

MENDELOVA ZEMĚDĚLSKÁ A LESNICKÁ UNIVERZITA V BRNĚ  
LESNICKÁ A DŘEVAŘSKÁ FAKULTA  
Ústav lesnické a dřevařské techniky

**Hodnocení tepelně-technických vlastností  
dřevěných otvorových výplní**

Disertační práce

2007/2008

Ing. Jan Slavík

### **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem disertační práci na téma Hodnocení tepelně-technických vlastností dřevěných otvorových výplní zpracoval sám a uvedl jsem všechny použité prameny. Souhlasím, aby moje diplomová práce byla zveřejněna v souladu s § 47b Zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a uložena v knihovně Mendelovy zemědělské a lesnické univerzity v Brně, zpřístupněna ke studijním účelům ve shodě s Vyhláškou rektora MZLU o archivaci elektronické podoby závěrečných prací.

Autor kvalifikační práce se dále zavazuje, že před sepsáním licenční smlouvy o využití autorských práv díla s jinou osobou (subjektem) si vyžádá písemné stanovisko univerzity o tom, že předmětná licenční smlouva není v rozporu s oprávněnými zájmy univerzity a zavazuje se uhradit případný příspěvek na úhradu nákladů spojených se vznikem díla dle řádné kalkulace.

V Brně, dne:.....

## **Poděkování**

Rád bych poděkoval Prof. Ing. Miroslavu Rouskovi, CSc. za vedení disertační práce. Dále děkuji celému kolektivu Lesnické a dřevařské fakulty MZLU v Brně, zejména Ing. Janu Klepárníkovi i ostatním, kteří mi byli nápomocni při psaní této práce. Za neobyčejnou podporu děkuji své rodině, Tereze Cachové a Mice Hashimoto.

## **Abstrakt**

**Autor/Author:** Jan Slavík

**Název:** Hodnocení tepelně-technických vlastností dřevěných otvorových výplní

**Title:** Assessment of thermal performance of wooden windows and doors

**Abstrakt:** Práce pojednává o analýze způsobů hodnocení tepelně-technických vlastností dřevěných otvorových výplní. Jsou rozebrány běžné a alternativní způsoby hodnocení založené většinou na energetické bilanci, jako jsou energetické audity, ekonomické hodnocení a hodnocení životního cyklu. Vlastnosti způsobů hodnocení jsou kvantifikovány pomocí analytické tabulky, která je pak zpracována základními statistickými postupy a následně zpracovány SWOT analýzy za účelem identifikace metody nejvíce se blížící optimu. Vybraný postup je doplněn v identifikovaných kritických bodech tak, aby byla výsledkem komplexní v praxi použitelná metodika, která v maximální míře zohledňuje životní cyklus výrobku a jeho vliv na životní prostředí a unikátní charakter dřeva jako materiálu.

**Klíčová slova:** dřevěné otvorové výplně, okna, dveře, energetický audit, hodnocení životního cyklu

**Abstract:** The thesis concerns the analysis of various approaches to the assessment of thermal performance of wooden windows and doors. Standard and Alternative ways of assessment based on energy balance (e. g. mainly Energy Audits, Economic Assessment and Life Cycle Assessment) are examined. Qualities of assessments are quantified in an analytical sheet and consequently processed by SWOT analysis to identify the most optimal method. Weak spots of the chosen method are supplemented to create the applicable complex method of assessment, which respects the life cycle of the product, its impact to the Environment and unique nature of wood as material.

**Key words:** wooden doors and windows, Energy Audits, Life Cycle Assessment

## Seznam symbolů a zkratek

AEE	Association of Energy Engineers
ANSI	American National Standards Institute
ASHRAE	American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers
BRE	Building Research and Consultancy
BREF	Best Available Technique Reference Dokument
CF	Cash Flow
ČEA	Česká energetická agentura
ČR	Česká republika
ČSAV	Československá akademie věd
ČSN	Česká technická norma
DIN	Deutsches Institut für Normung
EA	Energetický audit
EHS	Evropské hospodářské společenství
EN	Evropská norma
ENCON	Energy Conservation
ENSI	Energy Saving International
FSC	Forest Stewardship
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
ISO	International Organization for Standardization
LCA	Life Cycle Assessment
LCC	Life Cycle Cost
MPO	Ministerstvo průmyslu a obchodu
NPV	Net Present Value
NPVQ	Net Present Value Quotient
PECA	Protocol to the Europe Agreements on Conformity Assessment and Acceptance of Industrial Products
prEN	Evropská norma k připomínkování
PUR	polyuretan
PEFC	Programme for the Endorsement of Forest Certification schemes
SBS	Sick Building Syndrome
SEN	Stupeň energetické náročnosti
TZB	Technické zařízení budov
VDI	Verein Deutscher Ingenieure

VOC	Volatile Organic Compounds	
VUT	Vysoké učení technické v Brně	
a	výška	m
A	plocha	m <sup>2</sup>
A <sub>f</sub>	plocha okenního rámu	m <sup>2</sup>
A <sub>g</sub>	plocha zasklení	m <sup>2</sup>
A <sub>r1</sub>	měrná řezná práce	J.cm <sup>-3</sup>
A <sub>v</sub>	administrativní náklady	Kč
b	Šířka (5, 8)	m
B	konstantní meziroční růst ceny měrné en. jednotky (26)	%
B	charakteristické číslo budovy (22)	
b	šířka třísky (14, 16)	mm
B <sub>t</sub>	hodnota ročního výnosu	Kč.rok <sup>-1</sup>
C	tepelný tok konvencí (2)	W
C	procentuální obsah uhlíku (17, 18)	%
c <sub>m</sub>	činitel využití slunečního záření za měsíc	
c <sub>n</sub>	činitel korigující skutečnost, že dopad slunečních paprsků na zasklení není kolmý	
C <sub>res</sub>	tepelný tok konvencí - dýchání	W
C <sub>v</sub>	celkové náklady	Kč
d	Šířka, tloušťka (12)	m
D	konstantní roční míra inflace (26)	%
d	počet otopných dnů (20)	den
D	průměr hrotnice frézovací hlavy (15)	mm
dB	decibel	
E	výdej tepla difúzí vodní páry pokožkou	W
e	činitel denní osvětlenosti (10)	
e	řezná výška (14, 16)	mm
E <sub>gm</sub>	globální sluneční záření za měsíc	kWh. měs <sup>-1</sup>
E <sub>H</sub>	Osvětlenost nezastíněné vodorovné plochy	lux
E <sub>m</sub>	Osvětlenost dané roviny v interiéru	lux
E <sub>r</sub>	spotřeba tepla při vytápění za rok	kWh.rok <sup>-1</sup>
E <sub>res</sub>	výdej tepla odpořováním vody v plicích	W

$e_v$	měrná spotřeba tepelné energie pro vytápění budovy za otopné období vztažená na obestavěný objem	$\text{kWh.m}^{-3}$
$E_v$	roční spotřeba tepla	$\text{kWh.rok}^{-1}$
$E_v$	spotřeba tepla ke krytí tep. ztrát prostupem a větráním	$\text{kWh.rok}^{-1}$
$e_{v,N}$	požadované hodnota měrná spotřeba tepla při vytápění budov	$\text{kWh.m}^{-3}$
$E_{vz}$	tepelný zisk ze vnitřních zdrojů tepla	$\text{kWh.rok}^{-1}$
$E_{zm}$	průměrný tepelný zisk zasklení za měsíc	$\text{kWh. měs}^{-1}$
$E_{zvo}$	tepelný zisk ze slunečního záření	$\text{kWh.rok}^{-1}$
$F_r$	řezná síla	N
$g$	gravitační zrychlení	$\text{m.s}^{-2}$
$h$	výška	m
$H$	procentuální obsah vodíku	%
$H_T$	Jednotková tepelná ztráta prostupem	$\text{W.K}^{-1}$
$i$	součinitel spárové průvzdušnosti	$\text{m}^3.\text{s}^{-1}.\text{m}^{-1}.\text{Pa}^{-1}$
$I$	investiční náklady	Kč
$i_{Lvin}$	součinitel spárové průvzdušnosti	$\text{m}^3.\text{s}^{-1}.\text{m}^{-1}.\text{Pa}^{-1}$
$I_o$	počáteční investice	Kč
$I_v$	investiční náklady	Kč
$K$	měrný řezný odpor	$\text{N.m}^{-2}$
$K_f$	součinitel stavu brusného prostředku a tvrdosti dřeva	
$K_{fz}$	součinitel tření brusného pásu	
kg	kilogram	
$L$	délka spáry	m
$L_{2,o}$	střední hodnota hladiny akustického tlaku v přijmací místnosti při otevřeném prvku	dB
$L_{2,z}$	střední hodnota hladiny akustického tlaku v přijmací místnosti při otevřeném prvku	dB
$L_D$	Tepelná propustnost mezi vytápěným prostorem a vnějším prostorem	$\text{W.K}^{-1}$
$l_g$	délka okraje zasklení	m
$L_v$	náklady na likvidaci	Kč
$m$	hmotnostní průtok (8)	$\text{kg.s}^{-1}$
$M$	energetický výdej (2)	W
m	metr	

M	charakteristické číslo místnosti (22)	
mm	milimetr	
n	lhůta splatnosti půjčky (26)	rok
n	Otáčky (15)	s <sup>-1</sup>
O	procentuální obsah kyslíku	%
Pa	pascal	
P <sub>br</sub>	příkon na broušení brusným pásem	kW
P <sub>r</sub>	řezný výkon	W
P <sub>t</sub>	jmenovitý tepelný výkon	MW
P <sub>v</sub>	provozní náklady	Kč
Q	konstantní roční úroková míra půjčky	%
q	měrný tlak	10 <sup>5</sup> .Pa
Q <sub>w</sub>	maximální tepelná ztráta okna	W
R	tepelný odpor	m <sup>2</sup> .K.W <sup>-1</sup>
r	diskont	
R <sub>se</sub>	tepelný odpor při přestupu tepla - vnější	m <sup>2</sup> .K.W <sup>-1</sup>
R <sub>si</sub>	tepelný odpor při přestupu tepla - vnitřní	m <sup>2</sup> .K.W <sup>-1</sup>
R <sub>v</sub>	rekonstrukce	Kč
R <sub>ξ</sub>	stupeň stavební vzduchové neprůzvučnosti	dB
s	sekunda	
S	plocha kontaktu s brusným pásem	10 <sup>-4</sup> m <sup>2</sup>
S <sub>o</sub>	průřez příváděcího otvoru	m <sup>2</sup>
S <sub>p</sub>	průřez odváděcího otvoru	m <sup>2</sup>
t	čas	s
T	prostá doba návratnosti (25)	rok
T	celková propustnost záření zasklení (24)	
t <sub>e</sub>	výpočtová teplota vnějšího vzduchu	°C
t <sub>e,vo</sub>	průměrná teplota vnějšího vzduchu za otop. období	°C
t <sub>i</sub>	výpočtová vnitřní teplota	°C
t <sub>im</sub>	průměrná vnitřní teplota za otopné období	°C
T <sub>o</sub>	střední hodnota doby dozvuku při zavřeném prvku	s
T <sub>z</sub>	střední hodnota doby dozvuku při otevřeném prvku	s
u	rychlost posuvu	m.s <sup>-1</sup>
U <sub>f</sub>	součinitel prostupu tepla rámu	W.m <sup>-2</sup> .K <sup>-1</sup>
U <sub>g</sub>	součinitel prostupu tepla zasklení	W.m <sup>-2</sup> .K <sup>-1</sup>



$u_{\max}$	maximální rychlost posuvu	$\text{m.s}^{-1}$
$U_v$	náklady na údržbu	Kč
$U_W$	součinitel prostupu tepla okna	$\text{W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$
$V$	objem	$\text{m}^3$
$V$	roční výnos (25)	$\text{Kč.rok}^{-1}$
$v$	řezná rychlost	$\text{m.s}^{-1}$
$V_1$	jednotkový objem dřeva	$\text{cm}^3.\text{s}^{-1}$
$V_e$	objem větraného vzduchu	$\text{m}^3$
$V_{\text{sp}}$	celkové množství spalín	$\text{m}^3$
$V_{\text{vz}}$	teoretický objem vzduchu potřebný pro spálení 1 kg suchého dřeva	$\text{m}^3.(\text{kg s. d.})^{-1}$
$W$	mechanická práce	W
$w$	rychlost	$\text{m.s}^{-1}$
$X$	reálná doba návratnosti	rok
$y$	hloubka kinematických nerovností posuvu	mm
$\Delta p$	tlakový rozdíl	Pa
$\Delta t$	rozdíl teplot mezi vnitřním a vnějším prostředím	K
$\varepsilon$	umenšující součinitel nesoučasnosti	
$\Theta_{\text{in}}$	teplota vnitřního prostředí	$^{\circ}\text{C}$
$\Theta_{\text{sin}}$	normová kritická povrchová vnitřní teplota	$^{\circ}\text{C}$
$\lambda$	tepelná vodivost	$\text{W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$
$\mu$	výtokový součinitel	
$\rho$	hustota	$\text{kg.m}^{-3}$
$\rho^*$	koncentrace agencie	$\text{a.m}^{-3}$
$\rho_e$	hustota vnějšího vzduchu	$\text{kg.m}^{-3}$
$\rho_i$	hustota vnitřního vzduchu	$\text{kg.m}^{-3}$
$\rho_s$	střední hustota vzduchu	$\text{kg.m}^{-3}$
$\varphi$	součinitel zahrnující vliv přírážek dle normy	
$\varphi_i$	vlhkost	%
$\chi_{1,2}$	koeficient tlakové ztráty	
$\overline{\Psi}$	intenzita agenciálního toku	$\text{a.m}^{-3}\text{s}^{-1}$
$\Psi_g$	lineární činitel prostupu tepla	$\text{W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$
$\Psi_i$	objemová intenzita vnitřního zdroje agencie	$\text{a.m}^{-3}\text{s}^{-1}$

## Obsah

1. Úvod .....	1
1.1. Cíle práce.....	1
1.2. Materiál .....	2
1.3. Metodika.....	3
2. Vnitřní prostředí budov a otvorové výplně .....	5
2.1. Definice vnitřního prostředí .....	5
2.2. Hodnocení vnitřního prostředí.....	9
2.3. Ovlivňování vnitřního prostředí pomocí otvorových výplní.....	11
2.3.1. Hodnocení dopadů tepelně-technických parametrů oken na vnitřní prostředí.....	17
2.4. Dílčí závěr .....	22
3. Vlastnosti otvorových výplní a jejich posuzování .....	23
3.1. Posuzování shody otvorových výplní.....	23
3.2. Tepelně-technické vlastnosti otvorových výplní.....	24
3.2.1. Součinitel prostupu tepla a povrchová teplota .....	25
3.2.2. Průvzdušnost .....	28
3.3. Další vlastnosti otvorových výplní.....	29
3.4. Životnost výplní otvorů .....	34
3.5. Dílčí závěr .....	35
4. Dřevěná otvorová výplň jako výrobek .....	36
4.1. Výplně otvorů.....	37
4.1.1. Definice a rozdělení výplní otvorů.....	37
4.1.2. Užívané dřevěné materiály .....	37
4.2. Konstrukce dřevěných oken, dveří a ostatních otvorových výplní .....	38
4.2.1. Konstrukce dřevěných oken .....	39
4.2.2. Konstrukce dřevěných dveří.....	42
4.2.3. Systémy zasklení .....	43
4.3. Výrobní a montážní proces dřevěné otvorové výplně.....	44
4.3.1. Produkce primární suroviny .....	44
4.3.2. Pilařská výroba .....	45
4.3.3. Sušení .....	46
4.3.4. Výroba hranolku.....	47
4.3.5. Obrábění dílů otvorových výplní .....	47
4.3.6. Povrchové úpravy.....	50

4.3.7. Instalace otvorové výplně.....	52
4.3.8. Údržba a renovace .....	53
4.4. Zneškodnění a recyklace dřevěných částí otvorové výplně .....	55
4.5. Dílčí závěr .....	59
5. Systémy hodnocení tepelně-technických vlastností otvorových výplní .....	60
5.1. Hodnocení z pohledu energetických úspor .....	61
5.1.1. Legislativní požadavky na energetické úspory .....	61
5.1.2. Hodnocení z pohledu energetické bilance.....	62
5.2. Ekonomické hodnocení .....	65
5.2.1. Používané ekonomické pojmy pro hodnocení otvorových výplní .....	65
5.2.2. Metoda LCC a její využití.....	69
5.3. Hodnocení v rámci energetických auditů .....	70
5.3.1. Metodika dle ČEA.....	71
5.3.2. Metodika dle ENSI.....	73
5.3.3. Metodika dle AEE.....	75
5.4. Dílčí závěr .....	76
6. Hodnocení životního cyklu otvorové výplně .....	78
6.1. Vznik a vývoj LCA .....	78
6.2. Princip a použití LCA.....	78
6.3. Obecný postup při provádění LCA .....	79
6.4. Dřevěné otvorové výplně a LCA.....	80
6.4.1. Stanovení cíle a rozsahu studie .....	81
6.4.2. Inventarizační analýza.....	84
6.4.3. Hodnocení negativních vlivů na životní prostředí .....	87
6.4.4. Dílčí závěr .....	90
6.5. Prezentace výsledků hodnocení životního cyklu.....	90
7. Porovnávací analýza možností hodnocení a komplexní hodnocení.....	92
7.1. Porovnání dílčích metod hodnocení .....	93
7.1.1. Popis metodiky porovnávání .....	93
7.1.2. Analýza pokrytí dílčích oblastí a konzistence.....	97
7.1.4. SWOT analýza .....	102
7.2. Komplexní hodnocení .....	104
7.2.1. Požadavky na komplexní hodnocení.....	104
7.2.2. Popis komplexního hodnocení .....	105
7.2.3. Použití komplexního hodnocení.....	109

8. Závěr.....	110
9. Summary .....	113
10. Literatura .....	114
11. Přílohy .....	128
Příloha 1 - Stechiometrie spalování dřevěného odpadu .....	128
Příloha 2 – Stavebně-truhlářská výroba v ČR (MPO 2003, 2004, 2005).....	131
Příloha 3 – Parametry a složení hlavních prvků vybraných paliv .....	132
Příloha 4 – Těžba dřeva a dodávky dříví (ČSÚ, 2006) .....	133
Příloha 5 – Ceny surového dříví.....	134
Příloha 6 – Orientační ceny řeziva .....	135
Příloha 7 – Emise z lesnictví .....	136
Příloha 8 – Emise z pilařské výroby.....	139
Příloha 9 – Emise ze sušení.....	141
Příloha 10 – Emise z výroby hranolku .....	142
Příloha 11 – Emise ze zněškodnění / využití.....	143
Příloha 12 – Emise z tepelných úspor .....	144
Příloha 13 – Emise z povrchových úprav.....	147
Příloha 14 – Energetická náročnost a emise z obrábění.....	148
Příloha 15 – Emise z přidružených činností.....	149
Příloha 16 – Uhlíkové a energetické koeficienty stavebních materiálů .....	151
Příloha 17 – Uhlíkové a energetické koeficienty stavebních materiálů (Buchanan <i>et Honey</i> , 1993).....	152
Příloha 18 – Indikátory dopadů na životní prostředí (Jensen <i>et al.</i> , 2003).....	158

## **1. Úvod**

Dřevo je nejtradičnější materiál pro výrobu otvorových výplní a také nejstarší materiál užívaným ve stavebnictví vůbec. Přestože dřevo je po příslušné úpravě či zpracování schopno naplnit veškeré požadavky, které jsou v současnosti kladeny na stavební materiál, netěší se u nás a v Evropě takové pozornosti, jakou by si po právu zasloužovalo. V oblasti otvorových výplní a stavebně truhlářské výroby je sice situace znatelně lepší než v stavebním sektoru jako celku, přesto je zde stále značný prostor pro expanzi. Dřevo bylo v nedávné minulosti vytlačeno ze svého dominantního postavení alternativními materiály. Tato situace je obdobná po celé Evropě. Ještě v šedesátých letech dřevo představovalo 95% všech otvorových výplní (Thompson, 2005).

Většina investorů nerozlišuje mezi jednotlivými materiály a legislativní a normativní nároky jsou definovány jednotně. Zejména tepelně-technické vlastnosti, které hrají klíčovou úlohu ve volbě otvorové výplně, ovlivňují v zásadní míře vnitřní prostředí budov a ekonomické parametry provozu. Čím jsou potom dřevěné otvorové výplně specifické a jak jejich vlastnosti interpretovat, aby se zdůraznila jedinečnost dřeva jako materiálu? Jaké jsou praktické dopady užití dřeva a dopady na všechny navazující parametry? Jaké z těchto parametrů jsou nejvhodnější a které nejdůležitější?

V současné době a snad ještě více v budoucnu se rýsuje možnost, jak interpretovat unikátnost výchozího materiálu. Vzrůstající zájem o problematiku životního prostředí vedla k vytvoření řady nástrojů, které umožňují hodnotit tepelně-technické vlastnosti z nového úhlu pohledu a v širších souvislostech. Jedná se zejména o různé možnosti jak analyzovat životní cyklus výrobku či jinak interpretovat jeho environmentální dopady.

### **1.1. Cíle práce**

Práce je zaměřena na porovnání různých metod hodnocení otvorových výplní ve vztahu k jejich tepelně-technickým vlastnostem, které analyzovány ve vztahu k vlastnostem dřeva jako materiálu v návaznosti na pohodu vnitřního prostředí budov. Práce zahrnuje problematiku energetickou – metody výpočtů dosažitelných úspor energií a část ekonomickou – hodnocení těchto úspor ve vztahu k rozhodovacím procesům investora i dodavatele. Problematika dřevařské výroby je do práce zahrnuta díky rozšíření běžně užívané oblasti hodnocení o environmentální dopady technologií ve výrobě a konečném zneškodnění, tedy zahrnutí vymezených externalit výroby do hodnocení výrobku. Podle vymezených kritérií jsou porovnávány různé metody a je hodnocena jejich vhodnost pro podmínky České republiky.

Cílem práce je návrh provázaného systému hodnocení aplikovatelného v praxi, který zahrnuje parametry výroby, provozu a konečného zneškodnění otvorových výplní a vzájemné vztahy mezi nimi. Návrh vychází z předchozí analýzy systémů hodnocení a detailního rozboru vlivů tepelně-technických vlastností na funkci oken, dveří a dalších otvorových výplní.

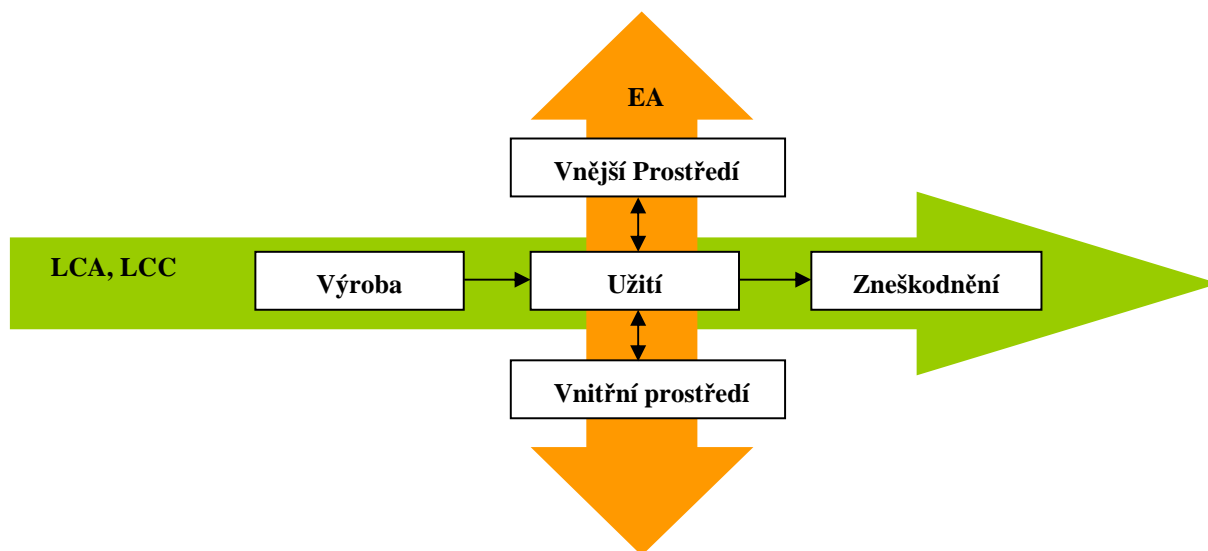
Praktická využitelnost práce je dána začleněním do rámce energetického auditu a respektováním legislativních požadavků na energetický audit. Komplexní systém hodnocení by neměl být v oblasti vstupních dat významně náročnější než podrobný energetický audit a jeho výsledky umožní zpřesnit rozhodovací proces auditora (případně investora) při výběru energeticky úsporných opatření, v tomto případě aplikaci otvorových výplní.

## 1.2. Materiál

Zadání práce je úzce napojeno na problematiku tepelných úspor, která se v současné době těší značné pozornosti. Přesto objem literatury věnovaný přímo tepelně-technickým vlastnostem výplňových konstrukcí není v těchto mezích dominantní. Výplňové konstrukce se přesto podílejí významnou měrou na tvorbě vnitřního prostředí a to zejména pokud se týče osvětlení a tepelné pohody (zahrnuje jak prostup tepla tak infiltrace). Je však důležité si uvědomit, že tepelně-technické vlastnosti jakékoliv konstrukce nejsou cílem, nýbrž pouze prostředkem k dosažení optimálních podmínek vnitřního prostředí. Měřítkem efektivity jsou pak ekonomické a environmentální hodnocení založené na energetické bilanci celého objektu.

Základem pro jakékoliv hodnocení otvorových výplní jsou podrobná znalost nároků na vnitřní prostředí a údaje zachycující průběh venkovních teplot ve formě využitelné pro použitou výpočtovou metodiku (Jokl, 1993 a Cihlář *et* Gabauer, 1995). Požadavky jsou pokryty odpovídajícími normami (ČSN 73 0540 *Tepelná ochrana budov*), ale často bez zřetelných souvislostí a návazností. Většina aktuální literatury (Řehánek, 2002 a Hájek, 2002) již obsahuje i výpočtové vztahy vztahující se k hygienickým parametrům prostředí. Zmíněné parametry jsou v práci diskutovány, pozornost je zaměřena na jejich vztah k navazujícím výpočtům, tepelně-technickým vlastnostem a možnostem provozu, zejména větrání a aerací.

Tepelně-technické vlastnosti otvorových výplní vyplývají jednak z konstrukce a také použitého materiálu a technologie. Ty mají podstatný vliv také na celkovou bilanci životního cyklu. Pro studii je důležitý přehled užívaných konstrukcí (Hájek, 2002 a Puškár, 2003) s vyjádřením jejich významu co do podílu na trhu, užitých výrobních technologií atd. Energetické parametry jsou hodnoceny z pohledu času a předpokládané životnosti. V případě nutnosti získání dalších údajů bude použito výsledku softwarové simulace.



Obr. 1 - schéma komplexního hodnocení

Ve vztahu ekonomických parametrů k tepelně-technickým vlastnostem jakékoliv části stavby je opěrným bodem energetický audit (Bouška, 1997 a Dahlsveed, 2003). Tento způsob hodnocení je zadán zákonem č. 406/2000 Sb., *o hospodaření energií* a souvisejícími prováděcími předpisy. Pro ekonomickou oblast je nejdůležitější vyhláška č. 213/2001 Sb., která v příloze č. 7 přesně stanovuje vztahy pro kalkulaci základních ekonomických

charakteristik (prostá a reálná návratnost, vnitřní výnosové procento a čistá současná hodnota). Proto musí jakýkoliv systém hodnocení konstruován tak, aby v něm byly tyto hodnoty obsaženy a byl s auditem kompatibilní.

