnitř měřicí skříně zaznamenává teplotní sonda, která je následně předá panelovému PID regulátoru FU 48 Zutemer (viz Obrázek 20). Regulátor dle těchto údajů upravuje přívod energie pro topné těleso. Pro plynulé přírůstky nebo úbytky energie, je regulátor vybaven elektronickým stmívačem Finder 15.11 (slave).

### Energetický analyzátor a adaptér

Přísun elektrické energie do topného tělesa přes regulátor je řešen tokem přes adaptér Rohde & Schwarz HZC 815, který poskytuje připojení pro energetický analyzátor Rohde & Schwarz HMC 8015 (viz Obrázek 21). Analyzátor zaznamenává údaje o toku elektrické energie ve wattech, elektrického napětí ve voltech a proudu v ampérech. Zaznamenaná data energetickým analyzátozem z měření stěny jsou importována USB konektorem do připojeného zařízení, odkud jsou ve formě tabulky přenesena do počítače. Stejný způsob je i pro získání tepelné hodnoty zaznamenané čidly z měřicí skříně.



Obrázek 26 - FU 48 Zutemer. (<http://www.zutemer.cz>)

## Průběh měření a záznam dat

Testovaná okna prošla několika měřeními. U každého měření byly zaznamenávány hodnoty po uběhnutí časového intervalu jedné vteřiny. Tyto naměřené hodnoty byly následně zprůměrovány na jeden výsledek v daném měření. Výsledná hodnota je tedy

vytvořena celkovým průměrem ze všech měření testovaných oken. Při vyhodnocení tepelného toku vzorkem je třeba odečíst tepelnou ztrátu 2,6 wattů, ke které dochází v regulátoru.



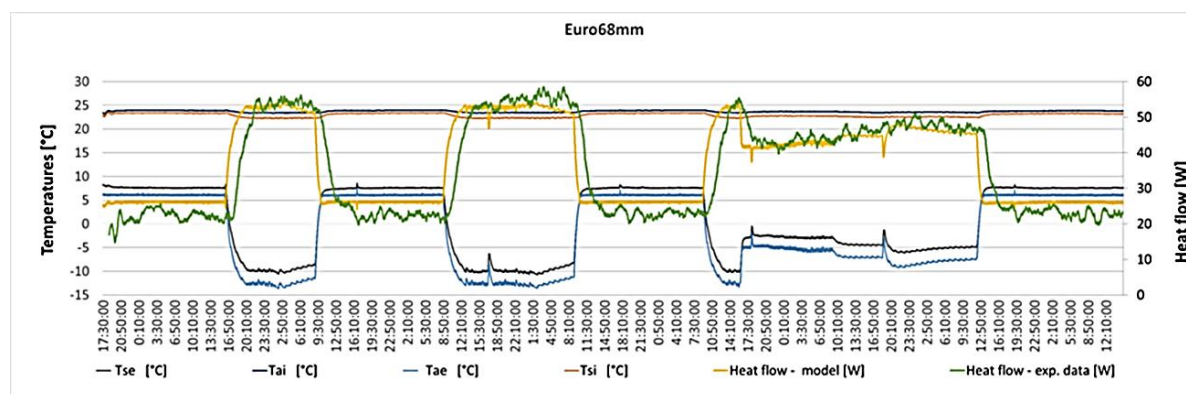
Obrázek 27 - Rohde & Schwarz HMC 8015 ([www.rohde-schwarz.com](http://www.rohde-schwarz.com))

## 4 Výsledky a diskuze

### 4.1 Výsledky měření v kalibrované teplé skříní

#### 4.1.1 Eurookno

Okno bylo testováno v časovém úseku devíti dnů. Během testování byly měněny teploty ve studené části komory. Teplotní rozsah studené komory se pohyboval od 6 °C do -13 °C. V teplé části komory byla udržována konstantní teplota 24 °C, rozdíl teplot obou komor se pohyboval od 18 do 37 °C. Během testu byly zaznamenávány teploty čidly, která byla umístěna na zasklení, křídle i rámu na předem zvolených místech. Sledované teploty byly – teplota vnitřního a vnějšího prostředí, teplota vnitřního a vnějšího povrchu okna. Dále byl sledován tok energie vzorkem. Na grafu je vidět, že pokud se snižovala teplota v chladné komoře, zvyšoval se tok energie vzorkem. Na základě získaných dat, byl vypočítán součinitel prostupu eurokna  $U_w = 1,165 \text{ [W/m}^2 \cdot \text{K]}$ .



Graf 1 - Graf průběhu testování eurokna

Na uvedeném grafu je znázorněn průběh testování. Sledované hodnoty jsou uvedeny v následující tabulce.