Důvodem, proč bude i pro tuto práci použit jako jeden ze základních kamenů energetický audit, je jeho návaznost na legislativu, stejně tak jako porovnatelnost výstupů z dílčích hodnocení. Audit jako takový však může sloužit jako základ práce pouze částečně, protože s nároku na audit jasně vyplývá (Bouška, 1997 a Dahlsveen, 2003), že se hodnotí vždy komplex všech energeticko úsporných opatření. Každé jednotlivé hodnocení, v našem případě dřevěných výplňových konstrukcí, může být tedy hodnoceno metodikou energetického auditu, ale nelze v žádném případě hovořit o energetickém auditu konstrukcí samotných, snad jen s výjimkou metodiky Association of Energy Engineers (AEE), jak ji popisují Thumann *et* Younger (2003).

Práce se zabývá, na systémové úrovni, vzájemnou provázaností mezi hodnocením tepelně-technických vlastností a různými alternativními hodnoceními. Zejména pak možnostmi podrobného hodnocení otvorových výplní po dobu jejich životního cyklu. V této souvislosti je zvažována aplikace metody Life Cycle Costing – LCC (Thumann *et* Younger, 2003 a Fuller *et* Petersen, 1995) a Life Cycle Assessment – LCA (ČSN EN ISO 14 040 – 49, Remtová, 2003) v podmínkách ČR a to zejména v závislosti na v místních podmínkách běžně dostupná vstupní data.

Protože úkolem každého ekonomického hodnocení je ve velké míře také zjištění energetické náročnosti (a tím nepřímo dopadů na životní prostředí), je ekonomická problematika rozšířena o část ekonomicko environmentální – externality (Holman, 2000). Rozsah externalit je stanoven ve značně větším rozsahu než v dostupné literatuře (ČEA, 2004). Snahou je v rámci práce popsat kvalitativní stránku energetických úspor a začlenit je do ekonomického hodnocení se zřetelným vymezením návazností. Podstatou je rozšíření rámce běžně zpracovávaného hodnocení environmentálních dopadů dle odpovídajících pramenů (Heijungs *et al.*, 1996, Jansen *et* Hoffman, 1997 a Remtová, 2003, ČSN ISO EN 14040-49). Práce uvažuje nejen dobu instalace otvorové výplně, ale celý životní cyklus (včetně výroby a zneškodnění) a rámcově navazuje na výsledky v této oblasti již publikované Chevalierem (2002), Asifem *et al.* (1998), Weirem *et* Muneerem (1996) a Thompsonem (2005). Je pravděpodobné, že při začlenění této metodiky do ekonomického hodnocení je možné určit poměr energie uspořené a vydané na úsporná opatření se zvláštním zohledněním problematiky životního prostředí.

Výzkum se dotýká několika oblastí. Jeho těžiště leží v aplikaci environmentálních metod hodnocení, jako je LCA, pro posouzení vlastností dřevařských výrobků se značným přesahem do oblasti vnitřního prostředí budov, ekonomického hodnocení a energetické bilance. V rámci zpracovávání inventarizační analýzy je zkoumána výroba otvorových výplní a postupy při jejich zneškodnění. Zjištěné parametry životního cyklu jsou začleněny do celkového hodnocení. Celkové hodnocení zahrnuje hodnocení z pohledu uživatele, tedy založené na energetické bilanci výplně se vztahem k objektu (oblast tepelně-technická, energeticko ekonomická – energetický audit dle národní legislativy, ENCON a AEE) a z pohledu životního prostředí (LCA, LCC).

### 1.3. Metodika

Většina práce se zabývá problémem na systémové úrovni. Je maximálně využito stávajících dat dostupných v literatuře, která jsou v případě nutnosti doplněny údaji výrobců. V práci jsou použita data s různých zahraničních studií nezávislých organizací, oborových sdružení, firem, národních statistik, Evropské komise, Organizace spojených národů a mnoha

dalších. Jednotlivé problémy jsou konzultovány s odborníky a nezanedbatelná část závěrů se opírá o vlastní výpočty. Jednotlivé dílčí použité metodiky jsou popsány v odpovídajících kapitolách.



## **2. Vnitřní prostředí budov a otvorové výplně**

Jednou z hlavních charakteristik člověka je jeho úsilí upravovat si své okolí podle svých potřeb. V průběhu vývoje dospěl do fáze, kdy se většinu svého života pohybuje v uměle vytvořeném prostředí – uvnitř budov. Člověk však většinu své existence jako živočišný druh strávil mimo budovy a byl plně adaptován na zcela přírodní podmínky (Kotulán, 2003). Tyto dvě odporující si okolnosti ústí ve vysoké nároky spojené s problematikou vnitřního prostředí budov, jeho tvorby a regulace. Vzhledem k době, kterou lidé tráví uvnitř budov, je jejich vnitřní prostředí jedním z nejdůležitějších faktorů ovlivňujících jeho zdraví a proto má mimořádnou důležitost.

Roulet (2001) jednoznačně určuje funkci budovy jako ochranu jejích obyvatel před nepříznivým vlivem venkovního prostředí bez toho, aby uvnitř budovy nastaly podmínky nepohody. Z toho vyplývá, že tvorba příznivého vnitřního prostředí je účelem a funkcí každé stavební konstrukce určené k obývání a hodnocení vnitřního prostředí není pouze způsobem, jak zajistit komfort obyvatelům či optimální podmínky provozované technologií, ale hodnocením funkčnosti budovy jako celku.

Ekonomické dopady, které vnitřní prostředí prokazatelně ovlivňuje, popsal Jokl (1993) jako produktivitu a bezpečnost práce, nemocnost, fluktuaci a životnost výrobních fondů. Procentuální množství lidí, kterým může vnitřní prostředí významně ovlivňovat zdravotní stav, uvádí 30%.

V posledních desetiletích jsou nežádoucí důsledky nedokonalé tvorby vnitřního prostředí označovány jednotným termínem syndrom nemocných budov - Sick Building Syndrome (Kotulán, 2002, Jokl, 1993). Zejména v případech, kdy nejde jednoznačně určit konkrétní složku mikroklimatu působící subjektivní pocit diskomfortu. Jako nejčastější příčiny se uvádí nedostatečné větrání, špatně regulované vytápění a nevhodné osvětlení, případně absence denního světla (Lajčková, 2004 a Roulet, 2001), tedy oblasti, kde byli v moderních budovách tradiční funkce otvorových výplní nahrazeny technikou prostředí, zejména klimatizací.

Tato kapitola se zabývá definováním vnitřního prostředí, jeho složek, vztahům mezi nimi, jejich působením na člověka a zejména způsoby, jak ovlivňovat parametry interního mikroklimatu pomocí otvorových výplní.

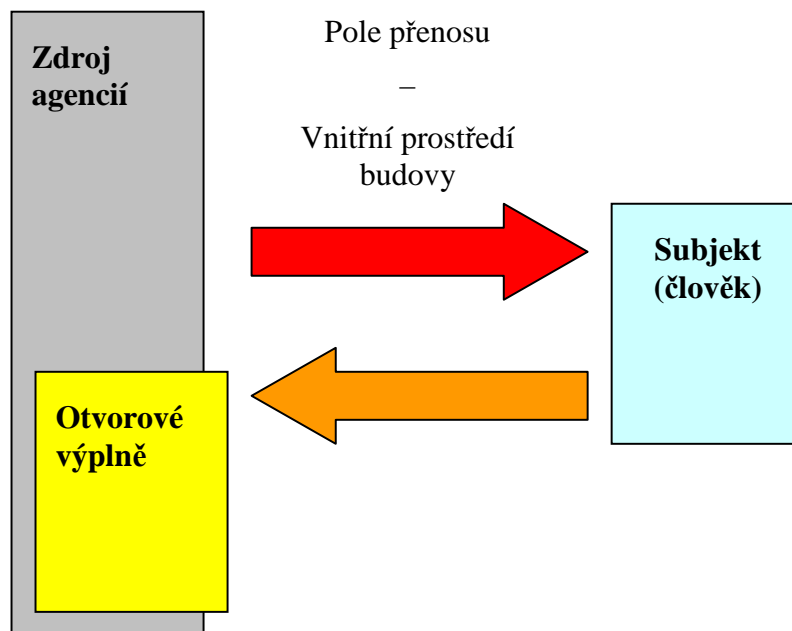
### **2.1. Definice vnitřního prostředí**

Vnitřní prostředí lze definovat jako omezenou část vnitřního prostředí, která je oddělena od venkovního prostoru. Míru tohoto oddělení lze ve většině případů regulovat, k čemuž lze využít soustav technického zařízení budov či otvorových výplní.

Jokl (1993) uvádí jako vnitřní prostředí životní prostředí ve stavbách, tj. interiéru budov. Životní prostředí samotné je potom fyzická realita obklopující člověka, se kterou je ve vzájemném působení a která neustále spoluvytváří stav jeho organismu. Komplexní systém životního prostředí se sestává ze subjektu – člověka, zdroje agencií, což jsou zdroje působících látek hmotnostního a energetického charakteru a pole přenosu mezi nimi. Při hodnocení vnitřního prostředí a jednotlivých složek mikroklimatu se primárně hodnotí pole přenosu a případná nápravná opatření se pak vztahují ke stavebním konstrukcím, jako jsou například otvorové výplně, a technice prostředí, které představují zdroje agencií (*Obr. 2*). Matematicky je lze modelovat pomocí systému diferenciálních rovnic, které interpretuje komplexu agencií jako kontinuum. Matematický popis pomocí diferenciálních rovnic, jak je

uvádí Jokl (1993), je analogický známým vztahům pro popis tepelného pole, jak je uvádí Hloušek *et al.* (2000).

$$\operatorname{div} \bar{\Psi} - \Psi_i = -\frac{d\rho^*}{dt} \quad (1)$$



Obr. 2 - schéma přenosu agencí

Charakteristika vnitřního prostředí nebo také interního mikroklimatu jako celku je velmi obtížná. V rámci exaktního hodnocení je proto vhodné rozdělit jej do několika složek. Z technického pohledu je lze rozdělit takto:

- Složky, které můžeme aktivně ovlivnit pomocí otvorových výplní a technického zařízení budov.
- Složky, které lze ovlivnit konstrukcí budovy.
- Složky ovlivnitelné provozem a vybavením budov.

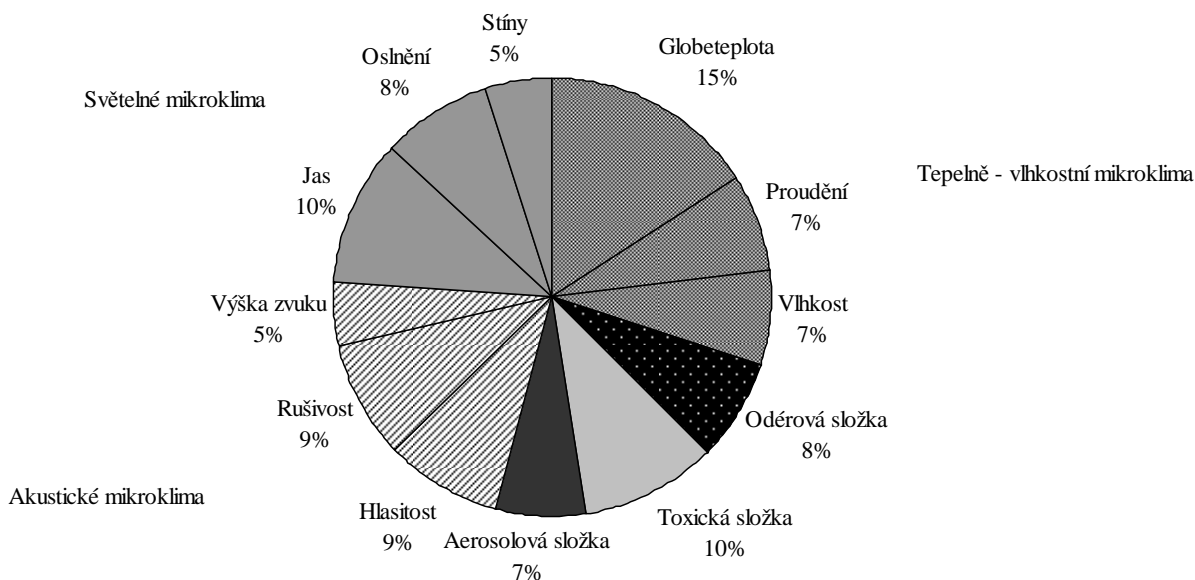
Dalším úhlem pohledu je uspořádat složky vnitřního mikroklimatu tak, aby bylo možné je popsat běžnými fyzikálními veličinami (Jokl, 1993):

- Tepelně vlhkostní mikroklima (teplota a vlhkost vzduchu).
- Oděrové mikroklima (měříme koncentraci plynových látek).
- Aerosolové mikroklima (koncentrace rozptýlených pevných a kapalných škodlivin).
- Toxické mikroklima (koncentrace toxických plynů).
- Mikrobiální mikroklima (množství mikroorganismů ve vzduchu).
- Elektrostatické mikroklima (statický elektrický náboj).

- Elektroiontové mikroklima (koncentrace iontů).
- Elektromagnetické mikroklima (elektromagnetické pole v prostoru).
- Akustické mikroklima (hladina akustického tlaku a výkonu).
- Psychické mikroklima (specifické psychické účinky některých složek mikroklimatu).
- Silomagnetické mikroklima (vytvářeno statickým magnetickým polem).
- Geomagnetické mikroklima (anomálie magnetického pole země).

Prolínání jednotlivých kategorií je u druhého rozdělení zcela zřejmé. Zejména pak vztah tvorby a ovlivňování teplotně vlhkostního a odérového, aerosolového, toxického a mikrobiálního mikroklimatu. Důležitost komplexního přístupu je proto zcela bezpodmínečnou nutností a při návrhu či úpravách budov nebo jejich částí se nelze spoléhat pouze na normy a předpisy, které řeší jednotlivé problémy izolovaně. Problematika vnitřního prostředí budov je v technické literatuře řešena zejména v návaznosti na vytápění a větrání (Řehánek, 2002; Cihlář *et* Gabauer, 1995; Cihlář 1995), neprůzvučnost stavebních konstrukcí (Vaňková, 1995) či osvětlení (Bystřický *et* Kaňka, 1999). Tento pohled na problém však nelze považovat za úplně nevhodný, protože většinu složek mikroklimatu lze aktivně ovlivňovat zejména pomocí větrání, podle Rohlese *et al.* (1989) to představuje až 40% celkového vlivu prostředí na člověka (Obr. 2).

Vliv některých složek mikroklimatu na celkovou úroveň prostředí



Obr. 3 - vliv složek mikroklimatu na celkové prostředí

Tepelně-vlhkostní mikroklima je tvořeno tepelnými a vlhkostními toky a lze jej, zejména z pohledu technické praxe, považovat za klíčové. Je také nejkomplexněji zpracováno v návaznosti na techniku prostředí, vlastnosti stavebních konstrukcí i samotných otvorových výplní. Klíčovým pojmem je tzv. tepelná pohoda (Mathausarová, 2005). Jedná se o pojem,

kde se setkávají legislativní a jiné požadavky na vnitřní prostředí, nároky na stavební konstrukce a tepelná rovnováha lidského těla.

Dalším teplotním faktorem je rozložení teploty vzduchu v teplotní gradient a rychlost proudění vzduchu. Rychlost proudění by neměla být za běžných podmínek vyšší než  $0,1 \text{ ms}^{-1}$ , v případě značné tělesné námahy pak  $0,3 \text{ ms}^{-1}$  (Rubin, 2005). Hlavním důvodem tepelné nepohody je kromě nenaplnění základních požadavků také nerovnoměrnost tepelně vlhkostní složky v prostoru a čase (Jokl, 1993).

Oděrové mikroklima popisuje množství složek v ovzduší, které jsou vnímané jako pachy. Jedná se o anorganické a organické látky, jako jsou například oxidy dusíku, síry, amoniak, chlór a řada dalších. V případě, že se ve vnitřním prostředí budov nenachází specifická oděrová složka, se za nejdůležitější ukazatel považuje koncentrace  $\text{CO}_2$  (Rubin, 2005). Důležitost znalostí oděrového mikroklimatu spočívá v tom, že se od jeho kritérií odvíjí požadavky na větrání, konkrétně na množství přivedeného venkovního vzduchu. Problematika větrání dále zasahuje do problematiky toxického mikroklimatu, které popisuje toky toxických látek v interiéru, aerosolového mikroklimatu, které popisuje mimo jiné chování prachu. Jako řídicí požadavek na větrání se považuje tzv. Pettenkoferovo kritérium (Rubin, 2005 a Jokl, 1993), které stanovuje nutné množství vzduchu na osobu a vychází z koncentrace oxidu uhličitého jako ukazatele oděrového diskomfortu.

Mikrobiální mikroklima, které se zabývá plísněmi, bakteriemi a jejich sporami v ovzduší úzce navazuje na problematiku tepelně vlhkostními parametry, které multiplikuje možnosti výskytu mikroorganismů, stejně jako aerosolové, kde působí prach jako nosič mikroorganismů.

Většina magnetických a elektrických polí nesouvisí s tématem práce a nelze je jakýmkoliv způsobem ovlivnit pomocí otvorových výplní. Výjimku tvoří elektroiontové mikroklima, které lze ovlivňovat pozitivně pomocí přirozeného větrání, z důvodu negativního vlivu klimatizačních zařízení na koncentraci jak záporných tak kladných iontů (Richter *et* Graber, 1978). Zejména nízké koncentrace negativních iontů jsou považovány za nežádoucí (Jokl, 1993).

Akustické mikroklima je složka životního prostředí tvořená zvukovými toky v ovzduší, které exponují subjekt. Zvukem se rozumí mechanické vlnění vzniklé elastickým kmitáním částic pružného prostředí (Vaňková, 1995). Hlukem se rozumí každý nežádoucí zvuk. Akustické toky působí na člověka akustickým tlakem a frekvencí. V praxi se však stanovuje tzv. hladina akustického tlaku vyjádřená v decibelech jako logaritmovaná veličina zjištěných hodnot tlaku. Hluk působí exponovanému subjektu na nervový systém až akustické trauma v závislosti na jeho intenzitě (Kotulán, 2003).

Psychické mikroklima je výsledkem účinků složek mikroklimatu na duševní stav člověka. Psychické účinky mohou mít všechny složky mikroklimatu, zejména se uvádí tepelně vlhkostní, oděrové a další. Jako hlavní činitel je také uváděn pohyb vzduchu a barevnost prostoru (Jokl, 1993).

Světelné mikroklima popisuje optickou situaci prostředí. Pro optimální funkci zraku se musí zajistit dostatečná intenzita osvětlení, jas, kontrast, poměr jasů a jejich detailů, rozložení jasů a barva světla (Příbáňová *et* Lájčíková, 2002). Otvorové výplně zajišťují denní osvětlení, které je pro lidský organismus fyziologickou a psychologickou potřebou, a je nezbytností zejména pro obytné a dlouhodobě obývané prostory (Bystřický *et* Kaňka, 1999). Sluneční záření ovlivňuje základní biologické pochody v lidském organismu, tvorbu hormonů, stav imunitního systému a nervové soustavy. Předpisy a normy jsou koncipovány tak, aby zajistily dostatečnou dobu přímého slunečního záření i difúzního záření oblohy (Puškár, 2003).

Z pohledu tepelné pohody je však důležité zabránit nadměrným tepelným ziskům ze slunečního záření.

## 2.2. Hodnocení vnitřního prostředí

Při hodnocení vnitřního prostředí se postupuje pomocí aplikace teorie životního prostředí. Výsledkem bývá udání jakosti vnitřního nebo také pracovního prostředí. Jokl (1993) dělí hodnocení na subjektivní, objektivní a předpisové.

Hlavním důvodem hodnocení je kontrola úspěšnosti v zajišťování optimálních podmínek pro subjekt – člověka. Toho se dosahuje měřením přenosového pole i zdroje agencií, které ovlivňují vnitřní mikroklima.

První způsob hodnocení, subjektivní, někdy také označován jako hodnocení sensorické, vychází z pocitů subjektu – člověka. Je založeno na celkovém vjemu prostředí, podmíněné smyslovými prožitky a ovlivněné psychikou jedince. Toto hodnocení je důležitým způsobem, jak hodnotit celkovou úspěšnost tvorby pohody prostředí. ASHRAE dokonce definovalo pohodu prostředí jako stav, kdy je 80% uživatelů spokojeno se stavem prostředí (ANSI/ASHRAE Standard 55-1981). Pro technickou praxi má však omezenou použitelnost. Hlavním důvodem je často obtížná identifikace konkrétního zdroje nepohody. Pro některé složky mikroklimatu, například oděrovou, je však možným způsobem hodnocení (Jokl, 1993). Samotné hodnocení probíhá v rámci pětistupňové stupnice, která sahá od pohody po značný diskomfort.

Základem pro objektivní hodnocení je splnění známých nároků a odezvy subjektu na základě měření fyzikálních veličin. Rozhodujícím kritériem však zůstává zdraví člověka, které definuje Kotulán (2003) jako stav, v němž organismus ve svém specifickém prostředí přiměřenými a pohotovými adaptačními pochody udržuje úroveň a průběh svých funkcí v normálním rozmezí. Při objektivním hodnocení, který hodnotí primárně tok agencií směrem do organismu, jak je znázorněno na schématu (*Obr. 2*).

Za optimální se považuje pokud oba způsoby korespondují. Subjektivní hodnocení nelze užívat obecně a prioritně v důsledku možnosti snížené sensitivity jedince na některé zdraví škodlivé agencie.

Normové hodnocení vychází ze statisticky zpracovaných charakteristik člověka, empirických poznatků o vnitřním prostředí a známých fyzikálních závislostí mezi stavebními konstrukcemi, vnitřním prostředím a člověkem. Vychází se z objektivního hodnocení a, v případě nedostatku podkladů, z subjektivního hodnocení. V současnosti hodnocení v rámci České republiky upravují tři zákony a několik dalších legislativních předpisů. Jedná se konkrétně o:

- Zákon č. 65/1965 Sb., *zákoník práce* ve znění pozdějších předpisů<sup>1</sup>
- Zákon č. 20/1966 Sb., *o zdraví lidu* ve znění pozdějších předpisů
- Zákon č. 50/1976 Sb., *stavební zákon*<sup>2</sup>

---

<sup>1</sup> k 1. 1. 2007 zrušen zákonem č. 262/2006 Sb., *zákoník práce*. Změna nemá významný vliv na závěry práce.

<sup>2</sup> k 1. 1. 2007 zrušen zákonem č. 183/2006 Sb., *stavební zákon*. Změna nemá významný vliv na závěry práce.

- Nařízení vlády č. 178/2001 Sb., *kterým se stanoví podmínky ochrany zdraví při práci před některými riziky plynoucími z pracovních podmínek a požadavky na pracovní prostředí a pracoviště* ve znění pozdějších předpisů
- Nařízení vlády č. 148/2006 Sb., *o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací*
- Vyhláška č. 137/2004 Sb., *o hygienických požadavcích na stravovací služby a o zásadách osobní a provozní hygieny při činnostech epidemiologicky závažných*
- Vyhláška č. 135/2004 Sb., *kterou se stanoví hygienické požadavky na koupaliště, sauny a hygienické limity písku v pískovištích venkovních hracích ploch*
- Vyhláška č. 410/2005 Sb., *o hygienických požadavcích na prostory a provoz zařízení a provozoven pro výchovu a vzdělávání dětí a mladistvých*
- Vyhláška č. 6/2003 Sb., *kterou se stanoví hygienické limity chemických, fyzikálních a biologických ukazatelů pro vnitřní prostředí pobytových místností některých staveb*

Zákony určují obecné principy a nároky a jejich prováděcí vyhlášky vymezují konkrétní požadavky pro stanovené typy vnitřních prostor. Pro byty a bytové domy však závazné požadavky těmito předpisy stanoveny nejsou. V tom případě se doporučuje vycházet z doporučení existujících českých či zahraničních norem (Mathauserová, 2005), případně norem pro pracovní prostředí – vyhlášky č. 523/2002 Sb. Předpokládá se třída práce I - velmi lehká (Jokl, 1999). Tyto předpisy stanovují požadavky na většinu složek mikroklimatu. Největší důraz je však kladen na tepelné mikroklima a výměnu vzduchu.

Mathauserová (2005) uvádí za základní parametry pro stanovení a hodnocení mikroklimatických parametrů pro projektanty a odpovědné pracovníky orgánů ochrany veřejného zdraví teplotu, rychlost proudění vzduchu a vlhkost vzduchu, což odpovídá běžné technické praxi.

Za teplotu vnitřního prostředí se považuje jednak teplota vzduchu (vyhláška č. 108/2001 Sb., č. 135/2004 Sb., č. 137/2004 Sb. a další) kulového teploměru, která zahrnuje vliv současného působení teploty vzduchu, teploty okolních ploch a rychlosti proudění vzduchu (vyhláška č. 6/2003 Sb., vyhláška č. 137/2004 Sb. a nařízení vlády č. 178/2001 Sb.) či vypočtená operativní teplota, která představuje rovnoměrnou teplotu uzavřené černé plochy, uvnitř které by člověk sdílel sáláním a prouděním stejně tepla jako v prostředí skutečném. Závazný postup výpočtu je stanoven v metodickém návodu hlavního hygienika „*Měření mikroklimatických parametrů pracovního prostředí a vnitřního prostředí staveb*“. Operativní teplota se užívá pro hodnocení vnitřního mikroklimatu dle nařízení vlády č. 178/2001 Sb. Nejednotnost udávaných parametrů je určitou komplikací při porovnávání zjištěných hodnot vnitřního mikroklimatu.

Požadavky na vnitřní prostředí jsou díky kodifikaci v legislativě, obdobně jako normy, na které se v některých případech odkazují, závazné. To umožňuje i z právního hlediska se jednoznačně vyjádřit k případům diskonfortu v interiéru budov (Jokl, 99). Hlavními objekty hodnocení jsou pracoviště, školská, stravovací a speciální zařízení. Hodnocení může však probíhat i v návaznosti na tepelně úsporná opatření, zejména v rámci energetického auditu. V případě odborné studie, což je případ této práce, lze hodnotit i možný dopad konkrétního stavebního prvku nebo charakteru budovy obecně na vnitřní mikroklima a člověka.

Přestože legislativní a normativní pokrytí všech složek mikroklimatu není rovnoměrné, lze říci, že české předpisy jako celek uspokojivě zajišťují kontrolu vnitřního prostředí.

V konkrétním porovnání se zahraničními předpisy provedl Jokl (1999), zejména v oblasti tepelně vlhkostního mikroklimatu. Z těchto důvodů se při hodnocení možných dopadů vlastností otvorových výplní na vnitřní prostředí budov vychází z platných rovnic a parametrů, jak jsou popsány v normách, legislativě a vybrané literatuře (Jokl, 1993, Řehánek 2002, Vaňková, 1995, Cihlář, 1998, Cihlář *et* Gabauer 1995).

Výrazný vliv vnitřního prostředí na člověka vede k nutnosti jej sledovat, hodnotit a regulovat. Množství předpisů, nařízení a norem se liší dle prostředí a činnosti v prostředí vykonávané. Z pohledu legislativy se člení na prostředí pracovní, vnitřní prostředí pobytových místností a ostatní prostory, které jsou upraveny zvláštním předpisem. To v praxi znamená zejména koupaliště, sauny, stravovací a školní zařízení. Jen část problematiky je ale pokryta legislativou, ale v případě nutnosti lze užít pro hodnocení i jiné podklady, jako jsou například normy ČSN, ISO, EN, DIN nebo VDI (Mathauserová, 2005).