Tabulka 7 - Popis hodnot osy x

<b>Tse [°C]</b>	Teplota povrchu vzorku v chladné části
<b>Tai [°C]</b>	Teplota prostředí v teplé části
<b>Tae [°C]</b>	Teplota prostředí v chladné části
<b>Tsi [°C]</b>	Teplota povrchu vzorku v teplé části
<b>Heat flow – model [W]</b>	Tepelný tok vzorkem vypočtený dle rovnice (1)
<b>Heat flow – exp. data [W]</b>	Celkový tepelný tok

Rovnice použité při výpočtu tepelného toku vzorkem:

$$\phi = U \times A \times \Delta t \quad [W] \quad (1)$$

$$E_{total} = \int_{time(0)}^{time(n)} \phi \, dt \quad [Wh] \quad (2)$$

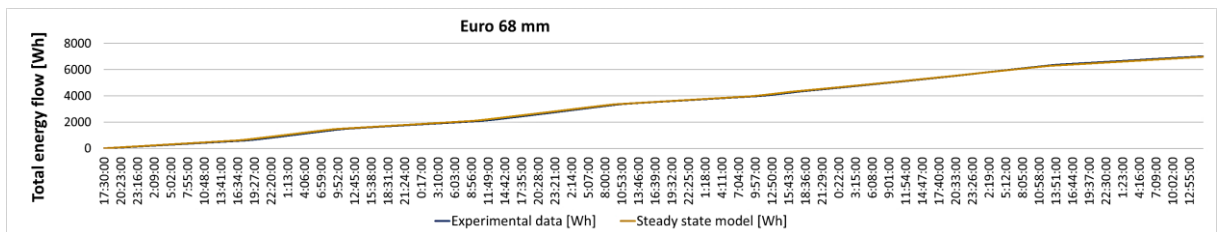
U – Součinitel prostupu tepla [W/m²K]

A – Plocha vzorku [m²]

φ – Tepelný tok [W]

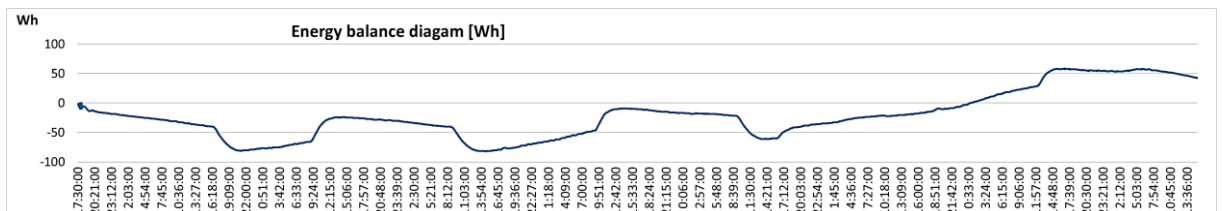
t – Teplota [°C]

Δt – Rozdíl teplot [°C]



**Graf 2 - Celková spotřeba energie**

Na Grafu 2 je zaznamenána celková spotřeba energie během testování. Vypočtena dle rovnice (2).

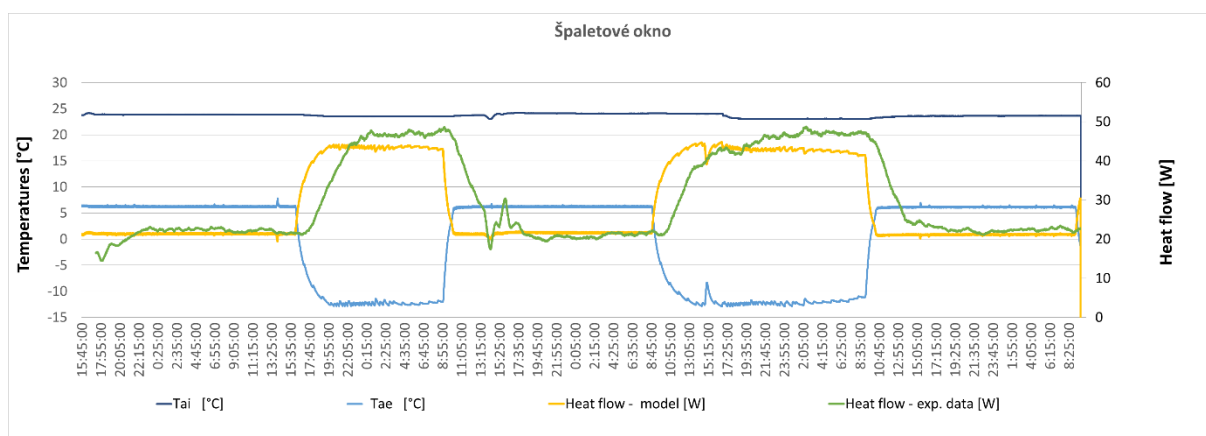


**Graf 3 - Energetická bilance**

Na Grafu 3 je znárodněn diagram energetické bilance.

#### 4.1.2 Špaletové okno

Okno bylo testováno v časovém úseku pěti dnů. Během testování byly měněny teploty ve studené části komory. Teplotní rozsah studené komory se pohyboval od 6 °C do -13 °C. Během testu byly zaznamenávány teploty čidly, která byla umístěna na zasklení, křídle i rámu na předem zvolených místech. Sledované teploty byly – teplota vnitřního a vnějšího prostředí, teplota vnitřního a vnějšího povrchu okna. Dále byl sledován tok energie vzorkem. Na grafu je vidět, že pokud se snižovala teplota v chladné komoře, zvyšoval se tok energie vzorkem. Na základě získaných dat, byl vypočítán součinitel prostupu Špaletového okna = 0,91 [W/m<sup>2</sup>. K].

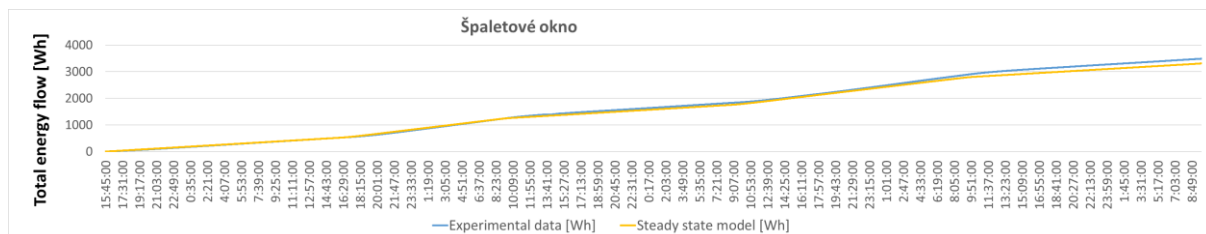


Graf 4 - Graf průběhu testování špaletového okna

Na uvedeném grafu je znázorněn průběh testování. Sledované hodnoty jsou uvedeny v následující tabulce.

Tabulka 8 - Popis hodnot osy x

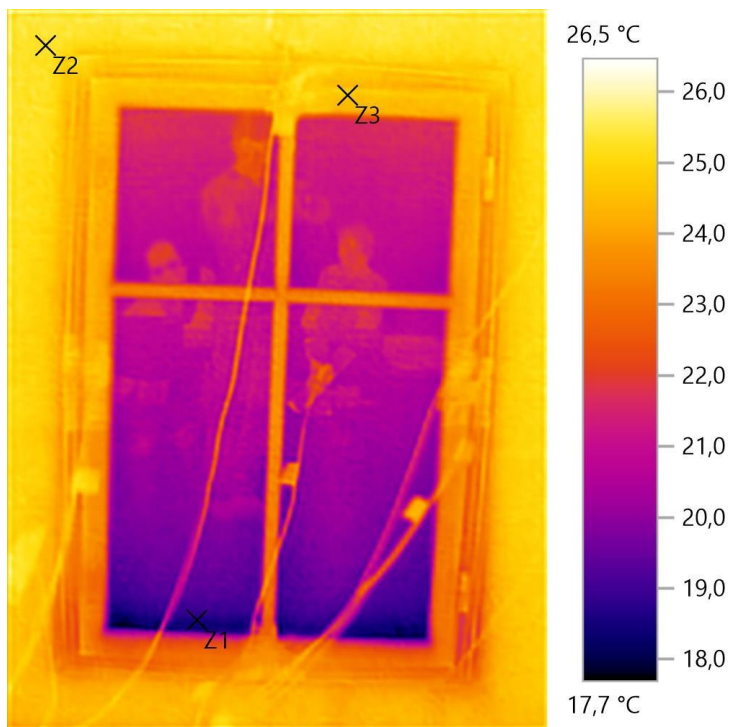
Tse [°C]	Teplota povrchu vzorku v chladné části
Tai [°C]	Teplota prostředí v teplé části
Tae [°C]	Teplota prostředí v chladné části
Tsi [°C]	Teplota povrchu vzorku v teplé části
Heat flow – model [W]	Tepelný tok vzorkem vypočtený dle rovnice (1)
Heat flow – exp. data [W]	Celkový tepelný tok