### 2.3. Ovlivňování vnitřního prostředí pomocí otvorových výplní

Otvorové výplně se zásadním způsobem podílí na tvorbě vnitřního prostředí. Zprostředkovávají kontakt s okolím a to nejen ve významu optickém a psychologickém, jak udává Jokl (1993), ale i z pohledu klimatických podmínek. Z poměrně omezeného pohledu otvorových výplní je nejdůležitější problematika tepelné pohody, větrání, osvětlení a akustických poměrů vnitřního prostředí, které můžeme ovlivňovat pomocí jejich vlastností a parametrů. Otvorové výplně tedy regulují parametry vnějšího prostředí tak, aby zajistili optimální prostředí vnitřní.

Při hodnocení vnitřního prostředí, zejména pokud jde o vliv otvorových výplní, jak bylo popsáno v předchozím odstavci, je důležitá znalost parametrů vnějšího prostředí. Tato data lze pak využít při dimenzování jejich vlastností tak, aby byli zajištěny podmínky optimální pohody vnitřního prostředí. Venkovní výpočtová teplota je součástí většiny kritériálních veličin sloužících pro navrhování a hodnocení tepelně technických vlastností stavebních konstrukcí a budov (Řehánek, 2000). Počátkem minulého století se užívala jako nejnižší výpočtová teplota  $-20^{\circ}$  až  $-25^{\circ}\text{C}$  (Řehánek, 2000). Uvedené hodnoty se používali primárně pro topenářské výpočty. Od šedesátých let po současnost platí pro naše území tři základní teploty  $-12^{\circ}$ ,  $-15^{\circ}$  a  $-18^{\circ}\text{C}$ , předepsané normou ČSN 06 0210. Hodnoty však vychází z schopnosti obvodových konstrukcí tlumit výkyvy teplot. Předepsaný minimální teplotní útlum je však nespílitelný u běžných okenních konstrukcí a ostatních výplní otvorů. Proto by se měla počítat případná tepelná ztráta okny s ohledem na nejnižší teplotu venkovního vzduchu, jako například minimální denní teplota. V žádném případě však nepřichází v úvahu útlum pětidenních výkyvů jako u běžných hodnot (Řehánek, 2000). Problém se řeší v rámci normovaného výpočtu 15% přírážkou.

Tepelná pohoda je zavedený pojem určující vztah parametrů vnitřního prostředí k člověku a jeho aktivitám. Tepelná pohoda nastává v takovém prostředí, kdy je člověku odjímán jeho energetický výdej aniž by organismus musel zapojovat fyziologické chladicí mechanismy. Takovými mechanismy jsou například pocení při nadměrném teple nebo omezení průtoku krve periferními částmi těla a svalový třes při podchlazení (Kotulán, 2003). Oba tyto stavy jsou velmi nežádoucí. Teplota ale není jediným řídicím faktorem, značnou důležitost má také vlhkost vzduchu, která má přímý vliv na odpařování potu (Mathauserová, 2005). Produkce metabolického tepla při základních metabolických pochodech je  $58 \text{ W.m}^{-2}$  při ploše dospělého člověka  $1,8 \text{ m}^2$ . Při kancelářské práci se pohybuje okolo  $65 \text{ W.m}^{-2}$  a při extrémní manuální činnosti, jakou je například ruční hoblování, dosahuje až  $350 \text{ W.m}^{-2}$  (Rubin, 2005). Hlavním způsobem jak odvádět nahromaděné teplo je větrání.

$$M - W = C + R + E_{\text{res}} + C_{\text{res}} \quad (\text{Rubin, 2005}) \quad (2)$$

M ... energetický výdaj	C ... tepelný tok konvencí	$E_{\text{res}} + C_{\text{res}}$ ... výdej tepla dýcháním
W ... mechanická práce	R ... výdej tepla sáláním	Poz.: Výdej tepla dýcháním se považuje za zanedbatelný

Při posuzování tepelné pohody je nejvhodnější se opřít o rovnici tepelné pohody (2), kde jsou vyjádřeny tepelné toky mezi člověkem a okolím. Na levé straně je popsána produkce a na pravé výdaje.

Tepelný tok konvekci je za stacionárních podmínek řízen teplotním rozdílem mezi člověkem a okolním prostředím. Možný výdej tepla sáláním závisí na rozdílu povrchových teplot. Velmi negativně je z hlediska tepelné pohody vnímáno tzv. chladné sálání, které nastává v případě značných teplotních rozdílů mezi plochami v místnosti. Optimální teplota vnitřního vzduchu je pro oblečeného člověka 22°C léte a 24°C v zimě s možnou odchylkou  $\pm 2^\circ\text{C}$ . Pro potřeby komplexního hodnocení se uvádí naměřená hodnota, globeoteplota, a z ní odvozené hodnoty operační teploty, které vyjadřují společný účinek zmíněných teplot.

Z vlastností otvorových výplní má na tepelnou pohodu či na tepelnou složku mikroklimatu vliv součinitel prostupu tepla, který vyjadřuje výměnu tepla mezi prostory oddělenými otvorovými výplněmi (Puškár, 2003) a vnitřní povrchová teplota, která má přímý vliv na globeoteplotu a případnou nežádoucí kondenzaci vlhkosti, jak udává Puškár (2005).

Základní úkol větrání je přívod venkovního vzduchu a odvod agencií z vnitřního prostředí. Množství vzduchu se liší dle užití budovy, provozních parametrů technologie a množství osob a jejich činnosti. Výměna vzduchu musí být zajištěna tak, aby nebyla narušena tepelná pohoda zvýšenou rychlostí proudění vzduchu.

Množství větracího vzduchu se stanovuje obtížně. Jako ukazatel může sloužit relativní vlhkost vzduchu či množství různých agencií. Jako určitého zjednodušení lze užít Pettenhoferova kritéria. Toto kritérium vychází z předpokladu, že hlavním indikátorem znečištění je množství  $\text{CO}_2$  ve vzduchu. Za optimální hodnotu se považuje 0,1% (Rubin, 2005). Při známo venkovní koncentraci  $\text{CO}_2$  a produkci vztažené na osobu lze odvodit nutné množství, které však nezohledňuje množství vzduchu nutné pro provoz sociálních zařízení, kuchyní či v případně průmyslu provozu technologie. Problematika větrání je navíc zatížena snahou minimalizovat tepelné ztráty a to i za cenu konfliktu s hygienickým optimem, které by mělo být považováno za prioritní. Situaci je pak nutné řešit technickým řešením – rekuperací tepla (Jokl, 1998).

Z Pettenhoferova kritéria vychází nutné množství čerstvého vzduchu na osobu 23 až 28  $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$  (Rubin, 2005). Norma ČSN 73 0540-2 *Tepelná ochrana budov* udává jako nejnižší hodnotu 15  $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$  pro klidovou aktivitu v obytných místnostech. Intenzitu výměny vzduchu  $n$ , která je poměrem mezi množstvím vyměněného vzduchu a objemem větrávaného prostoru vztaženého na 1 hodinu, udávají normy a vyhlášky. Pro obytné místnosti je to 0,5 a pro ostatní 0,25. Hodnota se může pohybovat v určitém rozmezí, které určuje již zmíněná norma ČSN 73 0540-2 a vyhláška č. 291/2001 Sb..

Do budoucna lze předpokládat další rozšíření vyspělých a vysoce účinných soustav technického zařízení budov pro vytápění, klimatizaci a rekuperaci tepla stejně jako sofistikovaných otvorových výplní, které společně s vhodnou kompozicí domu zajistí



optimální míru solárních zisků, přirozeného osvětlení, minimalizace tepelných ztrát a dostatečné výměny vzduchu.

Přirozené větrání je popsáno tlakovým rozdílem, který je součinem či rozdílem tlakového rozdílu v důsledku různé hustoty vzduchu a tlakového rozdílu působením větru – dynamického tlaku.

$$\Delta p = h p g \pm \frac{1}{2} A p w^2 \quad (\text{Cihlář, 1995}) \quad (3)$$

Tlaková difference mezi vnějším a vnitřním prostředím je při teplotním rozdílu 30°C (venkovní teplota -10°C, vnitřní 20°C) cca 3 Pa. Účinek větru je při rychlosti 4 m.s<sup>-1</sup> asi 7 Pa. V případě přirozeného větrání pomocí spár otvorových výplní, které je popsáno spárovou průvzdušností, nelze ani za extrémních venkovních podmínek dosáhnout požadované výměny vzduchu pomocí zavřených otvorových výplní (Rubin, 2005). Tato zjištění potvrdil svým rozbořem Bahula (2005) a v další studii Šafránek (2005), který však dochází k závěru, že za určitých okolností, jako je například dostatečná délka spár, je možné zajistit dostatečnou výměnu vzduchu v rámci hodnot udávaných normou. Klepárník (2006) však výměnu vzduchu infiltrací u dřevěných oken nedoporučuje z důvodu nulové regulace a tudíž nemožnosti naplnit okamžité požadavky obyvatel.

Infiltrace výplní otvorů je popsána součinitelem spárové průvzdušnosti, který je jednou ze základních vlastností otvorových výplní (Hájek, 1996). Zjišťuje se normalizovanými zkouškami dle ČSN EN 1026. Objem vyměněného vzduchu pak lze zjistit dle vzorce:

$$V = 3600 \cdot L \cdot i \cdot \Delta p^{0,67} \quad (4)$$

Množství vyměněného vzduchu je tedy funkcí tlakového rozdílu, délky spár a průvzdušností. Maximální hodnoty součinitele spárové průvzdušnosti i určují normy ČSN 73 0540-2. Moderní okna splňující veškeré požadavky předpisů a norem neumožňují sami o sobě zajistit pomocí infiltrace - spárové průvzdušnosti, přirozené větrání budov, proto je nutné pro udržení optimálních parametrů vnitřního prostředí použít mikroventilaci, aeraci nebo nucené větrání. V případě nuceného větrání se předpokládá minimální role otvorových výplní – jejich žádaná infiltrace se tedy blíží 0. Celá problematika větrání pak spadá do oblasti TZB. Cihlář *et* Gabauer (1995) však považuje větrání okny za základní prostředek větrání místnosti. Roulet (2001) jednoznačně tvrdí, že výměna vzduchu musí být zajištěna jiným způsobem než infiltrací, to znamená větráním, mechanickou nebo hybridní ventilací.

Z uvedených faktů vyplývá, že pokud chceme zajistit výměnu vzduchu pomocí otvorových výplní, ať už jako hlavní nebo pouze pomocný způsob aerace, musíme využít větrání otevřenými okny.

Bilance hmotnostních průtoků vzduchu (5) slouží jako zjednodušený základ pro stanovení množství vzduchu vyměněného aerací. Cihlář *et* Gabauer (1995) uvádí vztahy pro výpočet objemového průtoku vzduchu při otevřeném okně. Vztahy se liší dle počtu nad sebou umístěných křídel a liší se při použití jednoho (7) tak dvou (6) křídel. Zásadním činitelem je

tlakový rozdíl vnějšího a vnitřního vzduchu. Dynamický tlak, který je součástí výpočtu výměny vzduchu infiltrací jak jej popisuje rovnice (3), se neuvažuje.

$$V_e = \mu \cdot b \cdot \frac{1}{3} \sqrt{\frac{g \cdot (\rho_e - \rho_i) \cdot h^3}{\rho_e}} \quad (\text{Cihelka, 1985}) \quad (5)$$

$$V_e = \frac{2\mu a}{3\rho_s} \left[ 2\rho_e \frac{h(\rho_e - \rho_i)g}{1 + \frac{\rho_e}{\rho_i} \left( \frac{S_p}{S_o} \right)^2} \right]^{0,5} \quad (6)$$

$$V_e = \frac{2\mu a}{3\rho_s} \left[ \frac{2g\rho_e\rho_i(\rho_e - \rho_i)g}{(b^{-1}(\rho_i^{0,33} + \rho_e^{0,33}))^{0,33}} \right]^{0,5} \quad (7)$$

Fracastaro *et al.* (2002) se komplexně zabýval problematikou ventilací okny v návaznosti na ideální parametry provozu, zejména v případech, kdy je otvírání a zavírání otvorových výplní kontrolováno mechanicky jako součást hybridních větracích systémů. Výsledkem je pokročilý nástroj pro výpočet aerace – zónový model, popsáný rovnicí (8), který dělí místnost na 3 pásy podle polohy větracího otvoru – okna. Tento model ukazuje velmi dobrou shodu jak s experimentálně zjištěnými hodnotami tak s počítačovou simulací. Přesto vztahy uváděné Cihlářem *et Gabauerem* (1995) a Fracastarem *et al.* (2002) lze považovat za ne zcela přesné z důvodu mnoha zjednodušujících podmínek, které uvádí samotní autoři.

$$\dot{m} = \frac{ab}{2} \sqrt{\frac{g \frac{b}{2} \left( \rho_o - \frac{\rho_1 + \rho_2}{2} \right) \rho_o \rho_2}{\chi_1 \rho_2 - \chi_2 \rho_o}} \Rightarrow V_e = \frac{\dot{m}}{\rho_s} \quad (8 \text{ a, b})$$

Výměna vzduchu aerací obdobně jako infiltrací ovlivňuje několik složek mikroklimatu zároveň. Pozitivně přispívá zejména v oblastech vlhkostního, oděrového, aerosolového, mikrobiálního, toxického a iontového mikroklimatu. Nicméně má i poměrně zásadní negativní vliv na pokles teploty, ať se jedná o operační teplotu, globeoteplotu nebo teplotu vzduchu, který závisí na množství přivedeného vzduchu z vnějšího prostředí. Tepelnou ztrátu z větrání lze stanovit dle odpovídající normy ČSN 06 0210 *Výpočet tepelných ztrát budov při ústředním vytápění* nebo dle ČSN EN 832 *Tepelné chování budov – Výpočet potřeby tepla pro vytápění*, jak udává Řehánek (2002). Důležité je ověřit, zda aerací nedojde k nadměrnému poklesu vnitřní teploty či rychlosti proudění vyšší, než udávají předpisy a následně nedochází ke významné krátkodobé tepelné nepohodě. Z těchto důvodů je, zejména při extrémních zimních teplotách, nutné větrání aerací omezit, což je do určité míry kompenzováno zvýšenou spárovou infiltrací působením vyššího rozdílu hustot mezi vnějším a vnitřním vzduchem (3).

Pokud je výměna vzduchu prováděna výlučně pomocí otvorových výplní, je nejvhodnější, podle Šafránka (2005), kombinace aerace a regulované spárové průvzdušnosti pomocí

větracích štěrbin či pokročilým kováním, což umožňuje uživatelům aktivně nastavit výměnu vzduchu tak, aby dosáhli subjektivního pocitu pohody prostředí.

Otvorové výplně se podílí také na tvorbě akustického mikroklimatu uvnitř budov. U běžných budov mají rozhodující vliv na neprůzvučnost celého obvodového pláště budovy. To je způsobeno zejména konstrukční charakteristikou tohoto stavebního prvku. Jedná se z výpočtového hlediska o jednoduchou nebo několikanásobnou vertikální konstrukci (Vaňková, 1996). Primárním úkolem zavřené otvorové výplně je snižovat hladinu akustického tlaku z vnějšího prostředí, který je popsán veličinou indexu vzduchové neprůzvučnosti, zjišťovanou výpočtem nebo měřením. Neprůzvučnost je funkcí frekvence zvuku a vyjadřuje se pomocí směrné křivky. Při určitých frekvencích dochází k její snížení vlivem rezonance či koincidence desky skla (Vaňková, 1996). Pro akustickou charakteristiku otvorové výplně je rozhodující její konstrukce, zejména pak plošná hmotnost a s ní související systém zasklení, konstrukce rámu a řešení spár (Hájek, 2002). Tato konstrukční charakteristika má velice blízkou návaznost na tepelně-technické vlastnosti výplně, zejména na povrchovou teplotu a součinitel prostupu tepla rámu a zasklení. Problém je blíže rozebrán v následující kapitole, která se věnuje vlastnostem otvorových výplní.

Problematika šíření zvuk spárami - spárové průzvučnosti úzce navazuje na problematiku průvzdušnosti. Puškár (2003) vyslovuje nutnost nalezení určitého kompromisu mezi těsností spár a z toho vyplývající nízkou průzvučností a hygienickými požadavky na výměnu vzduchu spárovou průvzdušností. Jak vyplývá z již citovaných prací na téma větrání, tento požadavek není v současnosti odůvodněný. Za hlavní prostředek větrání pomocí oken se v současnosti považuje aerace a to umožňuje koncipovat styky z ohledem na dosažení maximální možné těsnosti.

Závěry týkající se výměny vzduchu lze tedy vztáhnout i k problematice akustických poměrů vnitřního prostředí. Se zvýšenou těsností spár je možné docílit zlepšení indexu vzduchové neprůzvučnosti, ovšem za cenu krátkodobého diskomfortu při větrání, kdy může narůst hluk v místnosti od 25 do 50 dB, případně i více (Puškár, 2003), podle zařazení otvorové výplně do třídy jakosti zvukové izolace dle měření v laboratoři.

Jako nejspolehlivější určení skutečných hodnot vzduchové neprůzvučnosti lze považovat měření na stavbách, kde určujeme tzv. stupeň stavební (zdánlivé) vzduchové neprůzvučnosti. Vychází se z měření hodnot akustického tlaku v příjmací místnosti. Vaňková (1996) udává několik možných měřících postupů: Při měření, kde je zdrojem dopravní hluk, se vychází z hladin akustického tlaku naměřených z obou stran zkoušeného prvku – otvorové výplně. Jako zdroj hluku ze užít rovněž reproduktor vydávající bílý šum. Pro otevírané stavební prvky, za předpokladu, že mají podstatně nižší neprůzvučnost než obvodová zeď, lze užít metodu otevřeno-zavřeno (9), kdy měříme hladinu akustického tlaku jedním mikrofonom, umístěným v příjmací místnosti, při otevřeném a zavřeném prvku. Zjištěný rozdíl je pak korigován logaritmizovaným podílem středních dob dozvuku při zavřeném a otevřeném prvku. Dobou dozvukem se rozumí pokles hladiny akustického tlaku o 60 dB od vypnutí zdroje. Jako zdroj hluku se uvažuje reproduktor umístěný vně budovy.

$$R_{\vartheta} = L_{2,o} - L_{2,z} + 10 \log \frac{T_z}{T_o} \quad (9)$$

Požadavky na hodnoty stavební vzduchové neprůzvučnosti udává norma ČSN 73 0532 *Akustika - Ochrana proti hluku v budovách a související akustické vlastnosti stavebních*

*výrobků – Požadavky.* Mezi výhody této metody patří možnost zjištění, do jaké míry se hodnoty zjištěné měřením na stavbě shodují s údaji z laboratoří a umožňuje také rámcové hodnocení akustického mikroklimatu vnitřního prostředí. Do výsledků měření se také promítá šíření zvuku vedlejšími cestami. Měření na stavbě má charakter měření zvukověizolační kvality prvku, který ovlivňuje akustickou pohodu chráněného prostoru (Vaňková, 1996). Požadavky na akustické mikroklima stanovuje nařízení vlády č. 502/2000 Sb., *o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací* v závislosti na druhu prostoru, vykonávané činnosti, denní době, zdroji hluku a dalších parametrech.

Otvorové výplně zajišťují přirozené osvětlení. Úkoly otvorových výplní ve vztahu k vnitřnímu prostředí definuje Puškár (2003) jako zajištění osvětlení denním světlem, přímého pronikání slunečních paprsků aspoň do části bytu, ochrany před nadměrnými tepelnými zisky ze slunečního záření a zabezpečení kontaktu s venkovním prostředím. Světelnou účinnost oken dle Háje (2002) určuje plocha zasklení, použité sklo, jeho tloušťka, tvar konstrukce a dělení, úprava špalety, barva konstrukce a ostění, poloha okna a různé překážky v prostoru před okny. Při průchodu světla oknem či jinou průhlednou otvorovou výplní se velikost světelného toku zmenšuje v závislosti na druhu zasklení a znečištění. Důležitou roli hraje podíl zasklené plochy a rámu. Jako charakteristiku vztahu mezi světleným tokem, jak jej definuje Kotulán (2003), a zasklení se užívá bezrozměrná veličina činitele prostupu světla. Dalšími veličinami je odrazivost části světelného toku, který závisí na úhlu dopadu světla, drsnosti povrchu a barevnosti a pohltivost části světelného toku, kdy se světelný tok mění na tepelnou energii. Je snaha zajistit maximální propustnost, minimalizovat odrazivost a pohltivost a takto dosáhnout optimálního osvětlení vnitřních prostor.

Pro vlastní popis parametrů osvětlení se užívá činitel denní osvětlenosti, což je poměr osvětlenosti dané roviny v interiéru k současné osvětlenosti nezastíněné vodorovné plochy (10). Vyjadřuje se v procentech (Bystřický *et* Kaňka, 1999).

$$e = \frac{E_m}{E_H} \cdot 100\% \quad (10)$$

Přirozené osvětlení vnitřních prostor se zajišťuje vhodnou volbou velikosti a jednotlivých rozměrů otvorových výplní dle tabulek a určitých zjednodušujících předpokladů, které uvádí Háje (2002). Panuje snaha naplnit požadavky na úroveň a kvalitu denního osvětlení s co nejmenší plochou otvorů a zasklení (Puškár, 2003), což je však často v přímém rozporu s architektonickým řešením řady moderních budov. Za prosluněný se považuje takový vnitřní prostor, kde je součet prosluněných podlahových ploch roven jedné třetině podlahových ploch. Do plochy se nezapočítávají ty, které leží hlouběji než je 2,3 násobek světlé výšky místnosti (Puškár, 2003). Plocha oken by se měla pohybovat v rozmezí 10 – 15% podlahových ploch. Bystřický *et* Kaňka (1999), stejně jako platná norma ČSN 73 0580 *Denní osvětlení obytných budov*, stanovují činitel denní osvětlenosti dle užití místnosti a vykonávané činnosti od 0,25 do 7%.

Při běžném zasklení dochází k prostupu krátkovlnného slunečního záření dovnitř budovy, které je pohlcované povrchy a dochází k jeho přeměně na tepelnou energii. Se vzrůstající teplotou vnitřních povrchů dochází k vyzařování dlouhovlnného záření, které není běžné sklo schopné propustit. Teplota vnitřních prostor takto vzrůstá nad venkovní teplotu (Háje, 2002). Dochází k solárním tepelným ziskům. Množství energie se liší v průběhu roku a významné jsou i rozdíly způsobené jejich orientací. Řehánek (2002) udává rozdíl mezi severní a jižní svislou plochou až 370 kWh.m<sup>-2</sup>.

Při hodnocení solárních tepelných zisků je otvorová výplň pouze jednou z kolektorových ploch. Solární tepelné zisky jsou dány slunečním zářením, které je zpravidla dostupné v daném místě, orientací ploch, trvalým zastíněním i charakteristikou solární propustnosti a propustnosti ploch zasklení (Dahlsveen, 2003). Výsledky uváděných výpočtů jsou však primárně určeny pro energetické hodnocení budov, nikoliv pro analýzu dopadů na vnitřní prostředí. Výpočet se provádí dle ČSN 73 0542 *Způsob stanovení energetické bilance zasklených ploch obvodového pláště budov*, ale hodnotí se energetická bilance pouze v otopném období.

Z předchozích odstavců vyplývá komplexnost působení otvorových výplní na vnitřní prostředí. Dílčí vlastnost často přímo ovlivňuje i ostatní vlastnosti stejně jako jedna složka vnitřního mikroklimatu často přímo ovlivňuje i ostatní složky. Například typ zasklení má dopady nejen tepelnou pohodu, zejména prostup tepla a povrchovou teplotu, ale i na přirozené osvětlení a neprůzvučnost celého prvku. Pomocí spárové průvzdušnosti a mikroventilace je ovlivňována nejen výměna vzduchu, ale i množství hluku v interiéru, protože spára je z tomto pohledu slabým místem otvorové výplně. Závěr této úvodní kapitoly je věnován porovnání vlivu jednotlivých parametrů otvorové výplně na vnitřní mikroklima. Vychází se z dřevěného otevíravého okna s různým řešením zasklení a spárovou průvzdušností.

### 2.3.1. Hodnocení dopadů tepelně-technických parametrů oken na vnitřní prostředí

V této podkapitole jsou demonstrovány dopady běžně udávaných parametrů dřevěných otvorových výplní na vnitřní prostředí modelové místnosti. Dílčí analýza je založena na výpočtech a okrajových podmínkách uvedených v normách, legislativních předpisech a závěrech již publikovaných analýz. Parametry rámu a zasklení jsou získány z firemních materiálů. Rozměry místnosti a umístění oken vychází z poměrů popisovaných Puškárem (2003), Hájkem (2002) a Bystřickým *et* Kaňkou (1999). Při výpočtovém ověření tepelných vlastností otvorové výplně se vychází z normy ČSN EN ISO 10077-1 *Tepelné chování oken, dveří a okenic – Výpočet součinitele prostupu tepla – část 1: Zjednodušená metoda*. Požadované parametry vnitřního prostředí a mechanismus jeho ovlivňování vychází z Jokla (1993), Řehánka (2002) a ČSN 06 0210 *Výpočet tepelných ztrát budov při ústředním vytápění a odpovídajících předpisů a vyhlášek*. Zjištěné akustické poměry se opírají o vztahy, které udává Vaňková (1996) a jednotlivé dílčí hodnoty pak o nařízení vlády č. 502/2000 Sb., *o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací*. Výměna vzduchu ať již infiltrací či aerací vychází z běžně užívaných poměrů, jak je uvádí Cihelka (1985), Cihlár *et* Gabauer (1995), Puškár (2002) a Fracastaro *et al.* (2002).

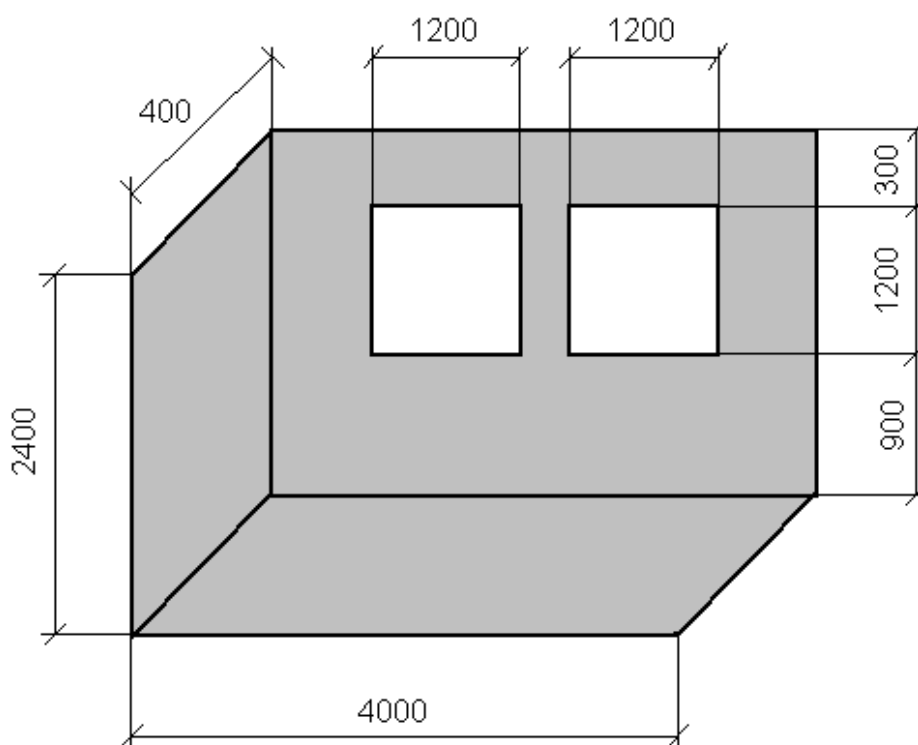
Modelová místnost má dvě dřevěná okna o rozměrech 1200 x 1200 mm. Budou porovnávány 2 typy otvorových výplní: klasický EURO profil 68 a inovovaný EURO 78. První je hodnocen v kombinaci s běžným zasklením, kdy je využito izolační dvojsklo INTERM PLUS plněné vzduchem. Druhá varianta představuje progresivnější konstrukci a je hodnoceno v kombinaci s pokročilejšími systémy zasklení: HEAT MIRROR a izolačním trojsklem s pokovenou vrstvou. K získání údajů byl použit katalog firmy IZOLAČNÍ SKLA a hodnoty byly ověřeny modelováním v programu Optics. Demonstrační otvorové výplně jsou vybrány tak, aby reprezentovali nejběžnější výrobek nabízený na trhu a pokročilejší konstrukce na bázi dřeva, které se patrně budou rozšiřovat v blízké budoucnosti. Úkolem totiž není porovnat různé existující konstrukce, ale kvantifikovat jejich vlivy na vnitřní prostředí.