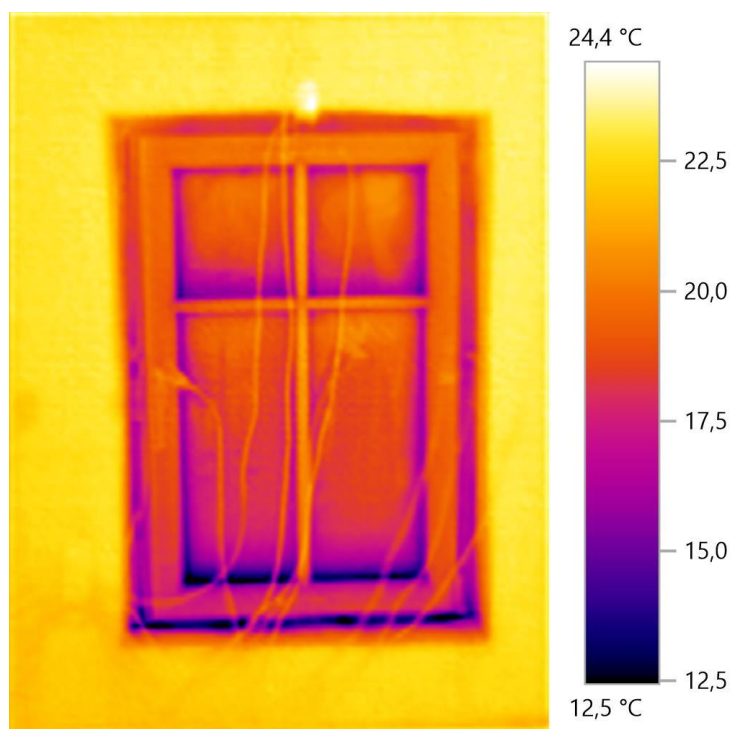
Graf 5 - Celková spotřeba energie

Na Grafu 2 je zaznamenána celková spotřeba energie během testování. Vypočtena dle rovnice (2).

Na obrázcích pořízených termokamerou je patrné, že povrch špaletového okna je při testování výrazně teplejší, než je tomu u eurookna. Na snímcích eurookna je zřejmé, že k největším ztrátám dochází skrze spodní část okenního rámu, zatímco u špaletového okna je nejchladnějším místem zasklení.

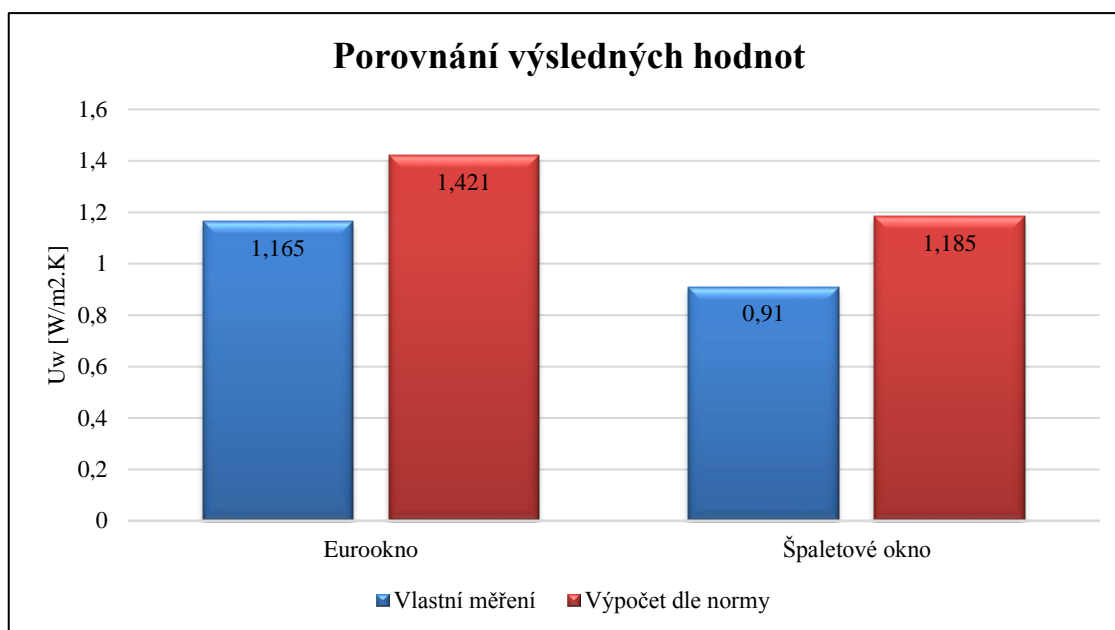


**Obrázek 28 - Špaletové okno**



**Obrázek 29 - Eurookno**

## Porovnání výsledků obou oken



**Graf 6 - Porovnání výsledných hodnot**

Oba typy konstrukce oken měly při testování velmi kvalitní výsledky. Lepší tepelně technické vlastnosti však mělo špaletové okno, které dosáhlo při testování i výpočtech nižších  $U_w$  hodnot. U špaletového okna byly oběma metodami zjištěné  $U_w$  hodnoty výrazně příznivější. Hlavní výhodou špaletového okna je tloušťka rámu. Vzduchová mezera mezi zasklením vytváří tepelný odpor  $R_s$ , čím vyšší je odpor vzduchové mezery, tím nižší je výsledná hodnota  $U_w$ . Při výpočtech však bylo zjištěno, že dle normy ČSN EN ISO 10077 se vliv vzdálenosti zasklení nad 50 mm špaletového okna příliš neliší. Ještě lepších hodnot u špaletového okna by bylo možné docílit použitím izolačního dvojskla také u vnitřního křídla.