Nejdříve je určena charakteristika dřevěných rámu pomocí Řehánka (2002) a normy ČSN EN ISO 10077-1, která ukazuje v oblasti udávaných tepelně-technických vlastností dřeva velmi dobrou shodu s hodnotami uváděnými Gandelovou *et al.* (2002). Z pohledu tepelné pohody a kondenzace vlhkosti je rozhodující povrchová teplota rámu, která vychází

z okrajových podmínek venkovní teploty  $-15^{\circ}\text{C}$  a vnitřní  $20^{\circ}\text{C}$ . Výsledky jsou porovnány s doporučenými povrchovými teplotami dle Hájka (2004). Ze všech tepelně-technických vlastností oken má povrchová teplota největší dopad na pohodu prostředí.

Kondenzaci vlhkosti lze zjistit porovnáním s rosným bodem, který byl zjištěn pomocí počítačového programu VLHKÝ VZDUCH zpracovaného Odborem termomechaniky a techniky prostředí VUT v Brně (1998). Jako vstupní hodnoty bylo použito rozmezí udávané vyhláškou č. 6/2003 Sb. Teplota rosného bodu při 65% vlhkosti vychází  $13,29^{\circ}\text{C}$ . Výskyt teplotního extrému, který byl použit pro výpočet povrchových teplot, nelze považovat za dlouhodobí a častý stav, proto lze vyslovit závěr, že kondenzace vlhkosti na okenních rámu v chladném období roku za normových podmínek nepředstavuje závažnější problém.

Spárová průvzdušnost je zvolena podle hodnot dosahovaných běžně při laboratorních měřeních dřevěných oken na bázi EURO profilů, jak je publikoval Mrlík (2000). U okna EURO 78 se vychází z měření profilu s dvoustupňovým těsněním. Modelové okno EURO 68 je vybaveno středovým těsněním.



*Obr. 4 - rozměry a tvar modelové místnosti*

Průměrná vlhkost venkovního vzduchu se dle ČEA (2002) pohybuje zhruba mezi 70 až 80%. Pokud tento vzduch použijeme pro větrání, ať již při mezní teplotě  $-15^{\circ}\text{C}$  nebo při průměrné venkovní teplotě  $4^{\circ}\text{C}$ , tak se jeho ohřevem dostaneme na relativní vlhkost kolem 6% při prvním případě, v druhém na 27%. Pokud se budou v místnosti vyskytovat 4 osoby a žádné jiné zdroje vlhkosti, tak tato situace nastane za velmi dlouhou dobu. Produkce vlhkosti lidským organismem je při pokojové teplotě a velmi lehké námaze (sezení, velmi lehká práce) zanedbatelná (Cihlár *et* Gabauer, 1995). Nutnost větrat z důvodu zachování

optimálních podmínek vlhkostního mikroklimatu tedy nastane při nárůstu vlhkosti nad hodnotu udávanou předpisy. V běžných obytných prostorech je taková situace velmi neobvyklá, přesto je však nutné tuto možnost zvažovat, hlavně u prostor speciálního určení. Vliv otvorových výplní na vlhkostní mikroklima je tedy značný, zejména díky větrání aerací, ovšem vliv samotné spárové průvzdušnosti je v modelové místnosti zanedbatelný.

Pokud máme zajistit pro 2 osoby sedící v místnosti dostatečnou výměnu vzduchu, pak se za optimální hodnotu považuje  $30 \text{ m}^3$  na osobu a hodinu, v kuřáckém prostředí dvojnásobek a v úsporných budovách polovina (Klepárník, 2005). Optimální řešení vycházející z hygienických požadavků představuje výměnu 1,5 objemu vzduchu v místnosti za hodinu. Takový požadavek není splnitelný z energetických důvodů a navíc značně překračuje i normové požadavky na výměnu vzduchu v místnostech, která vyžaduje výměnu pouze 0,3 až 0,6 objemu. Výměna vzduchu spárovou infiltrací je u modelových výplní zanedbatelná a nesplňuje ani minimální požadavek na výměnu vzduchu dle ČSN 73 0540-2. Vliv spárové průvzdušnosti na vnitřní mikroklima je v tomto případě minimální.

Neprůzvučnost u okenních konstrukcí se zvyšuje s rostoucí frekvencí, jak ukazuje Hájek (2002), proto je ovlivněna jak hlasitost, tak výška zvuku. Rušivost zvuku jde pomocí parametrů výplně otvoru snížit v závislosti na snížení hlasitosti.

Systém hodnocení dopadů na vnitřní prostředí je analogický k metodě, kterou užil BRE (2002) pro hodnocení životního cyklu. Vlastnost okna se hodnotí se ve 3 stupních dle předpisů, norem a údajů z literatury a podkladů výrobců v tabulce 1. U každé hodnoty je připsán seznam složek mikroklimatu, které ovlivňují dle rozboru provedeného Rohlesem *et al.* (1989). tabulka 2 popisuje míru dopadu dílčí vlastnosti okna na vnitřní prostředí. Hodnocení je čtyřstupňové a vychází převážně z výpočtů, porovnání s analogickými případy a závěry publikovanými v literatuře.

Hodnocení vlastností okna:

- A - splnění i těch nej přísnějších požadavků vyplývajících z českých norem a předpisů.
- B - splnění minimálních požadavků.
- C - nesplnění normativních a legislativních požadavků.

Hodnocení dopadů vlastností na vnitřní prostředí:

- 1 – Parametr ovlivňuje složku vnitřního prostředí zásadním způsobem a je při jeho tvorbě nejdůležitějším činitelem.
- 2 – Parametr se významným způsobem podílí na tvorbě složky vnitřního prostředí a může způsobit pocit nepohody.
- 3 – Parametr je jedním z činitelů ovlivňujících vnitřní prostředí, ale nemůže sám o sobě způsobit nepohodu.
- 4 – Parametr neovlivňuje složku vnitřního prostředí žádným podstatným způsobem.

Parametr okna	EURO 68		EURO 78				Dopady – složka mikroklimatu
Povrchová teplota rámu [°C] <sup>(1)</sup>	11,8	10,4	12,3		10,9		Globeoteplota
	A	B	A		B		
Povrchová teplota zasklení [°C] <sup>(2)</sup>	13,63		16,5	16,1	16,5	16,1	Globeoteplota
	B		A	A	A	A	
Prostup tepla [W.m <sup>-2</sup> .K <sup>-1</sup> ]	1,67	1,75	1,19	1,22	1,28	1,31	Globeoteplota
	B	B	A	B	B	B	
Spárová průvzdušnost [m3.s <sup>-1</sup> .m <sup>-1</sup> .Pa <sup>-0,67</sup> ]	0,04.10 <sup>-4</sup>		0,01.10 <sup>-4</sup>				Vlhkost
	A		A				Odér Proudění Toxicita Aerosoly
Propustnost světla [%] <sup>(3)</sup>	81		64		71		Globeoteplota
Odrazivost světla [%]	15		12		16		Stíny Oslnění
Propustnost záření [%]	70		29		42		Jas
Odrazovost záření [%]	13		33		28		
Prostup ultraf. záření [%]	44		0,4		8		
	B		A		A		
Neprůzvuknost [dB]	30		33,6 <sup>*</sup>		35,8 <sup>*</sup>		Rušivost
	B		B		B		Hlasitost Výška zvuku

(1) Oba rámy ve verzích z měkkého/tvrdeho dřeva

(2) EURO 68 se zasklením FI4-16Air-FI4, EURO 78 s FI4-12Ar-TC88-12Ar-Le4 nebo FI4-10Ar-Le4-10Ar-Le14

(3) Optické parametry se vztahují pouze k zasklení viz (2)

\* Hodnota získána výpočtem



Tab. 1 - hodnocení vlastností

okna

Složka prostředí	globoteplota	proudění	vlhkost	odér	toxická	aerosol	hlasitost	rušivost	výška zvuku	jas	oslnění	stíny
Vlastnost okna												
Povrchová teplota rámu	2	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Povrchová teplota zasklení	2	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Prostup tepla	2	3	2	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Spárová průvzdušnost	4	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4
Propustnost světla	3	3	3									
Odrazivost světla	3	3	3									
Propustnost záření	2	3	3									
Odrazovost záření	2	3	3									
Prostup ultraf. záření	4	4	4									
Neprůzvučnost	4	4	4									

Tab. 2 - vzájemné ovlivňování vlastností okna a vnitřního prostředí

Tato malá analýza prokázala několik důležitých skutečností ve vztahu tepelně-technických vlastností a jednotlivých složek vnitřního prostředí. V praktické rovině se ukázalo, že moderní dřevěná okna splňují požadavky kladené na otvorové výplně. V oblasti tepelně-technických vlastností to znamená minimalizaci jejich přímého vlivu na interní mikroklima, čehož již bylo dosaženo v oblasti průvzdušnosti. Jako hlavní tepelně-technická vlastnost se jeví povrchová teplota. Míra, do jaké otvorová výplň splňuje na ni kladené požadavky, je u většiny kritérií rozhodující pro určení jejich dopadů na vnitřní prostředí. Důležitým závěrem je, že to nejsou jen tepelně-technické vlastnosti, které ovlivňují tepelné mikroklima v místnosti. Za neméně důležité lze považovat i optické vlastnosti zasklení a jejich schopnost regulovat tepelné zisky. Projevuje se tak přímo i nepřímo – vlivem skleníkového efektu v interiéru. V porovnání se součinitelem prostupu tepla je oblast optických vlastností mnohem variabilnější a tím vzrůstá i důležitost jejich správného hodnocení. Při dodržení požadavků na tepelně-technické vlastnosti, které u moderních dřevěných konstrukcí a konstrukcí zasklení nepředstavuje

problém, je při analýze vlivu otvorových výplní na vnitřní prostředí klíčový nikoliv kvalitativní, ale kvantitativní požadavek, tj. celková plocha zasklení.

## **2.4. Dílčí závěr**

Problematika vnitřního prostředí budov je v současnosti odpovídajícím způsobem pokryta normami a legislativními předpisy, které bohužel přímo nenavazují na oblast vlastností otvorových výplní. Nespojitosť může být překlenuta pomocí výpočtů, modelů, měření a výsledků odborných studií, pro běžnou technickou praxi však představuje určitý problém, zejména vzhledem k značné provázanosti dílčích parametrů vnitřního prostředí a otvorové výplně.

Obecně lze říci, že dostupné výpočetní postupy, empirické poznatky a závěry dílčích studií jsou dostačující pro účely této práce a umožňují posuzovat tepelně-technické vlastnosti dřevěných otvorových výplní z pohledu jejich vlivu na vnitřní prostředí.

### **3. Vlastnosti otvorových výplní a jejich posuzování**

Otvorové výplně je souhrnný název pro stavební konstrukce jako jsou okna, balkónové dveře, dveře, vrata, světlíky a střešní okna ve vnitřních a ve vnějších stěnách budov a střešních konstrukcích. Dle Puškára (2002) se jedná o nejexponovanější prvky obalových konstrukcí budov, které se výraznou měrou podílejí na tvorbě optimálního vnitřního prostředí a rozhodující měrou na energetických ztrátách objektu. Z toho vyplývá značná důležitost správného hodnocení a velký důraz kladený na jejich tepelně-technické vlastnosti. Největší množství protichůdných požadavků se vztahuje na konstrukčně nejkomplikovanější a výrobně nejnáročnější otvorovou výplň – okno. Obvodový plášť sestává z dvou různých konstrukčních součástí, z plné obvodové stěnové konstrukce a z konstrukcí výplní otvorů (Štěpánek, 2005).

Za primární funkci okna se považuje zajištění vizuálního spojení s okolím a vnikání světla do interiéru, větrání, komunikačního spojení a v případě oken se uvažuje i úniková cesta při požáru (Hájek, 2002). Tyto funkce lze považovat za hlavní. Kromě nich však ještě mají splňovat i ostatní požadavky vyplývající z nároků na zajištění požadované kvality vnitřního prostředí a mechanické celistvosti obvodové stěny. Kromě těchto všech požadavků, které jsou podrobně rozebrány v této kapitole, musí také splňovat estetická kritéria, protože otvorová výplň se zásadním způsobem podílí na vzhledu budovy a je prvkem natolik dominantním, že slouží jako identifikační klíč při určování jednotlivých historických slohů.

#### **3.1. Posuzování shody otvorových výplní**

Otvorové výplně jsou výrobky užívané jako součást stavebních konstrukcí a musí plnit nároky, které uvádí legislativa a české a evropské normy. Splnění požadavků musí výrobce zajistit a potvrdit předtím, než je výrobek uveden na trh pomocí tzv. posuzování shody (Helegda, 2005). Potvrzení se provádí řadou zkoušek, které jsou podrobněji popsány u jednotlivých vlastností v rámci této kapitoly.

Z legislativního hlediska je hlavním podkladem pro celou oblast stavebních výrobků směrnice 89/106/EHS *o sbližování právních a správních předpisů členských států týkajících se stavebních výrobků*. Ta pro vlastnosti stavebních konstrukcí stanovuje obecné požadavky v těchto oblastech (Puškár, 2002):

- Mechanická odolnost a stabilita stavby – na otvorové výplně se tento požadavek nevztahuje.
- Požární bezpečnost – otvorové výplně slouží jako opatření proti šíření požárů a jako únikové cesty.
- Hygiena, ochrana zdraví a životního prostředí – zejména požadavek na povrchovou teplotu ve vztahu ke kondenzaci vlhkosti a vodotěsnost.
- Bezpečnost při užívání – je charakterizována požadavky na mechanické vlastnosti.
- Ochrana proti hluku – neprůzvučnost konstrukce.
- Úspora energie a ochrana tepla – vztahuje se na tepelně-technické vlastnosti.

Přestože je práce zaměřena primárně na tepelně-technické vlastnosti, které vymezuje oblast „Úspora energie a ochrana tepla“ a částečně také „Hygiena, ochrana zdraví a životního prostředí“ musí být zároveň splněny i ostatní požadavky směrnice, proto je věnována pozornost i jim.

Směrnice je interpretována v české legislativě pomocí následující legislativy (Helegda, 2005):

- Nařízení vlády č.163/2002 Sb., *kterým se stanoví technické požadavky na vybrané stavební výrobky*
- Nařízení vlády č. 190/2002 Sb., *kterým se stanoví technické požadavky na stavební výrobky označované CE*

Na otvorové výplně se pak vztahují ještě další legislativní předpisy, z nichž je nejdůležitější zákon č. 22/1997 Sb., o *technických požadavcích na výrobky* a zákon č. 102/2001 Sb., o *obecné bezpečnosti výrobků a o změně některých zákonů* (zákon o obecné bezpečnosti výrobků).

V budoucnu se předpokládá jednotné hodnocení dle harmonizované evropské normy. Puškár (2002) představuje a komentuje návrh evropské normy prEN 14351, která stanovuje povinné – mandátové vlastnosti vycházející ze směrnice. Nemandátové vlastnosti, jejichž prokazování a zkoušení je dobrovolné, upravují výrobové normy. Jedná se o ovládací síly, mechanickou pevnost, větrání přídatným zařízením pro výměnu vzduchu, odolnost proti průstřelu a výbuchu, mechanická trvanlivost a odolnost proti násilnému vniknutí. Přehled běžně užívaných zkušebních postupů udává Polášek (1997) a Puškár (2003) včetně odkazů na používané normy.

Značení shody CE potvrzuje, že výrobek splňuje veškeré náležitosti základních požadavků všech směrnic nebo zákonů pro výrobky spadající pod dohodu PECA (Protokol o posuzování shody a akceptaci průmyslových výrobků), které je nutno pro daný výrobek uplatnit. Jednotlivé mandátové vlastnosti se stanovují podle norem určených v legislativě.

### 3.2. Tepelně-technické vlastnosti otvorových výplní

Tepelně-technické vlastnosti patří ze všech vlastností otvorových výplní k těm, na které je kladen největší důraz. Tyto parametry jsou totiž podkladem pro ekonomické hodnocení, které je často pro zákazníka klíčovým rozhodovacím kritériem a také mají podstatný vliv na vnitřní prostředí budovy. Nepanuje však naprostá shoda, jaké charakteristiky do tepelně-technických vlastností zahrnout. Šafránek (2003), s odvoláním na vyhlášku č. 291/2001 Sb. a normu ČSN 73 0540, uvádí jako rozhodující parametr součinitel prostupu tepla celé výplně otvoru a také tepelný odpor, který umožňuje zabránit kondenzaci na povrchu prvku.

Pokud však čerpáme přímo z vyhlášky nebo z normy, lze do tepelně-technických vlastností zahrnout i vlastnosti spár a styků – tedy i průvzdušnost. Část autorů však zahrnuje pouze součinitel prostupu tepla (Chmúrny, 2004, Puškár, 2005), ať je změřený či vypočtený. Při přijmutí určitého zjednodušujícího kritéria konstantního součinitele přestupu tepla je tato veličina dostatečná i pro určení a zajištění dostatečné povrchové teploty a zabránění kondenzaci par na zasklení, rámu, případně obecně ploše výplně otvoru. Přesto lze považovat samostatné uvádění povrchové teploty dosažené v normových venkovních a vnitřních podmínkách za vhodnější. V této práci se zahrnuje průvzdušnost mezi tepelně-technické vlastnosti. Důvodem je domněnka, že má podstatný vliv tepelnou pohodu a spotřebu tepla (Mrlík, 2000). Tepelně-technické vlastnosti slouží jako podklad ke stanovení celkové tepelné bilance ztrát výplně otvoru prostupem přes zasklení a rámy a ze ztrát tepla větráním.

Za tepelně-technické vlastnosti lze tedy považovat:

- součinitel prostupu tepla,
- vnitřní povrchovou teplotu otvorové výplně,
- součinitel spárové průvzdušnosti.

### 3.2.1. Součinitel prostupu tepla a povrchová teplota

Součinitel prostupu tepla je definován normou ČSN 73 0540-1 *Tepelná ochrana budov Část 1: Terminologie* jako celková výměna tepla v ustáleném stavu mezi dvěma prostředími, vzájemně oddělenými stavební konstrukcí o tepelném odporu  $R$  s přilehlými mezními vzduchovými vrstvami, zahrnuje vliv všech tepelných mostů včetně vlivu prostupujících hmoždinek a kotev, které jsou součástí konstrukce.

Požadavky na součinitel prostupu tepla jako na klíčové kritérium z pohledu efektivního využití energie obsahuje ČSN 73 0540-2 *Tepelná ochrana budov* a jsou stanoveny následovně:

Popis konstrukce		Požadované hodnoty $U_N$ [W.m <sup>-2</sup> .K <sup>-1</sup> ]	Doporučené hodnoty $U_N$ [W.m <sup>-2</sup> .K <sup>-1</sup> ]
Okna a jiná výplň otvoru z vytápěného prostoru	nová	1,8	1,2
	upravená	2,0	1,35
Dveře, vrata a jiná výplň otvoru z částečně vytápěného nebo nevytápěného prostoru vytápěné budovy		3,5	2,3

Tab. 3 - normové požadavky na součinitel prostupu tepla

Z fyzikálního hlediska se jedná o přestup tepla, často několikanásobný, a také vedení tepla, jak je popsáno Hlouškem *et al.* (1999), v klasických stacionárních rovnicích. Pro technickou praxi se jedná o zcela postačující zjednodušení, jejichž odchylky od skutečnosti se ve výpočtech, například tepelných ztrát dle ČSN 06 0210 *Výpočet tepelných ztrát budov při ústředním vytápění*, kompenzují pomocí odpovídajících přírážek. Z pohledu stavební konstrukce je výsledný součinitel ovlivňován tepelným odporem zasklení, rámu, křídel, osazením a vlastnostmi ostění (Šafránek, 2003). Výsledná hodnota je také ovlivněna velikostí výplně otvoru.

Platná norma pro výpočet prostupu tepla ČSN EN ISO 10077-1 *Tepelné chování oken, dveří a okenic – výpočet součinitele prostupu tepla – část 1: Zjednodušená metoda* umožňuje samostatné určení součinitele jak rámu, tak zasklení. To umožňuje efektivní srovnání mezi různými systémy zasklení a okenních rámu, případně volbu mezi alternativními materiály.

Norma vychází z vyjádření tepelného toku na principu Ohmova zákona, jak jej uvádí Hloušek *et al.* (2000). Opírá se o časově ustálené 1D vedení tepla a normované součinitele

přestupu tepla. Oproti běžným rovnicím jsou vztahy v normě doplněny o lineární činitel prostupu tepla způsobený kombinovanými tepelnými vlivy zasklení, distančního rámečku a rámu. Celkový součinitel prostupu tepla pak vychází z poměru ploch rámu, zasklení a lineárního činitele prostupu tepla.

$$U_w = \frac{A_g U_g + A_f U_f + l_g \psi_g}{A_g + A_f} \quad (11)$$

$$U_g = \frac{1}{R_{se} + \sum_j \frac{d_j}{\lambda_j} + R_{si}} \quad (12)$$

Povrchová teplota charakterizuje otvorovou výplň zejména z pohledu vnitřního prostředí budovy a funkce výrobku. Kondenzát může zásadním způsobem zkrátit životnost výrobku, negativně ovlivňovat celou stavbu a přispívat k růstu plísní. Posuzování povrchové teploty má u výplní otvorů větší důležitost než u standardních stavebních konstrukcí, zejména z důvodu nízkého útlumu teplotního kmitu, kdy se i krátkodobý pokles venkovní teploty projeví téměř okamžitě na vnitřním povrchu.

Na povrchovou teplotu má vliv nejen vnější a vnitřní prostředí, vodivost a tloušťka materiálu, ale také konstrukce spár. Dvoustupňové těsnění funkční spáry zamezuje přístupu studeného vzduchu a následnému ochlazení okenního profilu. Hájek (2004) uvádí přehled konstrukčních zásad, které zabrání místnímu poklesu povrchových teplot pod teplotu kondenzace. Dle Puškára (2005) může dojít v případě dřevěných vlysů a rámu ke kondenzaci jen výjimečně. Jsou konstatovány dobré tepelně-izolační vlastnosti dřevěných profilů, jak potvrzují i výsledky publikované Šafránkem (2003) a Puškárem (2005). Kondenzace se však může objevit na spodním okraji zasklení v důsledku působení deformovaného teplotního pole v blízkosti distančního rámečku. U aktuálních konstrukcí se ve valné většině užívá takzvaných „teplých rámečků“, které se vyznačují nízkou vodivostí a nepůsobí proto v konstrukci rámu jako tepelné mosty. Problém kondenzace lze také úspěšně řešit vhodným umístěním otopného tělesa, případně usměrněním proudu ohřátého vzduchu mezi prostor povrchu výplně a záclony.

Povrchová kondenzace par nastává, když je povrchová teplota okenních rámu a zasklení nižší než teplota rosného bodu. Norma ČSN 73 0540-2 stanovuje nejen celkový součinitel prostupnosti tepla, ale i skutečnost, že každá otvorová výplň musí vykazat vnitřní povrchovou teplotu nad úrovní rosného bodu navýšenou o bezpečnostní přírážku, která může činit až 1,5°C. Norma také uvádí postup výpočtu. Na podkladě normy stanovil Hájek (2004) kritické povrchové teploty pro běžné podmínky v interiéru v závislosti na umístění otopného tělesa (viz Tab. 4)

Vnitřní prostředí		Normová kritická teplota $\theta_{sIN}$ podle umístění otopného tělesa [°C]	
Teplota $\theta_{im}$ [°C]	Vlhkost $\varphi_i$ [%]	Bez tělesa	S tělesem
20	50	9,77	8,77
21	50	10,70	9,70
21	60	13,44	12,44

Tab. 4 – kritické povrchové teploty

Zkoušky povrchových teplot se běžně provádí dle ČSN 73 0546 *Zkoušení tepelných mostů stavebních dílců a částí konstrukcí* případně ČSN EN 1934 *Tepelné chování budov – stanovení tepelného odporu metodou teplé skříně při použití měřiče tepelného toku – zdivo* pomocí čidel na povrchu vzorku. Zkouška se provádí při teplotě vnitřního prostředí 21°C a vlhkosti 60% a venkovní teplotě -15°C. Zkoušky jsou primárně zaměřeny na okrajovou část zasklení, kde distanční rámeček působí jako tepelný most. Míra tepelné vodivosti závisí na užitém materiálu. Šafka (2006) však zpochybňuje užití této normy pro povrchové teploty tvorových výplní, shrnuje provedená měření v této oblasti a dochází k závěru, že v zahraničí, a zejména v Německu, není povrchové teplotě přikládán ani zdaleka takový význam jako v České republice a její zjišťování probíhá převážně výpočtem.

Přestože povrchová kondenzace je dle požadavků ČSN 73 0540-2 nepřijatelná, u části konstrukcí k ní dochází, zejména při zimních teplotních extrémech u okrajů zasklení. Povrchová teplota však není mezi mandátovými ani nemandátovými vlastnostmi nutnými pro prohlášení o shodě, jak je uvádí Helegda (2005). Dle výsledků měření publikovaných Puškárem (2005) je u moderních systémů zasklení se součinitelem prostupu tepla zasklení  $1,1 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$  možné zabránit kondenzaci až do venkovní teploty -41,4°C.

Součinitel prostupu tepla zasklení se stanovuje podle ČSN EN 674 *Sklo ve stavebnictví - Stanovení součinitele prostupu tepla (hodnota U) - Metoda chráněné teplé desky*. Princip spočívá v měření tepelného odporu dvou vzorků umístěných mezi chladicí a topnou deskou. Na základě naměřených hodnot a normalizovaných součinitelů přestupu tepla se stanovuje hodnota prostupu tepla zasklením. Měření probíhá na vzorku velikosti minimálně 750 x 750 mm při střední teplotě měření 10°C. Rozdíl teplot povrchů je 15K.

Z pohledu stavební praxe je však vhodnější stanovit prostup celé konstrukce otvorové výplně, zejména z důvodu komplexnosti problému vedení tepla okenním rámem. Okna jsou materiálově a konstrukčně heterogenní konstrukce a proto nelze považovat výsledky měření pouze jednotlivé části či konstrukčního dílu za dostatečné. Ke stanovení součinitele prostupu tepla celého okna či dveří slouží jako podklad ČSN EN ISO 12567-1 *Tepelné chování oken a dveří – Stanovení součinitele prostupu tepla metodou teplé skříně – Část 1: Celková konstrukce oken a dveří*. Měření probíhá ve dvou fázích. Nejdříve se pomocí kalibračních panelů stanoví součinitel přestupu tepla a tepelný odpor dělicí stěny. V druhé fázi probíhá měření vzorku za přesně stejných podmínek, za kterých proběhla kalibrace. Hodnoty se měří čidly umístěnými centrálně na povrchu clonících desek, vzorku a v prostoru před vzorkem. Pomocí ventilátoru je simulováno přirozené proudění kolem vzorku. Střední teplota vzduchu je 10°C a rozdíl teplot vzduchu 20K. Výsledky měření jsou upraveny pomocí hodnot získaných během kalibrace.

Pro udělení prohlášení o shodě musí naměřené hodnoty součinitele prostupu tepla a povrchové teploty vyhovět požadavkům normy ČSN 73 0540-2 (Polášek, 2001). Tyto hodnoty jsou mandátové. Podkladem mohou být hodnoty vypočtené i změřené dle norem ČSN EN ISO 12567-1 a ČSN EN ISO 10077-1 (Helegda, 2005).

### 3.2.2. Průvzdušnost

Hájek (2002) definuje vzduchovou propustnost – průvzdušnost jako odpor vůči proudění vzduchu budovou. Ukazatelem prostupu vzduchu a dveří je součinitel spárové průvzdušnosti, který vyjadřuje objemový tok vzduchu v  $\text{m}^3$  za 1 sekundu proudící 1 m délky otevíravých spár oken a dveří při tlakovém rozdílu mezi oběma stranami konstrukce 1 Pa (Mrlík, 2000). Tento součinitel lze zjistit pouze experimentálně z množství vzduchu proniklého spárami při normalizovaných zkouškách.

Nejvyšší možné hodnoty požadované normou ČSN 73 0540-2:02 jsou následující:

Funkční spára ve výplni otvoru	Požadovaná hodnota součinitele spárové průvzdušnosti $i_{LV,N} [\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{Pa}^{-0,67}]$	
	Budova s větráním přirozeným nebo kombinovaným	Budova s větráním pouze nuceným nebo s klimatizací
Vstupní dveře do budovy	$0,85 \cdot 10^{-4}$	$0,85 \cdot 10^{-4}$
Ostatní vnější výplně otvorů při celkové výšce nadzemní části budovy		
- do 8 m včetně	$0,85 \cdot 10^{-4}$	
- mezi 8 a 20 m	$0,60 \cdot 10^{-4}$	$0,10 \cdot 10^{-4}$
- nad 20 m včetně	$0,30 \cdot 10^{-4}$	

Tab. 5 – normové součinitele spárové průvzdušnosti

Význam průvzdušnosti jako funkčního parametru oken a dveří je rozporuplný. Jak bylo rozebráno v předchozí kapitole, pomocí spárové průvzdušnosti není již prakticky možné zajistit výměnu vzduchu požadovanou hygienickými standardy. Stará verze normy ČSN 73 0540-2:94 uvádí požadavek na přirozenou infiltraci styků, spár a otvorových výplní, která by měla zajistit hygienicky nutnou výměnu vzduchu. Verze této normy z roku 2002 zdůrazňuje role větrání otevíráním oken. Průvzdušnost funkčními spárami otvorových výplní má tak pouze doplňkovou funkci při výměně vzduchu. Při nuceném větrání a klimatizaci se předpokládá minimální průvzdušnost. Do budoucna lze předpokládat další snížení průvzdušnosti okenních spár a přesun této funkce na jiné konstrukce, které umožní lepší regulovatelnost výměny vzduchu v závislosti na skutečné potřebě. Nízkou efektivitu výměny vzduchu pomocí spár jednoznačně prokázal Klepárník (2005). Tepelná ztráta mnohdy bezúčelnou výměnou vzduchu pomocí vzduchové propustnosti oken činí mezi 10 – 35%



veškerých tepelných ztrát budovy (Hájek, 2002). Tato čísla vychází z měření, praktických zkušeností a rovnic uváděných Cihlářem (1998).

Zkouška spárové průvzdušnosti se provádí měřením toku vzduchu, který je zajištěn ustáleným rozdílem tlaku vzduchu mezi prostředím po obou stranách měřeného vzorku při konstantní teplotě a vlhkosti vzduchu těchto prostředí (Polášek, 1997). Zatímco princip zkoušky se nemění, vlastní postup se liší dle užití normy. V minulosti používané postupy dle EN 42 a ČSN 74 9185 jsou nahrazeny dvojicí norem ČSN EN 1026 *Okna a dveře – Průvzdušnost – Zkušební metoda* a ČSN EN 12207 *Okna a dveře – Průvzdušnost – Klasifikace*. Tyto normy jsou podkladem pro udělení prohlášení o shodě (Helegda, 2005). Hodnocení na podkladě aktuálních norem zařazuje otvorové výplně do tříd na základě zjištěné referenční průvzdušnosti vztažené na délku spáry nebo plochu výplně otvoru.

Zkouška dle aktuální normy probíhá v komoře se známou průvzdušností, ve které je osazen plně funkční zkušební vzorek. Nejdříve se působí třemi tlakovými rázy, které jsou o 10% větší než největší zkušební tlak, nejméně 500 Pa tlakového rozdílu mezi vnější a vnitřní plochou vzorku. Délka rázu je mezi 1 a 3 sekundami. Pak se tlak stupňovitě zvyšuje až do maxima – 600 Pa. Pro každý stupeň se změří a zaznamená průvzdušnost. Pokud je takový požadavek, tak se měření vykonává i při záporných tlacích. Naměřené hodnoty se korigují na normální tlakové a teplotní podmínky a převádí se na referenční hodnoty.

Pro účely lepšího porovnání byly v rámci této práce převedeny referenčních hodnoty pro jednotlivé třídy dle ČSN EN 12207 na v praxi využitelnější hodnoty součinitele spárové průvzdušnosti s využitím rovnice 4:

<b>Třída</b>	<b>Referenční průvzdušnost při 100 Pa [m<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup>.m<sup>-1</sup>]</b>	<b>Maximální zkušební tlak [Pa]</b>	<b>Součinitel spárové průvzdušnosti [m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>.m<sup>-1</sup>.Pa<sup>-0,67</sup>]</b>
0	Nezkouší se		
1	12,50	150	1,59 . 10 <sup>-4</sup>
2	6,75	300	0,87 . 10 <sup>-4</sup>
3	2,25	600	0,29 . 10 <sup>-4</sup>
4	0,75	600	0,095 . 10 <sup>-4</sup>

Tab. 6 – třídy průvzdušnosti

Z výpočtů v posledním sloupci Tabulky 6 je zřejmé, že okna třídy 1 nesplňují ani minimální požadavky na průvzdušnost jak je stanovuje norma ČSN 73 0540-2:02, jejíž požadavky jsou popsány Tabulkou 5.

### 3.3. Další vlastnosti otvorových výplní

Vlastností otvorových výplní specifikovaných v literatuře a normách je celé řada. V kapitole 2 této práce byly specifikovány ty z nich, které souvisí z tepelně-technickými vlastnostmi a mají podstatný vliv na vnitřní prostředí. Pro zajištění funkčnosti

a bezproblémového provozu je však nutné, aby byly splněny i ostatní požadavky. Hájek (2002) se komplexním rozdělením vlastností vůbec nezabývá. Puškár (2003), Helegda (2005) a Polášek (2001) se při definici vlastností řídí požadavky na prohlášení o shodě, které pokrývá komplexně celou problematiku včetně zkoušení, hodnocení a požadavků. Toto hodnocení se provádí na podkladě návrhu evropské normy prEN 14351 formou klasifikačních tabulek. Jako příklad je možné zmínit průvzdušnost. Klasifikace pro účely získání prohlášení o shodě je jednotná pro celou Evropu. Každá jednotlivá země si pak může samostatně určit požadovanou užitnou třídu pro konkrétní typ budovy a klimatické podmínky.

Mandátových a nemandátových charakteristik oken a vnějších dveří je mnoho a není účelem této práce podrobně se jim věnovat se. Je zde uveden pouze jejich přehled společně s popisem těch, které jsou obzvláště důležité či se nějakým způsobem vztahují k tepelně-technickým vlastnostem celé výplně otvoru.

#### Mandátové charakteristiky:

- odolnost proti zatížení větrem,
- odolnost proti zatížení sněhem (pouze dveře),
- reakce na oheň (pouze okna),
- odolnost proti vnějšímu ohni (pouze okna),
- vodotěsnost,
- nebezpečné látky,
- odolnost proti nárazu,
- únosnost bezpečnostních zařízení,
- výška a šířka (u dveří),
- možnost úniku (u dveří),
- akustické vlastnosti,
- součinitel prostupu tepla,
- radiační vlastnosti,
- průvzdušnost.

#### Nemandátové charakteristiky:

- ovládací síly,
- mechanická pevnost,
- výměna vzduchu – větrání,
- odolnost proti průstřelu,
- odolnost proti výbuchu,
- odolnost proti opakovanému otevírání a zavírání,

- chování mezi rozdílnými klimaty,
- odolnost proti násilnému vniknutí.

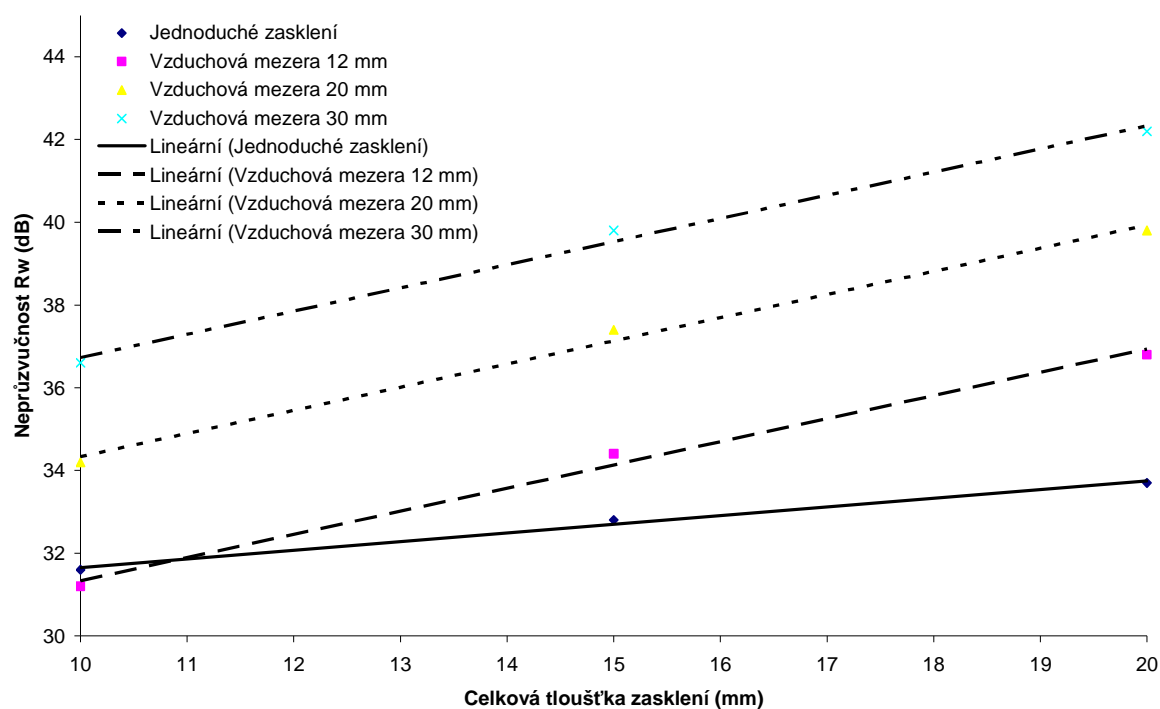
Požárně technické vlastnosti jsou definovány rozdílně pro okna a dveře. V okolí dveří se předpokládá prostor bez požárního rizika, v okolí oken nikoliv. Požadavky jsou definované zvlášť pro zasklení a pro rám. Systém zasklení musí vyhovovat kritériu integrity a izolace, které určují požadavky na zachování celistvosti a vedení a sálání tepla při požáru. Dřevěné okenní rámy jsou považovány za hořlavé s požární odolností do 30, výjimečně do 45 minut, za nehořlavé se považují pouze kovové rámy (Puškár, 2003). Okna, pokud mají šířku alespoň 500 mm, výšku 800 mm a výšku parapetu 1200 mm, slouží jako náhradní úniková alternativa, ale nezapočítává se do únikových cest. Testování výrobků probíhá destruktivními zkouškami.

Vodotěsnost je schopnost výplně otvoru odolat průniku vody. Posuzuje se u oken, dveří a vrat. Hájek (2004) předpokládá nulovou propustnost vody všemi spárami: připojovací, funkční i zasklívací. Zkouška probíhá za ostřikování spár výplně umístěné ve zkušební komoře za zvyšujícího se tlaku. Zkušební postupy a principy udává Polášek (1997). V současné době však byly mírně změněny přijetím nových norem ČSN EN 1027 *Okna a dveře - Vodotěsnost - Zkušební metoda*. Klasifikace je založena na maximálním tlaku, při kterém zůstane vzorek vodotěsný po požadované dobu. U dřevěných oken je tento problém řešen rámovou okapnicí sloužící k odvodu vody. Voda z dutin musí být vhodným konstrukčním řešením odváděna do venkovního prostoru. Zároveň musí být zabráněno vztlínání, nasávání vody a zajištěna dekomprese dutin. U dveří je nejdůležitější vhodné řešení prahu. Řešení problematiky funkční spáry úzce navazuje na problematiku průvzdušnosti, přesto lze říci, že u stávajících konstrukcí se nevyskytuje vážnější problém s pronikáním vody jako důsledku průvzdušnosti konstrukce spár.

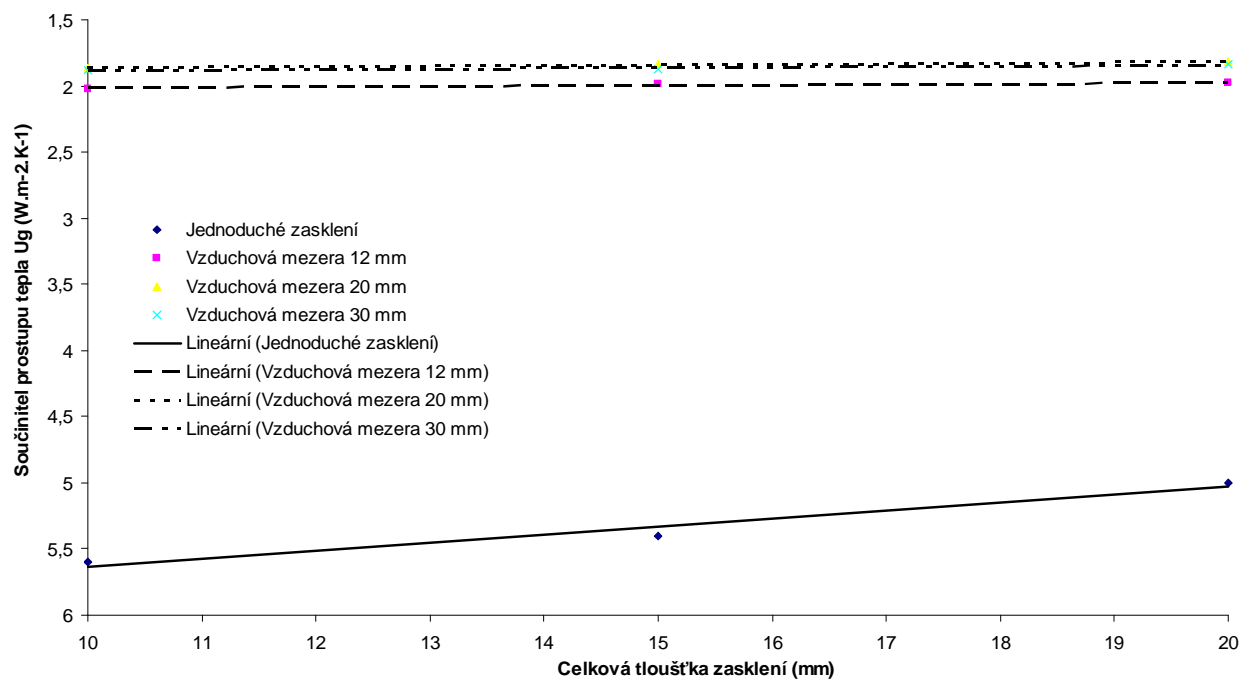
Na otvorové výplně se vztahuje několik požadavků v oblasti mechanických vlastností, odolnosti, zatížení a únosnosti. Zatížení větrem se zkouší v tlakové komoře při třech různých normou udaných přetlácích. Zjištěný průhyb pak slouží jako podklad pro klasifikace. Zkouška nesmí mít za následek snížení funkčnosti nebo zvýšení průvzdušnosti o více než 20%. U vrat se zkouší pouze statickým tlakem. Principy celé řady dalších zkoušek v této oblasti je popsán Poláškem (1997). Seznam vlastností z hlediska posuzování shody je popsán Zapletalem (2002) a Helegdou (2005).

Zvukově izolační vlastnosti otvorových výplní charakterizují jejich schopnost snižovat hluk prostupující do chráněného ohraničeného prostoru (Vaňková, 1996). Na tyto vlastnosti má hlavní vliv konstrukce výplně. Číselnou charakteristikou výrobku je laboratorně změřený stupeň vzduchové neprůzvučnosti, číselně vyjádřený indexem neprůzvučnosti, indexem zdánlivé neprůzvučnosti a indexem standardizované zvukové izolace. Veškeré tyto hodnoty jsou vyjádřeny v decibelech (dB). Požadavky otvorové výplně určuje norma ČSN 73 0532 *Akustika – Ochrana proti hluku v budovách a související akustické vlastnosti výrobků – požadavky*. Jako rozhodující se ukazuje systém zasklení, který zabírá většinu plochy okna. Neprůzvučnost lze stanovit výpočtem a je logaritmickou funkcí plošné hmotnosti skel a šířky mezery mezi nimi (Vaňková, 1996). Neprůzvučnost samotného rámu se pohybuje mezi 36 – 39 dB v závislosti na použitém materiálu (Puškár, 2003). Hluk se může šířit i spárami případně větracími šterbinami, pokud nejsou navrženy vhodně či nejsou dostatečně těsné. Součinitel spárové průvzdušnosti se stanovuje experimentálně. Zvuková izolace může být také alternativně stanovena použitím tabulkových hodnot, jak to připouští i prEN 14351. Postup takového určování demonstruje Helegda (2005). Na podkladě naměřených hodnot indexu neprůzvučnosti dle normy EN ISO 140-3 nebo EN ISO 717-1 je pak výplň zařazena

do odpovídajících tříd. Akustické vlastnosti jsou mandátové a požadavky výraznou měrou ovlivňují i tepelně-technické vlastnosti, jak ukazuje graf (Obr. 5).



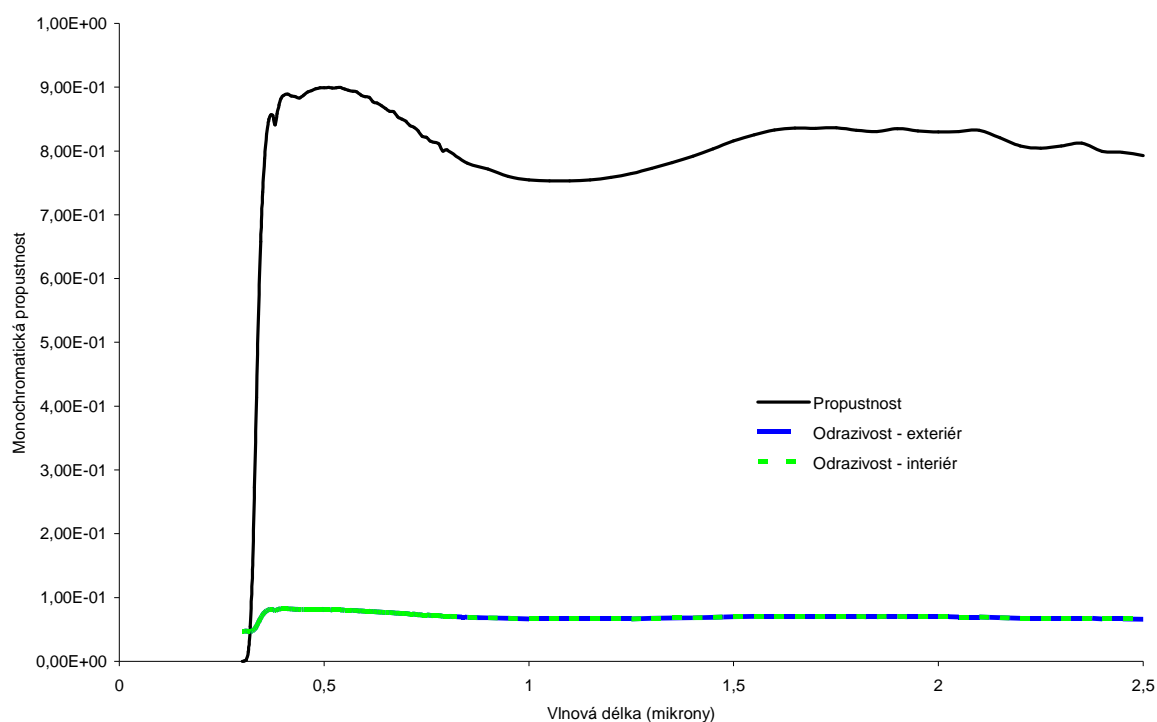
Obr. 5 – závislost neprůzvučnosti na tloušťce zasklení



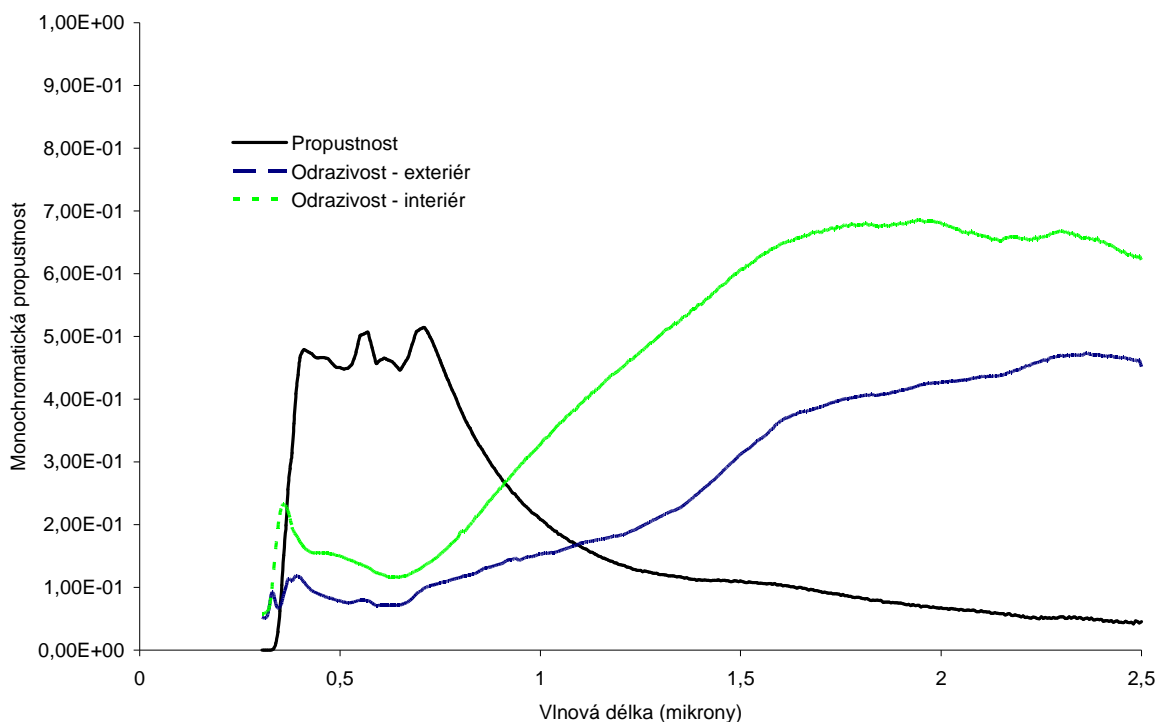
Obr. 6 – závislost součinitele prostupu tepla na tloušťce zasklení

Tloušťka skla stejně jako šířka vzduchové mezery má podstatný vliv na neprůzvučnost, ale na prostup tepla má vliv pouze vzduchová mezera, tloušťka skla jej ovlivňuje minimálně. Přesto je podobnost obou grafů (*Obr. 5* a *Obr. 6*) více než zřejmá. Výpočtem dle ČSN EN ISO 10077-1 lze potvrdit, že spíše než tloušťkou skla lze prostup tepla podstatně upravit modifikací jeho fyzikálních parametrů, například pokovením, které však nemá z hlediska neprůzvučnosti vůbec žádný efekt. Zvětšování mezery mezi skly, kterým se zlepšují oba porovnávané parametry, má efekt pouze do určitého limitu, jak vyplývá z užívaných empirických rovnic (Vaňková, 1996) a jak potvrzuje i Hájek (2002) a Puškár (2003).

Optické nebo také radiační vlastnosti výplní otvorů určuje charakter zasklení a u oken také vzájemný podíl zasklení a rámu (Bystřický *et* Kaňka, 1999). Udávané parametry a jejich definice se však v literatuře, normách a materiálech výrobců poněkud liší. Radiační vlastnosti jsou dle normy prEN 14351 mandátové a uvádí se hodnota slunečního faktoru  $g$  a světelné propustnosti, někdy uváděné jako prostup záření. Sluneční faktor  $g$ , někdy také nazývaný činitel propustnosti celkové sluneční energie, je složen z přímé transmise energie a sekundárního výdeje tepla prosklené plochy směrem dovnitř do interiéru, který vzniká na základě absorbovaných slunečních paprsků. Udává se poměrem k nezasklenému otvoru. Dle Dahlsveena (2003) je jeho hodnota mírně vyšší než propustnost záření. Určuje se výpočtem na základě EN 673, EN 410 a ISO 15099 (IZOLAČNÍ SKLA, 2003). Propustnost světla je definována Bystřickým *et* Kaňkou (1999) jako poměr prošlého světelného toku ke světelnému toku dopadajícímu. Propustnost se udává primárně pro viditelnou část spektra, sekundárně pro záření 0,3 – 2,5  $\mu\text{m}$ . Doplňujícími hodnotami k propustnosti je odrazivost a pohltivost.



Obr. 7 – optické vlastnosti u jednoduchého zasklení



Obr. 8 – optické vlastnosti pokoveného skla

Z hlediska radiačních vlastností je žádoucí co nejvyšší propustnost viditelného záření. Další vlastnosti již závisí na individuálních požadavcích, které požadují maximalizaci nebo minimalizaci solárních zisků, jejichž princip byl popsán v kapitole 2, modifikací vlastností skla pomocí pokovení či speciálních fólií. Tyto modifikace odrážejí dlouhovlnné záření, zabráňují tepelným ziskům od slunečního záření, a zároveň unikům tepla z vnitřních prostorů a také minimalizují prostup zdraví škodlivého ultrafialového záření do místnosti. Dopady jsou demonstrovány grafem (Obr. 7) který představuje spektrální propustnost jednoduchého skla a grafu na obrázku 8, což je dvojsklo s pokovenou vrstvou. Díky účinkům pokovení dvojsklo propouští maximum záření ve viditelné oblasti vlnových délek 0,380 až 0,780 mikrometrů a naopak odrážejí záření vyšších vlnových délek směrem dovnitř i ven. Propustnost čírého skla je vyšší, ale odrážejí pouze zanedbatelnou část záření. Demonstrace je provedena programem Optics 5.1 (Berkley, 2002).