Výsledky eurokna jsou vzhledem k použitému typu zasklení a tloušťce rámu velice dobré. Největší ztráty byly patrné v dolní části rámu, a to vlivem malé tloušťky okenního profilu. Výrazně lepších hodnot u eurokna by bylo možné dosáhnout nahrazením okenního profilu IV 68 za IV 78, případně IV 88 či IV 92 s použitím izolačního trojskla.

Požadavky na tepelně technické vlastnosti otvorových výplní lze nalézt v normě ČSN 73 0540-2:2011 viz. Tabulka 8. Dle požadavků stanovených touto normou by obě vyrobená okna, dle zjištěných hodnot měření, splňovala doporučené hodnoty uvedené v tabulce. Podle vypočítaných hodnot dle ČSN EN ISO 100 77-1 by však eurokno plnilo pouze požadované hodnoty.

**Tabulka 8 – Součinitel prostupu tepla vybraných otvorových výplní**

<b>Požadované a doporučené hodnoty součinitele prostupu tepla pro budovy s převažující návrhovou vnitřní teplotou <math>\theta_{im}</math> v intervalu 18 °C až 22 °C včetně (tab. 1)</b>			
<b>Popis konstrukce</b>	<b>Součinitel prostupu tepla [W/(m<sup>2</sup>·K)]</b>		
	<b>Požadované hodnoty <math>U_{N,20}</math></b>	<b>Doporučené hodnoty <math>U_{rec,20}</math></b>	<b>Doporučené hodnoty pro pasivní budovy <math>U_{pas,20}</math></b>
Výplň otvoru ve vnější stěně a strmé střeše, z vytápěného prostoru do venkovního prostředí, kromě dveří	1,5	1,2	0,8 až 0,6
Šikmá výplň otvoru se sklonem do 45°, z vytápěného prostoru do venkovního prostředí	1,4	1,1	0,9
Dveřní výplň otvoru z vytápěného prostoru do venkovního prostředí (včetně rámu)	1,7	1,2	0,9
Výplň otvoru vedoucí z vytápěného do temperovaného prostoru	3,5	2,3	1,7
Výplň otvoru vedoucí z temperovaného prostoru do venkovního prostředí	3,5	2,3	1,7

ČSN 73 0540 – 2:2011



### 4.1.3 Výpočet součinitele prostupu tepla

Součinitel prostupu tepla okenních výplní  $U_w$  lze vypočítat podle postupu uvedeného v ČSN EN ISO 10 077-1, nebo zkouškou v tepelné komoře. Při početní metodě musí mít okno stanovený rozměr uvedený v normě, pokud ho nesplňuje, je nutné vypočítat součinitele prostupu tepla rámem  $U_f$  dle normy ČSN EN ISO 10 077-2. Hodnotu  $U_f$  lze také určit dosazením tloušťky rámu do grafu uvedeného v první části normy, v tomto postupu však není zohledněn profil rámu a tvar funkční spáry.

#### Výpočet součinitele prostupu tepla špaletového okna dle ČSN EN ISO 10 077-11

##### Součinitel prostupu tepla špaletovým oknem

$$U_w = \frac{1}{\frac{1}{U_{w1}} - R_{si} + R_s - R_{se} + \frac{1}{U_{w2}}} \quad (3)$$

$$U_w = \frac{1}{\frac{1}{4,069} - 0,13 + 0,186 - 0,04 + \frac{1}{1,717}} = 1,185 \text{ [W/m}^2\text{.K]}$$

$$U_{w1} = \frac{U_{f1} \cdot A_{f1} + U_{g1} \cdot A_{g1}}{A_{g1} + A_{f1}} \quad (4)$$

$$U_{w1} = \frac{2 \cdot 0,572 + 5,753 \cdot 0,703}{0,572 + 0,703} = 4,069 \text{ [W/m}^2\text{.K]}$$

$$U_{w2} = \frac{U_{f2} \cdot A_{f2} + U_{g2} + A_{g2} \cdot \psi_{g2} \cdot l_{g2}}{A_{g2} + A_{f2}} \quad (5)$$

$$U_{w2} = \frac{1,8 \cdot 0,516 + 1,3 \cdot 0,545 + 0,06 \cdot 3,1}{0,516 + 0,545} = 1,717 \text{ [W/m}^2\text{.K]}$$