### 3.4. Životnost výplní otvorů

Životnost je doba, po kterou může výrobek při správném užívání a ošetřování plnit svoji funkci. Vyjadřuje se pomocí časového úseku od počátku užívání do jeho zničení. Morální životnost výrobku je znehodnocení užitné hodnoty působením času nebo v důsledku rozvoje vědy a techniky (ČSAV, 1987). Česká energetická agentura (2001) navíc zavádí pojem hospodárná doba životnosti, což je empirická hodnota odvozená ze zkušenosti a začíná s protokolárním předáním, převzetím zařízení a prvním zahájením provozu zařízení. Je ukončena, když opravy, údržba a náklady na obnovení jednotlivých částí zařízení vyžadují tak velké náklady, že nejsou obhajitelné v porovnání s pořízením nového zařízení. Se vzrůstajícími náklady na údržbu se může v budoucnu ukázat tomu odpovídající zkrácení doby užití technických zařízení nebo částí zařízení. Doba užití může být ovlivněna také tím, že po určité době neodpovídá zařízení či jeho podstatné části obecně uznávanému stavu

techniky a/nebo předpisům. Hospodárná doba životnosti je tedy víceméně totožná s morální životností výrobku.

Česká energetická agentura (2001) předpokládá pro ekonomické kalkulace v oblasti úspor energie životnost otvorových výplní 50 let bez rozlišení materiálu a při přiměřené údržbě. Thompson (2005) shrnuje poznatky v oblasti životnosti různých okenních rámců a výsledky aktuálních nezávislých studií ve Velké Británii. Jako nejnižší životnost je uváděna životnost u plastových okenních rámců (20 - 25 let). Životnost dřevěných okenních rámců je vyšší ale uváděné údaje se značně liší: 60 let (Couden Housing Capital Projects, 2004), 25 až 30 let (BRE, 2002). Zjišťováním životnosti metodou umělého stárnutí se zabýval Asif *et al.* (1998) a jako zjištěnou hodnotu udává 35 – 40 let. Dahlsveen (2003) udává hodnotu 30 let jako běžnou pro oblast Skandinávie, konkrétně Norsko. Jednoznačné určení tohoto klíčového parametru je však problematické. Zejména z důvodu rozdílné životnosti různých částí konstrukce a povrchové úpravy.

Životnost závisí nejen na užitých materiálech, konstrukci a prostředí, ale také na údržbě. Životnost celých výplní otvorů se běžně nezkouší, není ani definována jako mandátová nebo nemandátová vlastnost a v odborné literatuře není jednoznačně definován postup nebo předpis, jak takovou zkoušku provádět. Prostředky pro povrchovou úpravu jsou testovány tzv. Xenotestem dle ČSN EN ISO 11341 *Nátěrové hmoty - Umělé stárnutí a expozice umělému záření - Expozice filtrovanému záření xenonové obloukové výbojky a pomocí simulace povětrnosti dle ČSN EN 927-6 Nátěrové hmoty - Povlakové materiály a povlakové systémy vnější na dřevo - Část 3: Zkouška přírodním stárnutím*.

U dřevěných výplní otvorů lze předpokládat některé změny funkčních vlastností jako důsledek přirozené degradace materiálu vlivem prostředí. Dřevo si však bez problémů zachovává svoje tepelně-technické vlastnosti, jediný problém může vyplynout z možných tvarových změn jako důsledek pronikání vlhkost, které může způsobit nevhodně navržená konstrukce a povrchová úprava. Důsledkem je pak zvýšení průvzdušnosti. Mrlík (2000) udává zvýšení průvzdušnosti funkční spáry oproti laboratorním hodnotám o 63% po pětiletém užívání. To však může být také vysvětlováno jako důsledek opotřebení těsnění případně nesprávného zabudování okna. V průběhu životnosti se mohou také změnit vlastnosti zasklení, zejména u izolačních skel plněných plynem. Pokud předpokládáme nejvyšší roční přípustný únik plynové náplně 1%, jak udává Šafka (2006), pak za dobu životnosti 30 let dojde k poklesu množství argonu na 67%. Jako důsledek se zhorší součinitel prostupu tepla například u argonem plněného izolačního dvojskla z původní hodnoty 1,3 na 1,5 W.m<sup>-2</sup>.K<sup>-1</sup>. Výpočet hodnot je proveden na podkladě ČSN EN ISO 10077-1 a Řehánka (2002).

### 3.5. Dílčí závěr

Požadavky na vlastnosti otvorových výplní jsou obecně stanoveny v legislativě a konkrétní hodnoty a zkušební a výpočtové postupy udávají normy. Z pohledu odborné analýzy není takový způsob hodnocení dostatečný, protože plnění normových požadavků nezaručí vždy pohodu prostředí, protože otvorová výplň je vždy jen jedním ze spolupůsobících faktorů při jeho tvorbě.

Otvorová výplň musí mít takové vlastnosti, aby splňovala zákonné požadavky, zajišťovala optimální pohodu prostředí v místnosti, kde je instalována, a její vlastnosti byly přiměřeně časově stálé po celou dobu životnosti. Z těchto předpokladů vychází i navazující rozbor v této práci.

#### **4. Dřevěná otvorová výplň jako výrobek**

V předchozích kapitolách byly podrobně popsány požadavky na vlastnosti výplní otvorů, způsoby jejich zjišťování a dopady na vnitřní prostředí. Tyto nároky a mechanismy nijak nezávisí na materiálu, ze kterého je otvorová výplň vyrobena a samotný materiál rámu ovlivňuje skutečně závažným způsobem jediný parametr – životnost. Tepelně-technické vlastnosti dřevěných rámu oken, balkónových dveří a dveří se díky jednotným požadavkům podstatněji neliší od svých plastových a kovových konkurentů. Přesto však je mezi nimi jeden podstatný rozdíl, který spočívá ve výrobních postupech, charakteru materiálu a konstrukci. Tato část práce je věnována popisu dřevěné otvorové výplně jako výrobku s důrazem na údaje a skutečnosti využitelné pro hodnocení rozdílů mezi alternativními konstrukcemi a materiály. Je rozebírán celý cyklus těchto výrobků, od získání materiálu po možnosti recyklace nebo konečného zneškodnění.

Dřevo je pro okna a dveře tradičním a v minulosti zcela dominantním materiálem. Během doby se změnila jednoduchá okna užívaná od období renesance v okna dvojítá, která se začala v našich zeměpisných šířkách masivně rozšiřovat od druhé poloviny 19. století. Začátkem 20. století se objevují okna zdvojená, mající na obvodu polodrážku a styk rámu s křídlem je vybaven těsněním (Puškár, 2002). Od padesátých let byla zřetelná snaha o typizaci a normalizaci dřevěných výplní otvorů, což bylo dáno snahou o efektivní a masovou výrobu. Objevují se nové konstrukce se zdvojenými křídly a s přidruženým křídlem. Masivní panelové výstavba, trvající od šedesátých do osmdesátých let, měla negativní vliv na konstrukční inovace i kvalitu díky tlaku na minimální výrobní náklady. V rámci tehdejšího Československa se až do konce 80-tých let vyráběla většina oken jen ze dřeva (Reisner, 2005). Tepelně-technické vlastnosti používaných oken a dveří lze hodnotit jako nedostatečné. Okna se od padesátých let dodnes dodávají plně prefabrikovaná, což značně zjednodušuje osazování.

Konstrukce dveří prošla ve svém historickém vývoji poměrně malými změnami. Původně užívaná těžká desková křídla se v renesanci nahrazovala rámovou odlehčenou konstrukcí. Podstatnější rozvoj nastal až během dvacátého století s nástupem nových materiálů a řešení nejen u křidel, zejména zavedením sendvičových konstrukcí, kování, zárubní a těsnění.

Počátek 90-tých let je ve znamení masivního nástupu plastů, které měly v porovnání s běžně užívanými dřevěnými konstrukcemi lepší tepelně-technické vlastnosti, nízkou cenu a poměrně malé nároky na výrobní technologie a navíc umožňovali širokou paletu modifikací v oblasti rozměrů, tvaru a zasklení. Dřevěné otvorové výplně sice ztratily svoje dominantní postavení na trhu, ale i u nich došlo k masivnímu zlepšení kvality a vlastností. Ze zahraničí, zejména německy hovořících zemí, byla přejata konstrukce tzv. EURO oken, což je konstrukce jednoduchého okna s pokročilým systémem zasklení a s celoobvodovým kovááním. Tato konstrukce je nyní dominantní. V současnosti se výrobou dřevěných výplní otvorů vlastní, tradiční, či EURO konstrukce zabývá řada menších a středních výrobců. Situace na trhu se podobá situaci v ostatních zemích se srovnatelnými klimatickými podmínkami. Například v Německu tvoří dřevěná okna stabilně mezi 25 a 30% prodeje nových oken (Al-Hajjar, 2002).

V budoucnu lze předpokládat postupné odstraňování největších slabin dřevěných výplní otvorů, většinou v oblasti údržby dřevěných částí a regulace výměny vzduchu. S vzrůstajícími cenami energií je možné počítat se zlepšováním tepelně-technických vlastností a to zejména zvýšením tloušťky rámu, kombinací s dalšími materiály, jako je hliník a PUR pěny, a zejména širšího užití pokročilých systémů zasklení a kování.



## 4.1. Výplně otvorů

Za výplně otvorů na bázi dřeva lze považovat okna, střešní okna, dveře, balkónové dveře a vrata. Z pohledu užitých materiálů lze zahrnout nejen čistě dřevěné konstrukce, ale i kombinace dřeva s kovem, zejména hliníkem, a plastem.

### 4.1.1. Definice a rozdělení výplní otvorů

Dominantní pozornosti ze všech otvorových výplní těší okno, zejména pro množství často protikladných požadavků, jeho vlivu na vnitřní prostředí a konstrukční náročnost. Pro účely posuzování funkčních vlastností, tedy i tepelně-technických, je nejdůležitější rozdělení oken podle konstrukce na okna jednoduchá, jednoduchá s dvojsklem případně trojsklem, zdvojená a dvojí. Další členění se provádí dle způsobu otírání, členění a řešení v ostění a parapetu. Konstrukce balkónových dveří je obdobná jako u oken, pouze jsou mírně zesíleny některé části konstrukce, zejména spodního vlys rámu a kování.

U střešních oken je podíl dřevěných výrobků dominantní, z malé části jsou zastoupeny konstrukce kombinované s hliníkem. Rozlišujícím rysem je způsob otírání, podle nějž se dělí na kyvná a kyvně-výklopná.

Dřevěné dveře se dělí na venkovní a vnitřní, u vnitřních pak podrobněji podle konkrétního určení. Z konstrukčního hlediska jsou rozdělena na rámová a desková. Rámová se pak dále člení dle výplně, která může být voštinová, dřevotřísková, z laťovky, případně izolačního materiálu. Deskové konstrukce jsou sendvičovou konstrukcí sestávající z různých materiálů. Dělení se také provádí dle konstrukce zárubní a způsobu otírání.

Dřevěná vrata rozděluje podle počtu křídel, dle způsobu otírání a podle tepelně-technických vlastností na izolovaná a neizolovaná.

### 4.1.2. Užívané dřevěné materiály

Pro výrobu otvorových výplní se používá široká škála dřevin domácího a zahraničního původu. Nejčastěji se užívá smrk, borovice, modřín, dub, buk a tropická dřevina meranti. Díky konstrukci moderních výplní otvorů, zejména lepených hranolů, je u všech těchto materiálů zajištěna rozměrová stabilita a pomocí adekvátních povrchových úprav i srovnatelná životnost. Na tepelně-technické vlastnosti má vliv přenos tepla ve dřevě, který se uskutečňuje všemi třemi základními formami – vedením, prouděním a sáláním. Vedení je dominantní a ostatní způsoby se zanedbávají (Siau, 1981). Za neméně důležité lze považovat vlastnosti související se zpracováním, zejména obráběním dřeva.

Anizotropie, způsobená anatomickou strukturou dřeva, se projevuje rozdílnou tepelnou a teplotní vodivostí v podélném, radiálním a tangenciálním směru dle orientace fibril v buněčné stěně (Gandelová, 2002). Vedení se popisuje nejčastěji Fourierovým zákonem. Tepelnou vodivost lze získat pomocí empirických modelů vycházejících z anatomických parametrů případně analogií s elektrickým obvodem, jak uvádí Siau (1981). Tepelná a teplotní vodivost je obecně funkcí hustoty a vlhkosti. Vlhkost lze považovat u řádně provedených otvorových výplní za konstantní.

Z materiálů tvoří největší podíl na produkci smrk, zejména díky nízké ceně, vyhovujícím vlastnostem a snadnému zpracování. Modřín se vyznačuje výraznější strukturou než smrk nebo borovice a používá se proto častěji pokud jsou na výplně otvorů větší estetické požadavky. Z hlediska běžného dělení se jmenované považují za měkké dřevo podle anatomických parametrů (Bodig, 1993). Toto rozdělení je respektováno i při zjišťování tepelně-technických vlastností rámu dle ČSN EN ISO 10077-1, kde však slouží jako kritérium

pro rozdělení hustota při 12% vlhkosti. Z domácích tvrdých dřevin se využívá dub a buk, ze zahraničních pak meranti (*Shorea Rubroshorea*) pocházející většinou z tropických lesů Malajsie, Indonesie a Filipín (IdeMat Database, 2006). Jeho výhodou je dobrá zpracovatelnost a značná trvanlivost (Fiala, 2002). Větší trvanlivost a životnost u tvrdých dřev je vykoupena nižším tepelným odporem, jak vyplývá z anatomického modelu vedení tepla. Jednotlivé dílčí hodnoty tepelné vodivosti lze čerpat s Gandelové (2002) a databáze IdeMat (2006). Zastoupení ostatních dřev na trhu je malé a vyskytují se především u kusových zakázek na přání zákazníka.

Dřevo	Tepelná vodivost [W.m <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> ]	Hustota [kg.m <sup>-3</sup> ]
Smrk ( <i>Picea abies</i> )	0,113 – 0,157	450
Borovice ( <i>Pinus sylvestris</i> )	0,11	535
Modřín ( <i>Larix decidua</i> )	0,14	590
Buk ( <i>Fagus sylvatica</i> )	0,15	720
Dub ( <i>Quercus robur</i> )	0,3 – 0,35	725
Meranti ( <i>Shorea Rubroshorea</i> )	0,17	670

Tab. 7 – vlastnosti užívaných dřevin

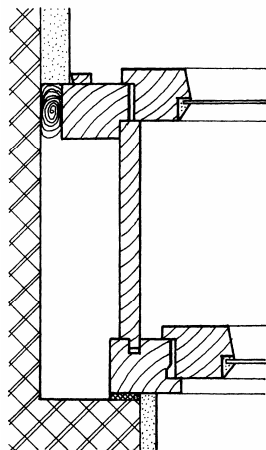
Určovat tepelně-technické vlastnosti pouze na základě znalostí o tepelné vodivosti a vztahů dle normy může být zavádějící, zejména kvůli značné složitosti tohoto jevu ve struktuře sestávající z několika materiálů, z nichž některé mohou působit jako tepelné mosty (Hájek, 2004). Takto zjištěné hodnoty lze považovat pouze za orientační. Za přesnější se považují údaje zjištěné numerickými výpočtovými metodami konečných prvků nebo rozdílů. Jednoznačně nejprůkaznější jsou výsledky normovaného měření celé konstrukce v podmínkách co nejvíce se blížících skutečným.

#### 4. 2. Konstrukce dřevěných oken, dveří a ostatních otvorových výplní

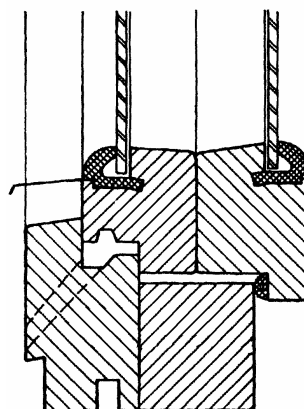
Konstrukce dřevěných výplní otvorů je pro tepelně-technické vlastnosti určující, nicméně v současnosti lze považovat za nejpodstatnější vlastnosti zasklení, obzvláště pokud se jedná o izolační dvojskla, trojskla, či jiné pokročilé konstrukce, například Heat Mirror. V minulosti byly normou předepsány rozdílné součinitele prostupu tepla v závislosti na konstrukci a materiálu, zejména starou verzí normy ČSN 73 0540-3 a ČSN 74 6101. Nyní jsou požadavky jednotné a je nutné provést buď vlastní výpočet, spolehnout se na údaje výrobce, případně vycházet z normy platné v době instalace výplně. Pokud nejsou k dispozici žádné dokumenty, jsou pro výpočet tepelných ztrát rozhodující právě tepelně-technické vlastnosti zjištěné na podkladě normových vlastností konstrukce a materiálu otvorové výplně v době jejich instalace.

#### 4.2.1. Konstrukce dřevěných oken

Pro potřeby popisu je možné rozdělit okna do 3 skupin. Na tradiční, většinou bez izolačního dvojskla, které představují jak okna zdvojená, okna se sdruženým křídlem a okna dvojítá. Druhou skupinou jsou okna standardní, které vycházejí modelu jednoduchého okna o tloušťce 68 mm a jsou vybavena izolačním sklem. Poslední skupinou jsou progresivní konstrukce, ať se již jedná o jednoduché okno s rámem vyšších tloušťek, nebo kombinace dřeva s izolačními pěny, hliníkem a plastem. Zvláštní skupinu v rámci oken tvoří střešní okna a balkonové dveře.



Obr. 9 – zdvojené okno



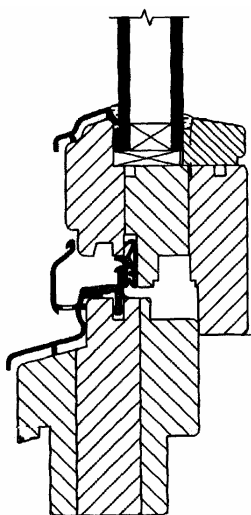
Obr. 10 – dvojité okno

Nejtradičnější konstrukci představují dvojítá okna (Obr. 9), která se instalovala na většině obytných, administrativních a školních budov do padesátých let. Jedná se o jednoduchou konstrukci. Okno je otevíravé dovnitř s dvěma a více křídly a s jednoduchým kováním. Protože se jednalo většinou o kusovou výrobu, vyskytuje se velká šíře materiálů i členění. Po obvodu profilu křídla i rámu je polodrážka. Okapnice je součástí dolního vlysu křídla. Vlysy okenního křídla nebo rámu jsou spojeny na jeden případně dva čepy. Obložení stěn je zpravidla spojeno v rozích rybinou nebo ozuby. Zasklení je provedeno pomocí tmelu v polodrážce, případně pomocí tmelu a lišty. Pro povrchové úpravy se tradičně užívaly olejové nátěrové hmoty, které díky své dlouhé době zasychání umožňují nanést pomocí štětce dokonalý rovnoměrný nátěr, který je navíc odolný proti UV záření, pomalu degraduje a má dlouhou životnost. Tato okna se používají dodnes. Jejich rekonstrukce je poměrně jednoduchá a pokud se vybaví přídatným těsněním a vnější křídlo izolačním dvojsklem, tak splňují i stávající tepelně-technické požadavky. Díky šířce vzduchové mezery vynikají i nadstandardními akustickými vlastnostmi. Mezi nevýhody patří náročnější údržba a čištění. Vyskytují se i dvojítá okna moderní konstrukce, kdy je vnější křídlo na bázi EURO profilu včetně dvojskla a vnitřní křídlo už jen zlepšuje dosahované povrchové teploty, jak ukazují simulace provedené Klepárníkem (2005).

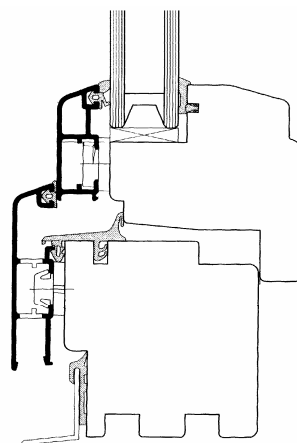
V padesátých letech došlo ke změně v organizaci výroby i ve struktuře poptávky. Individuální výrobu nahradila postupná centralizace výrobních kapacit a dominantním odběratelem byla masivní panelová výstavba. Požadavky na okna byly normovány a bylo zavedeno zkušebnictví. Konstrukci oken prováděla specializovaná pracoviště a výsledkem byly dvě konstrukce: okno se zdvojenými křídly a okno s přidruženým křídlem. Velmi často

byla okna řešena jako otočná doplněna otevíravým větracím křídlem, jako otevíravě-sklopná nebo kyvná. Tepelně-technické vlastnosti těchto oken byly díky kombinaci konstrukčního řešení, zejména malé šířce rámu, vzduchové mezeře a nekvalitnímu provedení horší než u dvojitých oken. Velká vzduchová propustnost a zatékavost měly negativní vliv na tepelnou pohodu, pohodu bydlení a podílely se na degradaci stavby. Tepelně-technické vlastnosti nebyly, z důvodů nízkých cen energií, považovány za prioritní. Těsnění spár se neužívalo nebo mělo nedostatečnou životnost.

Z architektonických a ekonomických důvodů měla tato okna velkou plochu zasklení a slabé dimenzování všech dřevěných konstrukčních prvků a kování. Byl používán nekonečný vlys a v dolní části rámu byla umístěna sběrná drážka. Zasklívání bylo prováděno až po povrchové úpravě a to buď pomocí tenkých dřevěných nebo plastových lišt případně pryžových zasklívacích profilů. Povrchová úprava byla prováděna vícenásobným namáčením za použití rychleschnoucích syntetických nátěrových hmot s problematickými vlastnostmi a životností. Problematikou konstrukce a závad těchto typů dřevěných oken se blíže zabývá Raisner (2005). Typické okno této konstrukce je zobrazeno na obrázku 10.



*Obr. 11 – EURO okno*



*Obr. 12 – kombinované okno*

Koncepce v současnosti nejužívanějších konstrukcí vychází z německého modelu jednoduchého okna tloušťky 68 mm, případně 78 mm (Soukup, 2005). Celý systém je velmi flexibilní a výrobu lze provádět kusově i sériově. Aplikován je systém zasklení izolačním dvojsklem případně trojsklem. Rám i křídlo se vyrábí z několikavrstvé lamely – EURO hranolu. Jednotlivé čepy se prodlužují pomocí mikročepů a vzájemně se lepí. Vlys se většinou spojuje na dvojitý čep, ale při výrobě z polotovarů lze užít i spojení rybinou, například systémem DOMINO (2006). Běžně jsou užívány termookapnice, kdy je zadní část hliníkové okapnice a těsnění vyrobeno z plastu a tak zabraňují tvorbě tepelného mostu. Obvodové těsnění bývá většinou dvojestupňové a styk je chráněn okapovou lištou a dešťovou zábranou, jak je zřejmé z obrázku 11. Takto řešená okna lze považovat za velmi těsná a nezajišťují dostatečnou výměnu vzduchu dle normativních požadavků (Mrlík, 2000). Proto je většinou použito celoobvodové kování s vícepolohovým uzávěrem kování, které umožňuje tzv. mikroventilaci zajistit dostatečnou výměnu vzduchu v interiéru.

Zasklení izolačního dvojskla se provádí pomocí zasklívací lišty, kdy je vlastní izolační dvojsklo vloženo do těsnícího profilu, tmelového lože nebo do podložných pásků a uzavřeno trvale pružným tmelem. Poloha zasklívací polodrážky do značné míry ovlivňuje případnou kondenzaci na okraji zasklení, jak uvádí Hájek (2004). Pro povrchové úpravy se užívá silnovrstvých lazurovacích laků, často ředitelných vodou, které jsou nanášeny stříkáním silných vrstev.

Tepelně-technické vlastnosti standardních oken lze hodnotit jako velmi dobré, zejména pokud je použito kvalitního systému zasklení. Výhodou těchto oken je také snadná údržba v porovnání s předchozími konstrukcemi na bázi dřeva, přesto však je jejich údržba náročnější než u oken z alternativních materiálů (Thompson, 2005).

Konstrukce	Prostup tepla oknem $U_W$ [W.m <sup>-2</sup> .K <sup>-1</sup> ]	Prostup tepla rámem $U_F$ [W.m <sup>-2</sup> .K <sup>-1</sup> ]	Součinitel spárové průvzdušnosti $i$ [m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> .m <sup>-1</sup> .Pa <sup>-0,67</sup> ]	Poznámka
Dvojitá okna	2,5 - 2,4	- <sup>2)</sup>	1,2. 10 <sup>-4</sup>	Dle ČSN 73 0540 z roku 1994
Dvojitá okna s izolačním dvojsklem	1,7	- <sup>2)</sup>	0,06. 10 <sup>-4</sup>	$U_W$ dle ČSN 73 0540 z roku 1994, i dle Mrlíka (2000)
Zdvojená okna	2,7 - 2,35	1,8 - 2,1	1,4. 10 <sup>-4</sup>	$U_W$ dle ČSN 73 0540 z roku 1994, $U_F$ dle výpočtu ČSN EN ISO 10077-1
EURO 68 klasické	<2 <sup>1)</sup>	1,8 - 2,1	0,01 - 0,85. 10 <sup>-4</sup>	$U_F$ dle výpočtu ČSN EN ISO 10077-1, i dle ČSN 73 0540 z roku 2002 a Mrlíka (2000)
EURO 78	<2 <sup>1)</sup>	1,7 - 2	0,01 - 0,85. 10 <sup>-4</sup>	
EURO 88	<2 <sup>1)</sup>	1,6 - 1,9	0,01 - 0,85. 10 <sup>-4</sup>	
Dřevohliníková TTK PASIV	<2 <sup>1)</sup>	0,7	0,01 - 0,85. 10 <sup>-4</sup>	$U_F$ dle výrobce, i dle ČSN 73 0540 z roku 2002 a Mrlíka (2000)
Dřevohliníková s PUR výplní INTERNORM geniAL4	<2 <sup>1)</sup>	0,9	0,01 - 0,85. 10 <sup>-4</sup>	

1)  $U_W$  nelze jednoznačně určit kvůli vlivu zasklení, uvedena minimální požadovaná hodnota dle ČSN 73 0540-2: 2002

2)  $U_F$  nelze udát kvůli vlivu šířky

Tab. 6 – tepelně-technické vlastnosti vybraných okenních konstrukcí

Pokročilé konstrukce se zavádí zejména z důvodu zlepšení součinitele prostupu tepla rámem, protože problematika průvzdušnosti je uspokojivým způsobem vyřešena již u stávajících oken. Tato snaha je motivována především soustavným zlepšováním parametrů zasklení, se kterou se snaží výrobci rámu a jejich částí držet krok. Nejjednodušší konstrukční změnou je rozšíření profilu na 78 až 88 mm u běžných EURO oken. Další možností je užití sendvičové lamely, kdy je prostřední část hranolu nahrazena PUR pěnou. Alternativou je kombinace dřevěné nosné konstrukce s hliníkovými profily, které jsou kombinací běžné

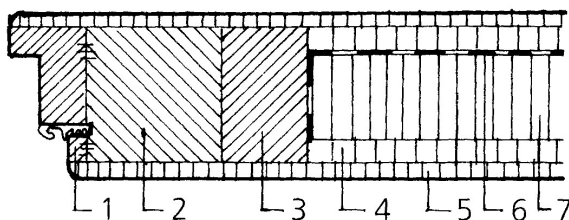
třívrstvé lamely, ve které je uloženo zasklení, a hliníkových profilů připojených k dřevěné části plastovým profilem (*Obr. 12*). Hliníkový profil obsahuje ve svých dutinách vzduchovou vrstvu nebo termoizolační pěnu. Za běžné se považuje třístupňové celoobvodové těsnění. Velkou výhodou tohoto řešení je bezúdržbovost hliníkových profilů.

Střešní okno je výplňová konstrukce osazená šikmo v rovině střechy. Střešní okna se považují za specifická zejména z důvodu extrémního klimatického zatížení (Puškár, 2003). Nejčastěji užívaným materiálem je lamelové dřevo ze severské borovice nebo smrku. Rohové spojení je zajištěno většinou dvojitém čepem. Okno je z vnější strany oplechováno měděným, titan-zinkovým nebo hliníkovým plechem. Spolehlivost těsnění zajišťuje systém falcování a překrytí, což minimalizuje nároky na údržbu rámu. Zasklení je provedeno izolačním zasklívacím systémem do polodrážky případně do speciálních úchytků nebo oplechování. Velký význam pro funkci má i vhodné řešení lemování, které odvádí vodu z okolí okna. Používá se dvou až tříúrovňové těsnění. Střešní okna jsou tedy velmi těsná a větrání je většinou řešeno pomocí větrací klapky.

#### 4.2.2. Konstrukce dřevěných dveří

Z konstrukcí dřevěných dveří jsou pro účely této práce podstatné pouze ty, na které se vztahují tepelně-technické požadavky. Pokud se u dveří vyskytuje zasklení, je nutné jejich tepelně-technické vlastnosti zjistit výpočtem složené konstrukce dle normy ČSN EN ISO 10077-1. Výrobci samotní často u dveří neudávají součinitel prostupu tepla a tak je nutné často vycházet pouze z údajů aktuálního vydání normy ČSN 73 0540-2. Důvodem je zejména menší plocha dveří v porovnání s okny a tudíž menší dopad jejich parametrů na energetickou bilanci stavby, stejně jako fakt, že často neoddelují přímo obytné prostory, tudíž mají menší vliv na vnitřní prostředí, a obecně pracují s menšími rozdíly teplot než okna. Požadovaná hodnota součinitele prostupu tepla se udává včetně rámu a je požadována  $3,5 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$  a doporučená je  $2,3 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$ . Požadavky na průvzdušnost jsou u budov s přirozeným větráním stejné jako na okna.

Dle Hájka (2002) se tedy požadavky na tepelně-technické vlastnosti vztahují zejména na vchodové a bytové dveře, i když oddělují zpravidla pouze nevytápěný schodišťový prostor od bytového vytápěného prostoru. Konstrukce dveří sestává z dvevního křídla a zárubně, zakotvené do okolního zdiva či podlahy. Stojky a nadpraží se spojují začepováním, dvojitém čepem nebo pomocí kolíků. Podobně jako u oken se vyskytuje problém povrchové teploty, zejména u zárubní. Z toho důvodu je vhodné používat zárubně na bázi dřeva, plastů, či kovů s přerušeným tepelným mostem.



**Rámová konstrukce dveří**

- 1 - ukončující profil, 2 - rám dvevního křídla,
- 3 - stabilizace rámu dřevěným profilem, 4 - laťovka,
- 5 - překližka s dýhou, 6 - parotěsná zábrana,
- 7 - izolační výplň

*Obr. 13 – konstrukce dveří*

U deskových křídel jsou desky spojeny výztuhou, nebo se sbíjejí ve dvou vrstvách točených o 90 nebo 45°. Desky mohou být také řešeny na sraz či na pero a drážku.

Dvevní křídlo je většinou sendvičová konstrukce s velkým difúzním odporem a parotěsnou zábranou umístěnou na straně interiéru, kterou představuje spojitý nátěr, lepenka nebo fólie. Nosný rám u rámových dvevních křídel sestává z lamelových, dřevěných či kovových profilů a výplň tvoří materiály s malou hustotou, jako jsou například vytvrzený polyuretan nebo desky z minerálních vláken. Plášť stabilizuje celou konstrukci křídla, která je nejčastěji řešena jako sendvičová konstrukce s pevným jádrem. Plášť je k rámu připevněn lepením a lisováním, po kterém následuje frézování otvorů pro kování a povrchové úpravy. Blíže se výrobě dvevních křídel věnuje Polášek (1996). Funkční spára je řešena jako dvojitá polodrážka, odvodňovací drážka do venkovního prostoru a dekompresní dutina. Těsnění je jednoduché nebo dvojitě vedené v souvislé rovině. Dvevní křídlo nemá ve spodní části polodrážku. Zvláštní pozornost je věnována řešení prahů u vnějších dveří, kde je vytažena hydroizolace za spojovací profil zárubně.

#### 4.2.3. Systémy zasklení

Použitý systém zasklení lze považovat za určující činitel pro tepelně-technické vlastnosti výplní otvorů (Hájek, 2004). V této oblasti došlo v posledních letech k bouřlivému vývoji, kdy byli součinitele prostupu tepla sníženy o desítky procent díky užití speciálních fólií, plynových náplní a selektivního pokovení. Tento vývoj také ovlivňuje konstrukci rámu, kdy je snaha snížit rozdíly ve vlastnostech rámu a zasklení a také eliminovat některé konstrukční nedostatky izolačních skel, jako je například působení distančního rámečku. Pro potřeby této práce jsou popsána pouze běžná izolační skla a není zde věnován prostor speciálním sklům se zvukovou ochranou, bezpečnostním a protipožárním sklům.

U dvojitých a zdvojených oken se tepelně-technické vlastnosti zasklení odvíjí od šířky mezery mezi dvěma až třemi tabulkami skla a je možné aplikovat kovovou vrstvu, tzv. tvrdé pokovení. Používá se většinou ploché sklo Float. Jedním z základních požadavků, který je platný pro veškeré systémy zasklení, je nulová propustnost zasklívací spáry (Hájek, 2002). Tradiční fixování bylo prováděno fermežovými tmely, v současnosti se užívají trvale pružné a trvale plastické tmely v kombinaci se zasklívacími lištami a profily.

Standardní technologie, užívaná v současnosti, je izolační dvojsklo, které je tvořeno dvěma tabulemi plochého skla spojeného distančním rámečkem různé konstrukce, vyplněného vysoušecím prostředkem zabraňujícím kondenzaci vodních par v prostoru mezi skly. Nejběžnější šířka vzduchové mezery je 16 mm. Spojení profilu je provedeno trvale plastickým tmelem, vnější okraj je utěsněn trvale pružným tmelem. Velmi výhodné je pokovení vnějšího povrchu vnitřního skla – tzv. měkké pokovení, které má lepší tepelně-technické vlastnosti než tvrdé pokovení (Puškár, 2003). Pokovení se provádí v rámci sklářské výroby nanášením na povrch skla při chlazení v cínové lázni (Hájek, 2002). Úpravu vlastností zasklení můžeme dosáhnout snížení solárních zisků a to buď pomocí aplikace skla barveného ve hmotě, čímž se zvýší absorpce, nebo zvýšením reflexe tenkou vrstvou oxidů kovů. Možná je i kombinace. Naopak aplikace speciálních fólií, jak uvádí Thumann *et* Younger (2003), se v tuzemsku provádí jen výjimečně. Tepelnou ochranu vnitřního prostředí lze ještě zlepšit aplikací druhé selektivní mikrovrstvy. Tím se zabrání transferu jedné ze složek tepla – radiace skrz zasklení mimo budovu. Tepelně-technické vlastnosti zasklení lze zlepšit použitím náplně různých plynů, jako je Argon, Krypton, Xenon a SF<sub>6</sub> (Řehánek, 2002).

Nejllepší běžně dostupným systémem zasklení je tepelné zrcadlo – Heat mirror, vyvinuté původně pro podmínky otevřeného vesmíru. Do meziokeního prostoru je napnuta speciální fólie pokrytá oxidy stříbra a india o tloušťce několika atomů v šesti až dvanácti vrstvách. Hlavním úkolem této fólie je odrazet tepelné a ultrafialové záření zpět ke zdroji. Pokud se tato

fólie zkombinuje se sklem s nízkoemisivním pokovením a plynovou náplní meziokenního prostoru, tak lze dosáhnout velmi nízkých hodnot součinitele prostupu tepla (Tab. 7).

Vakuové zasklení umožňuje dosažení ještě nižších hodnot než tepelné zrcadlo. Tato technologie není v současnosti příliš rozšířena a stále se vyvíjí. Pomocí vakua je redukováno vedení tepla plynem. Vakuum mezi skly je 0,01 Pa, což klade extrémní nároky na vzduchotěsné okraje skel (Puškár, 2003).

Konstrukce	Součinitel prostupu tepla zasklením $U_g [W.m^{-2}.K^{-1}]$	Prostup viditelného světla [%]	Sluneční faktor g [%]
Izolační dvojsklo 4-16-4 (Nepokovené, plněno vzduchem)	2,8	70	81
Izolační dvojsklo 4-16-4 (Pokovené, plněno kryptonem)	1,4	54	79
Izolační dvojsklo s fólií Heat mirror 6-14-F-14-6 (Pokovené, plněno vzduchem)	0,98	62	48
Izolační dvojsklo s fólií Heat mirror 6-14-F-14-6 (Pokovené, plněno argonem)	0,65	59	31
Vakuové sklo	0,1 – 0,15	-	-

Tab. 7 – vlastnosti zasklení

### 4.3. Výrobní a montážní proces dřevěné otvorové výplně

#### 4.3.1. Produkce primární suroviny

Pro komplexní interpretaci životního cyklu výrobků na bázi dřeva je nutné zohlednit i získávání primární suroviny. Výhody užití dřeva jako suroviny jsou zřejmé, protože se jedná o obnovitelný zdroj. Rozšíření rámce studie LCA na získání vstupního materiálu lze považovat za progresivnější přístup než analýzu zaměřenou pouze na výrobní procesy (Fruhwald, 1995). Takový typ studie se vyznačuje také vyšším marketingovým potenciálem. Thoroe *et* Schweinla (1995) zdůrazňují nutnost soustředit se při hodnocení biologické produkce dřeva nikoliv pouze na vstupní a výstupní toky, ale i na problematiku uhlíku v lesích a dřevěných produktech, jak je prezentuje Karjalainen *et al.* (1999).

Aby bylo možné snížit možné zkreslení výsledků, které může nastat při nevhodné alokaci dat, je vhodné rozšířit hodnocenou oblast na celou lesnickou produkci v rámci České republiky za pomoci statistických dat ČSÚ (2006) a modelovat lesnictví jako jeden proces. V případě dovozu suroviny taková data nejsou relevantní, pro získání porovnatelných výsledků je však možné postupovat obdobně. Tento postup byl již aplikován v německých studiích zaměřených na stavebně-truhlářské výrobky, na které se odvolává Thoroe *et* Schweinla (1995).



Při biologickém růstu lesa dochází k fixaci atmosférického uhlíku, zároveň však dochází vlivem rozkladných procesů biomasy k emisím uhlíkových plynů (De Feyter, 1995). V tabulce 8 jsou shrnuty výsledky spotřeby ekvivalentů CO<sub>2</sub> vztažené na 1 kg řeziva. Vzhledem k charakteru produkce výrobků na bázi dřeva lze považovat uhlík za klíčový parametr k hodnocení globálních dopadů na životní prostředí.

Studie	Země	Bilance ekv. CO <sub>2</sub> [kg ekv. CO <sub>2</sub> /kg dřeva]	Dřevo, na které se hodnoty vztahují
Grasser (1994)	Švýcarsko	- 1,833	Zcela suché
Lox (1994)	Belgie	- 2,2	20% vlhkost
Virtanen (1993)	Finsko	- 0,94	50% vlhkost
Dutilh (1994)	-	- 0,122* ( 1,22 - 2,4)	Zcela suché
Cooper (1994)	Švédsko	- 3	-

\* nižší hodnoty vycházejí z jiné metodiky – užití korekčních hodnot. Bez nich by výsledek vycházel tak, jak je uveden v závorce.

Tab. 8 – bilance CO<sub>2</sub>

De Feyter (1995) doporučuje použít výsledky získané Grasserem (1994), z důvodu započtení uhlíku vázaného nejen v lesním ekosystému, ale také v produktech na bázi dřeva.

Na množství uhlíku má však podstatný vliv i hospodaření v lesích a lokální klimatické podmínky. Karjalainen *et al.* (1999) došel simulací založenou na finské lesnické praxi k závěrům, že pouze 10% uhlíku v celkovém objemu dřevařsko-lesnického segmentu je v aktuálně využívaných výrobcích a dalších 8% je obsaženo ve skládkovaném dřevě. Na podkladě těchto výsledků lze říci, že význam lesnictví pro hodnocení globálních dopadů výrobního cyklu je minimálně stejně důležitý jako energetické nároky výroby.

Pokud porovnáme výsledky v tabulce 8 s poznatky o elementárním složení dřeva, které je u většiny dřevin velmi podobné a pohybuje se okolo 50% uhlíku s odchylkou kolem 1% (Šlezingerová, 2002), tak lze dojít k závěru, že Karjalainenovy *et al.* (1999) závěry podporují De Feytera (1995), pokud považuje Grasserovy výsledky za správné. Uhlík obsažený v dřevě nebo dřevěných produktech obsahuje jen část jeho objemu nutnou k biologické produkci tohoto materiálu.

#### 4.3.2. Pilařská výroba

Při hodnocení a popisu pilařské výroby je nutné o určité míry generalizovat, protože získat přesné a reprezentativní údaje je problematické, jak potvrzuje ČEA (2000), která výslovně uvádí, že z důvodu pestrosti produkovaného řeziva nelze porovnat vyrobená množství tak, aby se jednalo o tentýž výrobek nebo výrobek ve stejném množství. Pro potřeby následné analýzy je tedy pilařská výroba vymezena jako jeden proces. Důvodem je, že nelze spolehlivě

určit množství energie potřebné na produkci konkrétního výrobku. Pro analýzu jsou užitá především obecná statistická data zpracovávaná ČSÚ (2006), která zjišťuje měrnou spotřebu paliv, tepla a elektrické energie na výrobu vybraných výrobků, mezi kterými je uváděno i řezivo jehličnaté a listnaté neopracované.

ČEA (2000) konstatuje, že pilařská výroba řeziva je typickým provozem s převažující spotřebou elektrické energie. Do spotřeby energií se uvádí veškerá doprava ze skladu kulatiny až do expedice řeziva, zkracování, odkorňování, třídění, pořez kulatiny, kapování a omítání.

Ze zpracovávaných dřevin jednoznačně dominuje smrk, tvořící 74% dřevin na našem území (Janák *et* Král, 2003). Dominantními producenty řeziva, zejména smrkového, jsou rozsáhlé pilařské kapacity, například ve Ždírci, v Plané a ve Ptení. Tyto závody se specializují pouze na nejčtenější dřevinu, kterou zpracovávají nejčastěji pomocí agregátních sestav. Agregáty jsou sestaveny z prismovací sekačky a pásových, kotoučových a někdy i rámových pil (Janák *et* Král, 2003). Výroba řeziva pro účely stavebně-truhlářské výroby používá i pro jehličnaté dřeviny pořez na ostro – řezivo pak slouží k produkci drobnějších přířezů (Janák *et* Král, 2003). Přířezy pro stavebně-truhlářskou výrobu se vyrábí opracováním ploch, boků a čel povrchu neopracovaných přířezů.

#### 4.3.3. Sušení

Úkolem sušení je zvýšení rozměrové stability dřeva, zlepšení jeho vlastností a ochrana dřeva před napadením škůdci. V průmyslových podmínkách probíhá nejčastěji za uměle vyvolaných podmínek, jako jsou rychlost proudění vzduchu, teplota a vlhkost.

Ve velkých pilařských provozech, je sušící zařízení součástí areálu. Suší se však jen určitá část produkce. Sušení obvykle probíhá v komorových sušárnách, často teplovzdušných. Výstupní vlhkost řeziva se pohybuje kolem 20% (Janák *et* Král, 2003), proto je třeba pro specifické použití, například pro výrobu hranolů pro otvorové výplně, dále dosušovat na požadovaných 12%. Takto je dřevo chráněno po dobu uskladnění a přepravy. Řezivo je nejčastěji sušeno při klimatu 35 - 40°C, vlhkosti vzduchu 67 – 75% a rychlost proudění 1 – 1,5 m.s<sup>-1</sup> u běžných a 50 - 90°C, vlhkosti 90 – 40% a proudění v rozsahu 1 – 2,5 m.s<sup>-1</sup> u teplovzdušných sušáren.

Orientační celková spotřeba energií činí 3,45 GJ.m<sup>-3</sup> řeziva (ČEA, 2000). Poměr mezi elektrickou energií, nutnou například pro spotřebu ventilátorů, a tepelnou energií, zejména pro vytápěcí registry, činí 1:5. Tepelné ztráty v sušárnách se pohybují okolo 5% prostupem a 6% tepla je ztraceno s odcházejícím materiálem (ČEA, 2000).

Určitou možností jak snížit energetickou náročnost navrhuje Janák *et* Král (2003) – jedná se o omezené využití přirozeného sušení. Přirozené sušení na požadovanou vlhkost je ekonomicky náročné vzhledem k objemu vázaných finančních prostředků a je charakteristické 5 – 8% podílem řeziva, které je po sušení nutné přeradit do nižší jakostní třídy. V zimních měsících je možné dosáhnout konečné vlhkosti maximálně 40 – 45%. Vstupní vlhkost řeziva se pohybuje kolem 80% (Janák *et* Král, 2003). Za optimální lze považovat využití poměrně vysokých počátečních rychlostí sušení po dobu 2-6 týdnů. Kromě energetické náročnosti se dosáhne i zlepšení jakosti následného umělého sušení.

Uložení řeziva pro přirozené sušení se řídí normou ČSN 49 0650 *Uskladňování pilařských výrobků pro přirozené sušení*. Technologické poměry pro umělé sušení se provádí podle oborové normy ON 49 0651 *Umělé sušení řeziva*.

#### 4.3.4. Výroba hranolku

Dominantní konstrukce dřevěných otvorových výplní jsou dřevěná okna, následovaná vnitřními dveřmi, na která se ovšem nevztahují náročnější požadavky na tepelně-technické vlastnosti (MPO, 2006). Výchozím polotovarem pro nejběžnější EURO okna je hranolek pro rám tloušťky 68 mm. Šířka rámu je odvislá od křídla, kde je předepsána minimální šířka 78 mm. Hranolky lze použít shodně pro křídlo i rám (Soukup, 2002). Puškár (2003) dělí lamelové EURO profily do tří skupin:

- vnější lamely jsou bez spojů a jsou vhodné k výrobě oken s lazurovacími laky,
- všechny vrstvy jsou vytvořeny z nastavovaných lepených lamel, jsou vhodné k výrobě oken s krycími laky,
- všechny vrstvy jsou z nastavovaných lepených lamel z méně kvalitního dřeva a jsou vhodné jen k výrobě oken s krycími laky.

Vstupní surovinou je dřevo dle tabulky 7. Hlavní požadavek je kladen na vlhkost vstupní suroviny. Dle normy nesmí vlhkost překročit  $12 \pm 2\%$  před slepením. Z důvodu úspory materiálu se lamely délkově nastavují klínovitým spojem, čímž vzniká nekonečný vlys o pevnosti 85 – 95% rostlého dřeva (Uhlíř, 97).

K výrobě se užívá soubor kotoučových fréz s klínovitým profilem řezné hrany (Lisičan, 1996). Pro lepení slouží vodovzdorná fenolická lepidla a přídržné tlaky od 0,2 do 2 MPa, podle typu zubů ve spoji. Samosvornost klínovitých spojů umožňuje vytvrzování lepidla i mimo lisovací zařízení při dílenské teplotě. Přířezy se vyrábí buď přímo z řeziva nebo z podměrných přířezů na speciálních automatických linkách, kde se čepují ozuby, nanáší lepidlo a během protlačování se i vytvrzuje. Vytvořená lamela je pak upravena na požadovanou délku zkracovací pilou (Uhlíř, 97).

Následně se lepí jednotlivé lamely za standardních podmínek s přihlédnutím k požadavku na vlhkost. Lepidlo má splňovat požadavky třídu vodovzdornosti D4 normy ČSN EN 204 *Klasifikace termoplastických lepidel na dřevo pro nekonstrukční aplikace* (Puškár, 2003). Spotřeba lepidla je dle Buchanana *et* Honey (1994) 0,5 kg na m<sup>2</sup>. Nejběžnější rozměry hranolů na trhu jsou 72 x 66, 85, 115 a 145 mm pro okna IV 68 a 82 x 86, 115 a 145 mm pro IV 78, délka činí 3 a 6 metrů (Fiala, 2002).

#### 4.3.5. Obrábění dílů otvorových výplní

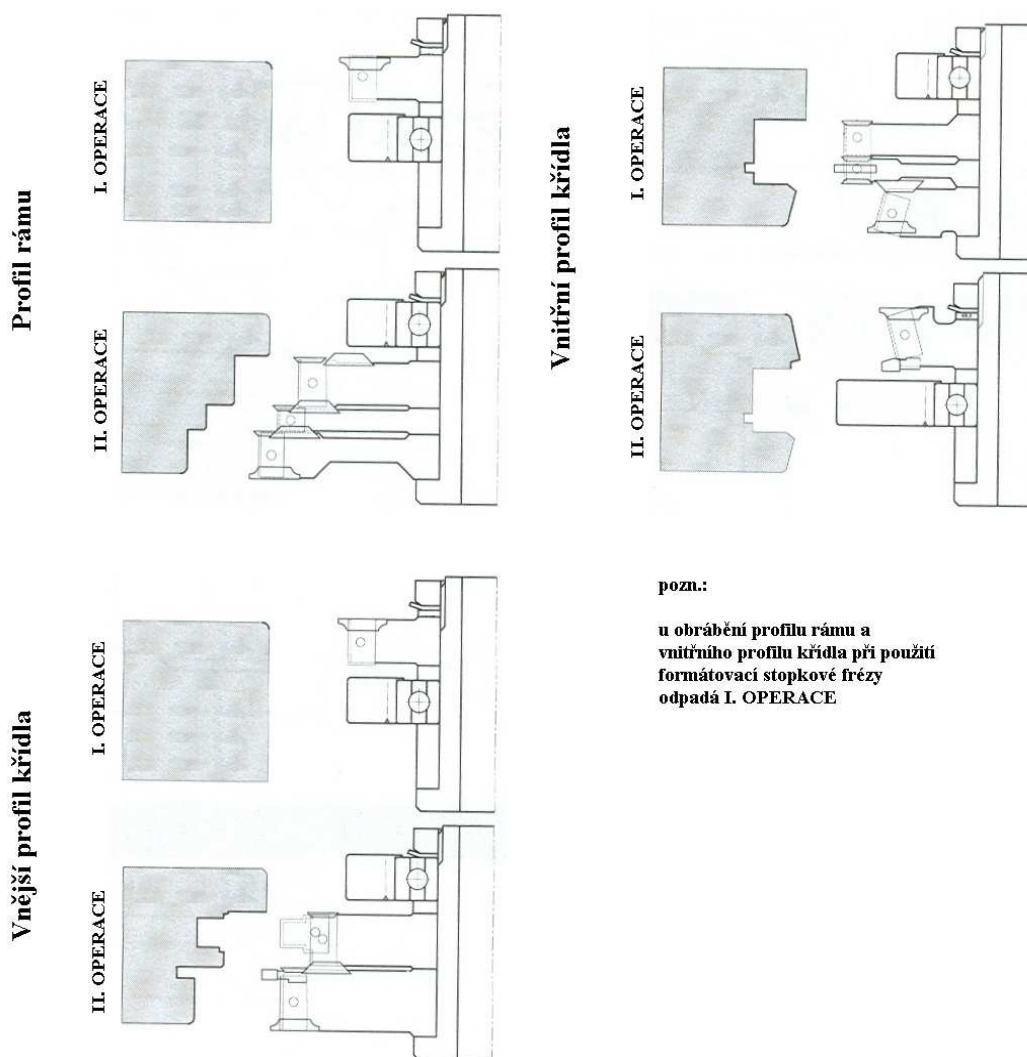
Obrábění při výrobě se dělí dle užívané technologie, která závisí na velikosti výrobce, typu produkovaných výplní a požadované flexibilitě výroby. Soukup (2002) rozčleňuje používané výrobní stroje takto:

- spodní frézky,
- pravoúhlá čepovací a obráběcí centra s víceosovými nástroji,
- oddělené čepovací a profilovací stroje s osazením více nástroji,
- výrobní linky s jednostrannými nebo oboustrannými čepováním a profilováním a s ručním nebo s automatickým předáváním materiálu,
- CNC horní frézky - užívají se zejména při výrobě dveří,

Výroba na spodních frézách vybavených sadou frézovacích hlavíc představuje běžné vybavení u nejmenších výrobců. Nevýhodou je nízká efektivita výroby z důvodu nutnosti přestavovat pro každý frézovaný profil hlavici (Fiala, 2002). Slouží také k výrobě většiny atypických výrobků v oblasti výplní otvorů (Soukup, 2002).

Delší varianty sestávají z různého uspořádání čepovacích a profilovacích strojů. Čepovací stroj slouží k vyfrézování čepů a jejich kapování kapovací pilou, která je integrální částí stroje. Profilovací stroj je vybaven jedním až šesti profilovacími nástroji a často také pilkou k odřezání zasklívací lišty z obráběného hranolu. Vícehřídelové osazení umožňuje zvýšit flexibilitu výroby bez nutnosti výměny nástrojů. Profilování je možné u některých strojů provádět z obou stran zároveň. Snahou je dosáhnout vysoké přesnosti výroby, aby nebylo nutné křídla obvodově frézovat po sklížení (Soukup, 2005). Za nejprogresivnější výrobní stroje se považují čtyřstranné profilovací frézky, které se užívají převážně ve výrobních linkách větších výrobců.

V podmínkách stavebně-truhlářské výroby dochází nejdříve ke krácení EURO hranolu za použití krátcí kotoučové pily, poté následuje opracování tvarovou frézou a čepování. Čepy jsou pokráceny na požadovanou délku kotoučovou kapovací pilou. V rámci obráběcího profilu je možné také vyřezat zasklívací lištu. Jednotlivé díly mohou být, pokud je nutno, broušeny a rám je po ochranném ošetření čepů a nanesení lepidla zkompletován a stažen.



Obr. 14 - postup při frézování okenního profilu (podle RH+, 2006)

K obrábění se užívá tvarových fréz celé řady konstrukcí, jako jsou hlavy s výměnnými noži, pájené a žiletkové (RH+, 2006). Ve snaze vyhovět širokému spektru požadavků se uplatňují na trhu konfigurovatelné nástroje sestávající z různých nástrojových disků osazených na tělo nástroje, které jsou osazeny profilovými břity. Tak lze na jedno tělo nástroje alternativně osadit několik typů oken (Soukup, 2002).

Obrábění dílů dveří probíhá stejně jako u oken. Na nevýhody takového postupu z pohledu konstrukce upozorňuje Soukup (2002). Výroba oken je charakteristické také podílem ruční práce a kusové výroby.

Pokud rozložíme vlastní obrábění rámu na jednotlivé procesy, vyjde, že v průběhu zpracování dochází nejméně dvakrát k řezání. Poprvé při krácení EURO hranolu na příslušné rozměry a po druhé při kapování čepů na čepovacím stroji. U některých profilovacích strojů dochází k další operaci řezání – vyřezávání zasklívací lišty z obráběného hranolu. Ve všech těchto případech se užívá kotoučových pilových kotoučů pracujících ve vysokých otáčkách. V prvních dvou případech se jedná o příčné zkracování. U vyřezávání lišty o řezání podélné. Teorii řezání se podrobně zabývá Lisičan (1996). Výpočty lze provádět několika způsoby, jako je technologicko-fyzikální výpočet a empiricko-statistický způsob. Rozsah platnosti tohoto vztahu je však omezen jen na určité meze vstupů do rovnice.