Tabulka 9 - Hodnoty výpočtu špaletového okna

Technické parametry	Zkratka	Hodnota	Jednotky
<b>Odpor vnitřní strany při přestupu tepla</b>	$R_{si}$	0,130	[m <sup>2</sup> .K/W]
<b>Opor vnější strany při přestupu tepla</b>	$R_{se}$	0,040	[m <sup>2</sup> .K/W]
<b>Tepelný odpor vzduchu mezi skly</b>	$R_s$	0,186	[m <sup>2</sup> .K/W]
<b>Lineární činitel prostupu spáry venkovního okna</b>	$\Psi_{g2}$	0,06	[W/m.K]
<b>Plocha vnitřního rámu</b>	$A_{f1}$	0,572	m <sup>2</sup>
<b>Plocha vnějšího rámu</b>	$A_{f2}$	0,516	m <sup>2</sup>
<b>Plocha vnitřního zasklení</b>	$A_{g1}$	0,703	m <sup>2</sup>
<b>Plocha vnějšího zasklení</b>	$A_{g2}$	0,545	m <sup>2</sup>
<b>Délka zasklívací spáry vnějšího zasklení</b>	$l_{g2}$	3,1	m
<b>Součinitel prostupu tepla vnitřního rámu</b>	$U_{f1}$	2,000	[W/m <sup>2</sup> .K]
<b>Součinitel prostupu tepla vnějšího rámu</b>	$U_{f2}$	1,800	[W/m <sup>2</sup> .K]
<b>Součinitel prostupu tepla vnitřního zasklení</b>	$U_{g1}$	5,753	[W/m <sup>2</sup> .K]
<b>Součinitel prostupu tepla vnějšího zasklení</b>	$U_{g2}$	1,300	[W/m <sup>2</sup> .K]
<b>Součinitel prostupu tepla vnitřního okna</b>	$U_{w1}$	4,069	[W/m <sup>2</sup> .K]
<b>Součinitel prostupu tepla vnějšího okna</b>	$U_{w2}$	1,717	[W/m <sup>2</sup> .K]

<b>Součinitel prostupu tepla špaletovým oknem</b>	$U_w$	1,185	[W/m <sup>2</sup> .K]
---	-------	-------	-----------------------

**Součinitel prostupu tepla Eurooknem IV 68**

$$U_w = \frac{A_g \cdot U_g + A_f \cdot U_f + l_g \cdot \psi_g}{A_g + A_f} \quad (6)$$

$$U_w = \frac{0,545 \cdot 1,1 + 0,53 \cdot 1,4 + 3,1 \cdot 0,06}{0,545 + 0,53} = 1,421 \text{ [W/m}^2\text{.K]}$$

**Tabulka 10 - Hodnoty výpočtu špaletového okna**

<b>Technické parametry</b>	<b>Zkratka</b>	<b>Hodnota</b>	<b>Jednotky</b>
<b>Plocha zasklení</b>	$A_g$	0,545	m <sup>2</sup>
<b>Plocha rámu</b>	$A_f$	0,530	m <sup>2</sup>
<b>Délka zasklívací spáry</b>	$l_g$	3,1	m
<b>Lineární činitel prostupu spáry okna</b>	$\Psi_g$	0,06	[W/m.K]
<b>Součinitel prostupu tepla zasklení</b>	$U_g$	1,100	[W/m <sup>2</sup> .K]
<b>Součinitel prostupu tepla rámen</b>	$U_f$	1,400	[W/m <sup>2</sup> .K]
<b>Součinitel prostupu tepla eurooknem</b>	$U_w$	1,421	[W/m <sup>2</sup> .K]

## 5 Závěr

Cílem práce bylo vyrobit dva vzorky oken vhodných pro použití v roubených stavbách a porovnat jejich tepelně technické vlastnosti. Bylo vyrobeno špaletové okno s oběma křídly otvíravými dovnitř a osazenými těsněním. Venkovní křídlo bylo zaskleno izolačním dvojsklem ( $U_g = 1,3 \text{ [W/m}^2\cdot\text{K]}$ ) a vnitřní křídlo 4mm tabulkovým sklem. Celková hloubka okna byla 260 mm. Druhým typem bylo rustikální eurookno IV 68, zasklené izolačním dvojsklem ( $U_g = 1,1 \text{ [W/m}^2\cdot\text{K]}$ ) osazené dvěma těsněními.

Obě okna byla podrobena zkoušce v teplé kalibrované skříní dle normy ČSN EN ISO 8990 a výsledek byl porovnán s výpočtem provedeným dle normy ČSN EN ISO 10077-1. Obě okna měla v testech velmi dobrý výsledek – dle hodnot naměřených v teplé kalibrované skříní obě okna splňují doporučená kritéria prostupu součinitele tepla ( $U_w = 1,2 \text{ [W/m}^2\cdot\text{K]}$ ) stanovená normou ČSN 73 0540-2: 2011. Měřením v teplé kalibrované skříní byly naměřeny hodnoty součinitele prostupu tepla  $U_w$  u špaletového okna  $0,91 \text{ [W/m}^2\cdot\text{K]}$  a u rustikálního eurookna  $1,161 \text{ [W/m}^2\cdot\text{K]}$ . Výpočtem provedeným dle ČSN EN ISO 10077-1 vyšly hodnoty výrazně vyšší – u špaletového okna  $1,185 \text{ [W/m}^2\cdot\text{K]}$  a u eurookna  $1,421 \text{ [W/m}^2\cdot\text{K]}$ . Tyto rozdíly mohou být způsobeny nepřesně provedenými výpočty, případně nevhodně či nepřesně zvolenými kritérii pro výpočet, stanovenými normou.

Oba typy oken je možné dále zdokonalovat, u špaletového okna se nabízí řešení v podobě použití izolačního dvojskla také u vnitřního křídla. U eurookna je možné zvolit euro profil o vyšší tloušťce například IV 78, zasklený trojsklem.

Dle naměřených a vypočítaných výsledků lze tedy říci, že špaletové okno má výrazně lepší tepelně technické vlastnosti. Toto tvrzení je doloženo výsledky, které obsahuje tato práce.

## 6 Seznam literatury

AGC Flat Glass Czech a.s., člen AGC Group. 2011. Vrstvené bezpečnostní sklo v otvorových výplních: sklo jako mechanický zábranný systém. In: TZB-info: stavebnictví, úspory energií, technická zařízení budov [online]. Topinfo s.r.o. Praha.

Almáši, P. 2018. Moderní roubené domy z lepených hranolů. In: Dřevostavitel: Online svět dřevostaveb [online]. NETION, s.r.o. Brno.

Asdrubali, F., Baldinelli, G. 2011. Thermal transmittance measurements with the hot box method: Calibration, experimental procedures, and uncertainty analyses of three different approaches. *Energy and Buildings*. 43 (7). 1618-1626.

Asdrubali, F., Ferracuti, B., Lombardi, L., Guattari, C., Evangelisti, L., Grazieschi, G. 2017. A review of structural, thermo-physical, acoustical, and environmental properties of wooden materials for building applications. *Building and Environment*. 114. 307-332.

Buratti, C., Barelli, L., Moretti, E. 2012. Application of artificial neural network to predict thermal transmittance of wooden windows. *Applied Energy*. 98. 425-432.

Buratti, C., Barelli, L., Moretti, E. 2013. Wooden windows: Sound insulation evaluation by means of artificial neural networks. *Applied Acoustics*. 74 (5). 740-745.

Dirlam, M. 2013. Stavební truhlářství: tradice z pohledu dneška. Grada. Praha. Stavitel. 112 s. ISBN: 978-80-247-4721-7.

Gandelová, L., Horáček, P., Šlezingerová, J. 2014. Nauka o dřevě. Vydavatelství Mendelovy univerzity v Brně. Brno. 250 s. ISBN: 978-80-7375-312-2.

Hájek, V. 2001. Lidová stavení: opravy a úpravy. Grada. Praha. Stavitel. 180 s. ISBN: 80-247-9054-8.

Helegda, M. 2009. Funkčnost a oblast použití otvorových výplní v závislosti na zatížení větrem. In: TZB-info: stavebnictví, úspory energií, technická zařízení budov [online]. Topinfo s.r.o. Praha.

Hollan, J., Šťastník, S. Tepelná optimalizace okenních výplní. 2008. Conference about structural materials. Brno: VUT, FAST. ISBN 978-80-214-3660-2.

- Humenčák, D. 2007. Připojovací spára otvorových výplní. In: Českéstavby.cz: portál o stavbě, zahradě a bydlení [online]. Český internet. České Budějovice.
- Kočí, I. 2000. Okna: požadavky, druhy, osazování, zasklívání, nátěry, opravy. Grada. Praha. 84 s. ISBN: 80-247-9023-8.
- Lukeš, F. 2014. Historie roubenek: Velkou část zástavby našich vesnic i menších měst tvořily v minulosti objekty postavené roubenou technologií. Ve stavení z hrubě opracovaných kmenů či klád možná bydleli i vaši prarodiče. In: Deník.cz [online].
- Malvoni, M., Baglivo, C., Congedo, P. M., Laforgia, D. 2016. CFD modeling to evaluate the thermal performances of window frames in accordance with the ISO 10077. Energy. 111. 430-438.
- Martin, K., Erkoreka, A., Flores, I., Odriozola, M., Sala, J. M. 2011. Problems in the calculation of thermal bridges in dynamic conditions. Energy and Buildings. 43 (2-3). 529-535.
- Martin, K., Escudero, C., Erkoreka, A., Flores, I., Sala, J. M. 2012. Equivalent wall method for dynamic characterisation of thermal bridges. Energy and Buildings. 55. 704-714.
- Motyková, A. 2008. Okna: správná řešení pro novostavby i rekonstrukce. Grada. Praha. 112 s. ISBN: 80-247-2674-2.
- Nešporová, K. 2017a. Roubenky: Jsou vhodné pro moderní bydlení? (tradiční vs moderní). In: Dřevostavitel: Online svět dřevostaveb [online]. NETION, s.r.o. Brno.
- Nešporová, K. 2017b. Rozměrové změny srubů a roubenek. In: Dřevostavitel: Online svět dřevostaveb [online]. NETION, s.r.o. Brno.
- Nešporová, K. 2018. Chci roubenku! Ale jakou? Dnes už je totiž z čeho vybírat. In: Dřevostavitel: Online svět dřevostaveb [online]. NETION, s.r.o. Brno.
- Novák, J. 2008. Vzduchotěsnost obvodových plášťů budov. Grada. Praha. Stavitel. 203 s. ISBN: 80-247-1953-3.
- Palková, A., Palko, M. 2014. Thermal and moisture problems of wooden windows. Advanced Materials Research. 899. 180-183.

- Pešta, J. 2013. Rekonstrukce roubených staveb. Grada. Praha. 304 s. ISBN: 978-80-247-3239-8.
- Petrtyl, Z., Šubrt, R. 2012. Moderní okna: zasklení a úspora tepla, vzduchotěsnost a průvzdušnost, výměna, montáž a reklamace. Grada. Praha. 136 s. ISBN: 978-80-247-4286-1.
- Polášek, J., Špaček, T. 2007. Stavebně truhlářská výroba: základy konstrukce a technologie. Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně. Brno. 230 s. ISBN: 978-80-7375-050-3.
- Pušár, A. 2012. Súčasný stav okených konštrukcí a predpoklady vývoja. In: Sborník přednášek odborného semináře: Dřevěná okna, dveře, schody. Mendelova univerzita v Brně. Brno. ISBN: 978-80-7375-599-7.
- Rubáš, P., Kaňka, J. 2016. Zkoušení akustických vlastností otvorových výplní v laboratoři a in situ. In: TZB-info: stavebnictví, úspory energií, technická zařízení budov [online]. Topinfo s.r.o. Praha.
- Smola, J. 2011. Stavba a užívání nízkoenergetických a pasivních domů. Grada. Praha. Stavitel. 352 s. ISBN: 978-80-247-2995-4.
- Šubrt, R., kolektiv autorů. 2011. Tepelné mosty: pro nízkoenergetické a pasivní domy, 85 prověřených a spočítaných stavebních detailů. Grada. Praha. Stavitel. 224 s. ISBN: 978-80-247-4059-1.
- Šubrt, R. 2004. Tepelné izolace. Energy Consulting. České Budějovice.
- Šubrt, R., Petrtyl, Z., Zapletal, M. 2013a. Kupujeme okna a dveře 3. část – funkční spáry oken. In: TZB-info: stavebnictví, úspory energií, technická zařízení budov [online]. Topinfo s.r.o. Praha.
- Šubrt, R., Petrtyl, Z., Škopek, M. 2013b. Odolnost proti zatékání srážkové vody – vodotěsnost. In: TZB-info: stavebnictví, úspory energií, technická zařízení budov [online]. Topinfo s.r.o. Praha.
- Van Den Bergh, S., Hart, R., Jelle, B. P., Gustavsen, A. 2013. Window spacers and edge seals in insulating glass units: A state-of-the-art review and future perspectives. Energy and Buildings. 58. 263-280.

Vaverka, J., Hirš, J., Šubrt, R. 2010. Distanční rámečky transparentních prvků a jejich vzájemná interakce se součinitelem prostupu okna  $U_w$ . In: TZB-info: stavebnictví, úspory energií, technická zařízení budov [online]. Topinfo s.r.o. Praha.

ČSN EN 844-3 (490016). Kulatina a řezivo – Terminologie – Část 3: Obecné termíny vztahující se k řezivu. 1997.

## 7 Seznam zkratek

KVH	lepené lamelové dřevo
BSH	lepené lamelové dřevo
CLT	cross laminated timber – křížem vrstvené dřevo
PUR	polyuretan
$U_w$	součinitel prostupu tepla oknem
$U_f$	součinitel prostupu tepla rámem
$U_g$	součinitel prostupu tepla zasklením
PVC	polyvinylchlorid
PVB	polyvinyl butyral