Spotřeba energie se určuje z rychlosti kotouče a řezné síly při technologicko-fyzikálním výpočtu:

$$P_r = \frac{F_r \cdot v}{10^3} \quad (13)$$

$$F_r = \frac{K \cdot b \cdot e \cdot u}{60 \cdot v} \quad (14)$$

Analogické rovnice udává i Prokeš (1978) pro početní zjištění řezných sil a řezného výkonu.

Účelem frézování je obrobení hranolu řezáním na požadovaný tvar, rozměr a povrchovou kvalitu. Výrobě otvorových výplní dominuje profilovací frézování za pomoci kotoučových fréz různých konstrukcí. Specifickým problémem je frézování čepů, kde se využívají kotoučové frézy. Podle tvaru obráběcí plochy můžeme klasifikovat nástroj jako frézovací nástroj pro složité profily (Prokeš, 1978).

Kvalitu frézování řeší Lisičan (1996). Jako rozhodující parametr uvádí dosaženou kvalitu povrchu a přesnost obrábění, které ovlivňuje kvalita stroje, nástroje a parametry obrábění. Projevuje se také vliv směru vláken a vlhkost.

Pro stanovení optimální rychlosti posuvu tak, aby byl povrch optimálně hladký, se vychází z hloubky vlnek tvořených hrotem nástroje. Podle výsledků výzkumu prováděných na Ústavu lesnické a dřevařské techniky MZLU v Brně je optimální hloubku vlnek  $y = 0,005$  mm. Dalšími vstupy pak jsou otáčky hřídele a průměr hrotnice frézovací hlavy.

$$u_{\max} = \frac{(\sqrt{4 \cdot D \cdot y}) \cdot n}{1000} \quad (15)$$

Z možných metod k určování řezného výkonu je pro technickou praxi dobře využitelná objemová metoda i přes určitou nepřesnost a nadhodnocování výsledků prokázanou výzkumem, což je vhodné brát v potaz při interpretaci výsledků. Její výhodou je, že lze určit energetickou náročnost v závislosti na výrobku a jeho tvaru a v menší míře na vlastnostech nástroje. To umožňuje efektivní srovnání různých konstrukcí otvorových výplní. Řezný výkon odpovídá přímo úměrně objemu dřeva přeměněného v třísky za jednu sekundu. Měrný řezný odpor je tedy síla nutná k oddělení 1 mm<sup>2</sup> příčného průřezu třísky a zahrnuje v sobě různé další vlivy. Jeho velikost roste s hustotou řezaného materiálu. Odpovídá měrné řezné práci.

$$P_r = K \cdot b \cdot e \cdot u = F_r \cdot v = A_{r1} \cdot V_1 \quad (16)$$

Broušení probíhá při výrobě výplní otvorů po obrobení jednotlivých dílů. Broušení navíc může probíhat i ručně v rámci nanášení povrchových úprav (MODISO, 2006) nebo řemeslné malovýroby. Výrobci pokročilých nástrojů pro frézování, jako je například WEINIG (2006) uvádí dosahování takové kvality povrchu, že dílec již není třeba následně brousit. To je podmíněno vysokými otáčkami nástroje. Holášek (2006) uvádí až 8000 ot.min<sup>-1</sup>.

Příkon na broušení brusným pásem dle Lisičana (1996) závisí na použití měrném přitlaku  $q$ , ploše kontaktu, součinitelích tření pásu, opotřebení brusného prostředku, tvrdosti dřeva a rychlosti pásu. Oproti rovnicím uváděným Lisičanem (1996) uvádí Prokeš (1978) jednoduchý vztah, který je založen na měrném řezném odporu  $K \approx 0,5$ , měrném tlaku  $q \approx 0,03$  a šířce obrobku  $L$ . Uváděný vztah platí pro pásové broušení:

$$P_{br} = \frac{K \cdot q \cdot L \cdot v}{10^2} \quad (17)$$

#### 4.3.6. Povrchové úpravy

Povrchové úpravy a impregnace se provádí u dřevěných dílů otvorových výplní za účelem kompenzace negativních činitelů prostředí a schopnosti čelit biologickému napadení, protože dřevo jako přírodní materiál podléhá v nepříznivých podmínkách stárnutí a rozkladu. Velmi negativně působí sluneční záření a jeho UV složka rozkládající lignin, dále pak změny vlhkosti a s nimi spojené změny tvarů a rozměrů, při dlouhodobé vlhkosti pak i činnost mikroorganismů – hub a plísní, které dřevo napadají a ničí (Studený, 2003). Neošetřené dřevo velmi rychle přijímá vlhkost a velmi rychle ji také vydává. Tím však dochází k značným změnám objemu během relativně krátké doby a ke vzniku trhlin. Nanesením impregnace a krycího nátěru se příjem a výdej vlhkosti zpomalí a sníží se na podstatně nižší úroveň. Důsledkem je, že vlhkost je pak podstatně nižší než u neošetřeného dřeva (Hradský, 2001). Povrchová úprava u venkovních stavebně-truhlářských výrobků může chránit před vnější vlhkostí, regulovat dopady UV záření a v neposlední řadě také opticky upravuje a často i zlepšuje vzhled povrchu (Studený, 2003).

Úkolem impregnace a impregnačních prostředků je preventivní ochrana dřeva před biologickými činiteli, povětrností a ohněm, ale také likvidace biologických činitelů (Ptáček, 2003). Problematiku povrchových úprav reguluje norma ČSN EN 927 *Nátěrové hmoty* -

*Povlakové materiály a povlakové systémy pro dřevo ve vnějším prostředí.* Problematice jejich zkoušení se blíže věnuje Polášek (2003).

Prvním krokem povrchových úprav je impregnace, která se může provádět buď samostatně nebo v rámci systému nanášení povrchové úpravy spojena s nanášením základu. Nejčastějším způsobem nanášení je máčení a polévání (Hradský, 2002), tedy technologie s maximální, až 100%, účinností. Za optimální množství se považuje 120 – 160 ml prostředku na 1 m<sup>2</sup> plochy výrobku. Doba kontaktu impregnace se dřevem se pohybuje mezi 5 – 20 sekundami (Hradský, 2002). Pokročilé impregnace obsahují pryskyřice, které vyplňují prostory buněk a mezibuněčné prostory, zpevňují povrch dřeva, čímž usnadňují následné broušení a omezují příjem vody (Studený, 2003). Tloušťka impregnované vrstvy v příčném dřevě je okolo 6 mm (Kozmík, 2002). Ochranu proti UV záření a její stabilitu zajišťují u transparentních systémů pigmenty na bázi kysličníku železa a speciálních sazí (Hradský, 2002).

Vodou ředitelné impregnační látky jsou většinou sloučeniny boru a kovových solí chromu a mědi (Ptáček, 2003). Impregnační látky na bázi organických rozpouštědel se v současnosti užívají zejména u speciálních dřev (Studený, 2003).

Nátěrové hmoty jsou heterogenní směsy různých látek tvořících na povrchu nátěrový film požadovaných vlastností. Vzhledem k náročným a často si protiřečícím nárokům na povrchy jsou nejčastěji využívány nátěrové systémy tvořené dvěma a více systémy (Sliž, 2003). Nátěrové hmoty lze rozdělit do dvou velkých skupin: na transparentní – lazurovací a na krycí (Ptáček, 2003). Transparentní vytvářejí průhledný až průsvitný nátěrový film, zatímco krycí, tvořené směsí pojidel, pigmentů, plniv a přídavných látek, vytvářejí neprůhledné lesklé až matné nátěrové filmy. U obou druhů je nutná vysoká elasticita, aby se tak mohl přizpůsobit pohybům dřevěného podkladu či odolávat mechanickému poškození.

Z pohledu chemického složení dominují nátěrové systémy na bázi vody. Hradský (2001) uvádí podíl vodou ředitelných systémů v Evropě 90%. Druhou skupinu tvoří systémy na bázi organických rozpouštědel, které jsou dlouhodobě na ústupu, navzdory vysoké přilnavosti, nízké energetické náročnosti a krátké době sušení (BREF, 2005). Důvody jsou především ekologické, zejména emise těkavých organických sloučenin.

Specifickou podskupinu v rámci nátěrových hmot představují nátěry pro repase, kdy se z technologických důvodů upřednostňují rozpouštědlové systémy (Sliž, 2003). Repase totiž často probíhají mimo regulované prostředí lakovny a provádí se na povrch kolísavé jakosti, kdy systém na bázi vody nemůže garantovat uspokojivé výsledky.

Barevné systémy většinou sestávají ze 2 až 3 vrstev. 2 vrstvy se užívají pro měkké typy dřev a 3 vrstvy pro tvrdé. Na základě doporučení IFT Rosenheim se užívá převážně kombinace impregnace se silnou vrstvou lazury (Hradský, 2002). Objevují se však i tenkovrstvé a středněvrstvé nátěrové systémy, které se vyznačují snadnou renovací, jejíž periodicita je však velmi vysoká – kolem 3 let (Studený, 2003). V převážné většině systémů se impregnace a základ nanáší v jedné hmotě máčením, tedy prakticky bezodpadově. U tvrdých typů dřev pak ještě následuje máčení či nástřik plniče pórů, po kterém se provádí jemné mezioperační broušení brusným papírem. Závěrečný krok je pak shodný u dvoj- i trojvrstevných systémů a to je nástřik tlustovrstvého laku nejčastěji pomocí vysokotlakého zařízení, případně pokročilou technologií Airmix, Airless či s použitím asistence elektrostatického pole (Studený, 2003). Zařízení pro Airless stříkání atomizují kapalinu do malých kapiček bez použití stlačeného vzduchu. Systém Airmix používá k rozprašování přípravků a jejich přenosu přímo tlakový vzduch. Při aplikaci s pomocí elektrostatického pole je nátěrová hmota nabitá záporným nábojem je přitahována na uzeměný stříkaný díl.

Na kritická místa, jako jsou V-spáry, čelní řezy a neošetřené rohové styky lišt se nanáší ochranné tmely, které zabraňují vnikání vlhkosti.

Nanášení lazur probíhá ručně a vzhledem k tvarovému řešení výrobku vzniká velké množství přestřiků a to dokonce i při užití elektrostatického stříkání, což nutí výrobce k zavádění systémů regenerace nátěru. BREF dokumenty (2005) uvádí účinnost konvenčního stříkání 30 – 60%, Airless technologií 40 – 75% a u elektrostatických systémů je 50 – 70%. Tloušťka krycí vrstvy se pohybuje okolo 250  $\mu\text{m}$  (Smrž, 2003). V suchém stavu pak je optimum dle doporučení IFT Rosenheim 80  $\mu\text{m}$  (Čulík, 2005).

Nejvyšší dosažitelná životnost povrchových úprav uvádí většina výrobců nejpokročilejších tlustovrstvých systémů 10 let a často tuto dobu i garantují. Údaj vychází z experimentálních zjištění, že po uplynutí doby 12 – 24 měsíců dojde při působení povětrnostních vlivů k úbytku nátěrového filmu o tloušťce 10 – 20  $\mu\text{m}$  (Čulík, 2005). Thompson (2005) uvádí životnost 8 let u povrchových systémů dřevěných oken certifikovaných ve Velké Británii. Periodicita obnovy povrchových úprav a náklady na údržbu jsou důležitými parametry pro ekonomickou bilanci otvorové výplně. Pro maximální životnost povrchových úprav má zásadní vliv nejen nátěrový systém, ale také kvalita povrchu před aplikací, vhodná údržba a stupeň konstrukční ochrany.

#### 4.3.7. Instalace otvorové výplně

Při montáži otvorové výplně se napojuje již hotový stavebně-truhlářský výrobek na vlastní stavbu. Po ukotvení a za pomoci vhodného řešení připojovací spáry je tak zajištěna celistvost pláště stavby. Touto spárou prochází skladební osa otvoru a otvorové výplně. Hájek (2002) rozeznává v připojovací spáře 3 zóny: vnější uzávěr, tepelně-izolační výplň a vnitřní uzávěr. Také definuje základní požadavky nulové zatékavosti, infiltrace a umožnění dilatace a odpovídajícího kotvení. Puškár (2003) přidává požadavky na tepelný odpor, vyloučení kondenzace ve spáře a minimální neprůzvučnost.

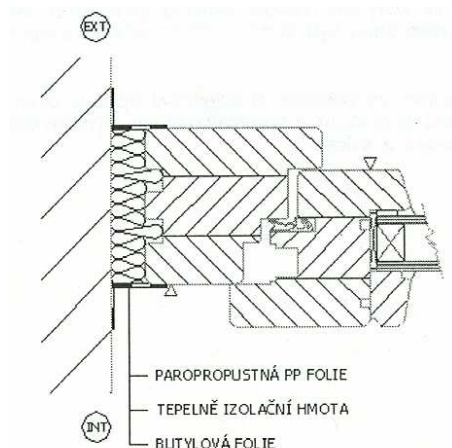
Z pohledu tepelně-technických vlastností se tato oblast ostění a připojovací spáry o tloušťce až 10 mm (Matoušek, 2005) může podstatně podílet na tepelném toku celou konstrukcí. Snahou je tento tok okrajovou částí otvorové výplně a přilehlou dělicí stěnou, jak jej popisuje například ČSN EN ISO 12567-1, minimalizovat. Matoušek (2005) považuje za nejvhodnější, z pohledu tepelných ztrát, umístit okno do roviny tepelné izolace stěny, což je v rozporu s požadavky na maximální životnost a ochranu před zatékáním, kde je naopak vhodné umístění výplně otvoru co nejhlouběji. Z hlediska optimální světelné propustnosti je nejvhodnější poloha ve středu stěny. Z možných tvarů ostění se považuje za nejvýhodnější zalomené (Puškár, 2003), z důvodu jednodušší montáže a předpokladu vyšší kvality styku.

Složitost vzájemného ovlivňování mezi připojovací spárou a tvarem a materiálem ostění je nejlépe zjiřitelná pomocí počítačové simulace nebo měřením. Zjednodušený výpočet dle ČSN EN ISO 10077-1 tento tepelný tok nezohledňuje. Předpokládá se tepelný odpor spáry minimálně stejný jako celé výplňové konstrukce, což nemusí vždy odpovídat realitě.

Postup práce při osazování okna popisuje Matoušek (2005). Osazují se rámy bez křídel, chráněné páskou proti znečištění. Na stavbě se do rámu vyvrtávají otvory pro kotvící prvky. Montážní ukotvení se v praxi většinou provádí pomocí klímků z tvrdých dřev vkládaných v místech svislých vlysů a sloupků, tedy v místech, kde nedeformují rám. Při mechanickém ukotvení nesmí dojít ke změně polohy či tvaru okna a je nutné zajistit pevnost ve všech směrech. Hájek (2002) uvádí řadu způsobů řešení kotvení v připojovací spáře: pevné, pomocí páskových kotev, kluzných trnů, pomocí osazovacích ráků a s využitím speciálních kotev.



Matoušek (2005) specifikuje 3 nejvhodnější způsoby pro standardní EURO okna a to užitím speciálních okenních osazovacích hmoždinek nebo kotvicích šroubů, tzv. „turbo šroubů“. Oboje vrtané přes rám. Tradiční způsob kotvení pomocí kotvicích plechů lze omezeně použít, ale nezajišťuje požadovanou tuhost ve všech směrech.



Obr. 15 – schéma instalované otvorové výplně

Po ukotvení okna následuje izolace dilatační spáry. Na její vyplnění lze užít minerální vatu uloženou do předem stlačených těsnících pásů, které ve spáře nabobtnají. Nejběžnějším postupem je vyplnění této spáry PU pěnou, což je velmi výhodné u dřevěných otvorových výplní, protože mají v porovnání s hliníkovými a plastovými menší roztažnost a nedochází tak k popraskání pěnové vrstvy. Síla této pěny po vytvrzení by měla být minimálně 40 mm k plnému zajištění požadavků kladených na spáru.

Fríbert *et* Pokluda (2006) považuje klasické těsnění PUR pěnou za nedostatečné z důvodu nedokonalého utěsnění na vnitřní straně spáry a z technologických důvodů. Povrch, na který se pěna aplikuje, bývá zaprášený a nezvlhčený, což velmi výrazně snižuje přilnavost a následně umožňuje tvorbu mikrotrhlin, které umožňují vnikání vzduchu a vody do spáry a vede k degradaci a podstatnému snížení tepelně-izolačních vlastností pěny. Bahula (2005) doporučuje kombinaci PU pěny nebo komprimované izolační výplně s uzavřením vnější strany spáry paropropustnou fólií a z vnitřní strany přelepením izolační fólií (Obr. 15). Toto řešení brání pronikání vlhkosti z interiéru do spáry a zároveň umožňuje pohyb vlhkosti ze spáry do exteriéru. Analogické řešení spáry považuje za optimální i Fríbert *et* Pokluda (2006).

Po izolaci dilatační spáry následuje osazení křídel, odstranění montážního kotvení a doplnění otvorů. Přebytečná pěna je odstraněna a jsou nalepeny izolační pásy. Následně i namontován parapet.

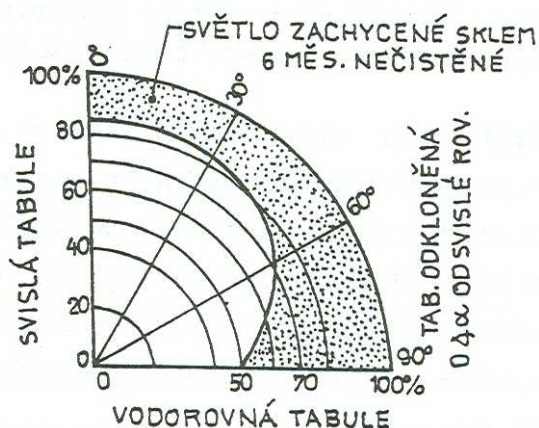
U těsnění dveří mezi zárubní a ostěním se postupuje analogicky a užívá se v závislosti na tvaru ostění zateplující látka, těsnící provazec a spára je uzavřena těsnící látkou – tmelem (Puškár, 2003).

#### 4.3.8. Údržba a renovace

V průběhu životnosti dochází u povrchových úprav k postupné degradaci díky zašpinění, sprášování, vrásnění a bělení. Sprášování je povrchové zvětrání charakteristické úbytkem

povrchových vrstev. Vrásnění se vyskytuje zejména u olejových nátěrů, které jsou v současnosti užívané minimálně. Bělení je nežádoucí jev vyvolaný proniknutím vody do nátěru. K zašpinění a sprašování dochází vždy, pokud je ošetřená plocha vystavena vlivu vnějšího prostředí.

Ideální podmínky pro omývání dřevěné části výplně otvoru popisuje Polášek (2003) při rozebírání podmínek pro zkoušku omyvatelnosti dle ČSN 67 3103 *Vyhodnocování zkoušek nátěrů. Subjektivní hodnocení zašpinění, omyvatelnosti, sprašování, vrásnění a bělení*. Omytí probíhá mýdlovou vodou o teplotě 30 až 40°C za použití měkkého sepraného lněného plátna. Poté se povrch dvakrát opláchně destilovanou vodou a jemně se osuší. V praxi se doporučuje užívat slabý roztok vlažné mýdlové vody a v žádném případě nepoužívat chemické prostředky na plochy ošetřené zejména vodou ředitelným akrylátovým nátěrem (Juříček, 2005). Obecně se doporučuje neutrální mýdlo nebo víceúčelové čistící prostředky, není vhodné ošetřovat povrch použitím agresivních látek nebo rozpouštědel, práškových nebo alkalických čističů, případně nitroředidel či benzínu (Lenker, 2006). Po umytí dřevěných částí je vhodné nanést renovační balzám k obnovení lesku nátěru a prodloužení životnosti. Tuto proceduru je doporučeno provádět dvakrát ročně.



Obr. 16 - zašpinění skla (Hájek, 2002)

Zašpinění skla vzniká rozdílnou měrou na vnitřním a vnějším líci. Na vnitřním povrchu je přibližně dvojnásobné oproti vnějšímu, kde míru zašpinění snižuje déšť (Hájek, 2002). Svoji roli hraje i sklon skla, kdy je nejvýhodnější jeho svislá poloha. Snížení propustnosti světla jako funkci polohy skla uvádí obrázek 16. Je zřejmé, že i u svislých ploch dochází k podstatnému úbytku propustnosti světla – okolo 15%. Hájek (2002) doporučuje čistit zasklení vnější plochy nejméně jedenkrát za rok na podzim a vnitřní povrch dvakrát ročně. Při čištění by se měli používat čistící prostředky a pomůcky odpovídajícího určení, ale je nutné vzít v úvahu možné zasažení dřevěné části čistícím prostředkem, kde může mít negativní vliv na povrchovou úpravu, zejména na nejkritičtějších vodorovných plochách. Proto lze považovat za nejvhodnější neutrální prostředky nepoškozující nátěry a po aplikaci čističe je nutné pečlivě opláchnout celou plochu otvorové výplně.

Životnost prvonátěru, případně periodicitu jeho renovace, nelze určit zcela jednoznačně, protože se výrazně liší nejen podle druhu nátěrové hmoty, ale také podle polohy otvorové výplně či vlivem prostředí nebo případného mechanického poškození. Čulík (2005) udává životnost u tenkovrstvých lazur 2 až 3 roky, u běžných silnovrstvých lazur kolem 5 let a u krycích nátěrů 4 až 7 let. Hodnoty vycházejí z předpokladu nulové údržby. Pokud se ošetřená plocha řádně udržuje dochází k podstatnému prodloužení životnosti a to až na 10 let u běžných silnovrstvých lazur, jak udává jako horní hranici Juříček (2005).

Renovace by měla být prováděna profesionální firmou pomocí nátěrového systému kompatibilního s prvnátěrem a mělo by jí předcházet kvalifikované posouzení stavu otvorové výplně. Současně s opravou nátěru by měla být provedena oprava tmelení skla a okenního těsnění. Renovace většinou probíhá ve venkovních podmínkách a tomu jsou uzpůsobeny i nátěrové systémy, přesto však musí být dodrženy určité základní podmínky, jako je minimální teplota vzduchu 15°C, žádné přímé sluneční záření, povrch nesmí být rozpálený a vlhkost musí být ustálená (Juříček, 2005).

Obecný postup při renovaci je shodný jak pro vodou ředitelné, syntetické, krycí i lazurovací systémy. Před vlastní renovací je nutné veškeré restaurované plochy pečlivě omýt, jemně obrousit a odmastit. Je odstraněn nelnoucí nátěr a tmel a kontaminované dřevo. Následuje impregnace. Veškeré renovační práce se provádějí vhodnými štětci, nejčastěji plochými s hustým vlasem (Juříček, 2005). Po impregnaci následuje nanášení základu, poté tmelení kritických míst, jako jsou V-spáry a čelní řezy. Při jejich nedostatečném ošetření tudy může pronikat voda a samotná povrchová úprava není schopná garantovat ochranu, protože vlivem pohybu, například v čepovém spoji, dochází k jejímu porušení. U některých postupů se nanáší mezivrstva, která je po zaschnutí broušena jemným brusným papírem. Závěrečnou operací je finální povrstvení.

Úspěšnost renovace závisí, kromě vhodnosti použitého renovačního nátěrového systému, na kvalitě a pečlivosti přípravy podkladu a dodržení technologických lhůt schnutí udaných výrobcem (Čulík, 2005).

Zjednodušeně lze určit náklady na údržbu otvorové výplně se zasklením dle vzorce:

$$C_{\text{ú}} = (\dot{U}_{\text{vf}} + R_{\text{vf}}) + \dot{U}_{\text{vg}} = A_{\text{f}} \cdot \dot{z}_{\text{w,D}} \cdot \left( N_{\text{f}}^{\text{čištění}} \cdot 2 + N_{\text{f}}^{\text{povrch..úp.}} \cdot \frac{1}{\dot{z}_{\text{povrch..úp.}}} \right) + A_{\text{g}} \cdot N_{\text{g}}^{\text{čištění}} \cdot \dot{z}_{\text{w,D}} \cdot 3 \quad (16)$$

$C_{\text{ú}}$  ... náklady na údržbu       $R_{\text{v}}$  ... náklady na rekonstrukci       $N$  ... měrné náklady (kč/m<sup>2</sup>)

$\dot{U}_{\text{v}}$  ... náklady na čištění       $\dot{z}$  ... životnost (rok)

Do měrných nákladů na čištění a renovační nátěr můžeme dle potřeby započítat nejen cenu materiálu, ale i práce na m<sup>2</sup> plochy odpovídající části výplně otvoru.

#### 4.4. Zneškodnění a recyklace dřevěných částí otvorové výplně

Pokud se díváme na tepelně-technické vlastnosti optikou nároků na výrobu a celého životního cyklu, nelze pominout závěrečnou část tohoto schématu, kterou je konečné zneškodnění dřevěné konstrukce. Jedná o jednu z nejdůležitějších oblastí vůbec, protože na ní lze jasně a jednoznačně ukázat rozdíly mezi dřevem jako výchozím materiálem a jeho alternativami.

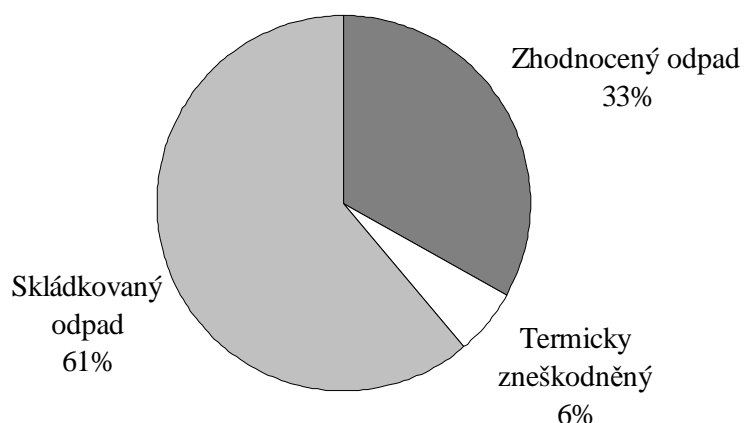
Po demontáži na místě stavby se z okna stává odpad, se kterým se nakládá dle zákona č. 185/2001 Sb., *o odpadech*.

Otvorová výplň samotná by měla být konstruována tak, aby při demontáži umožnila snadné rozložení na jednotlivé části dle použitých materiálů. Zvýšení tepelně-technických vlastností za cenu podstatného snížení recyklačního potenciálu nebo zvětšení nároků na

zneškodnění, jak to nastává u kombinací dřeva s PUR pěny, musí být pečlivě zváženo, stejně jako zvýšení životnosti za cenu modifikace vlastností dřeva.

Hrázský *et* Král (1999) uvádí jako jednu z výhod dřevěných výrobků jejich téměř bezproblémovou likvidaci a to konkrétně spalováním, skládkováním jeho využitím jako sekundární materiál pro produkci třískových desek. V tuzemsku je nejběžnější způsobem skládkování a spalování ve směsi s ostatními odpady. To je v rozporu se zákonem č. 185/2001 Sb., *o odpadech*, který v § 11 upřednostňuje využití odpadu před odstraněním a spalování před skládkováním, pokud je splněna podmínka vyšší ochrany lidského zdraví. DEFRA (2006) uvádí následnou strukturu nakládání s dřevěným stavebním odpadem ve Velké Británii:

#### Nakládání s odpady na bázi dřeva z demolic



Obr. 18 – nakládání s odpady na bázi dřeva

Spalování dřevního odpadu a konkrétně otvorových výplní může probíhat jak samostatně, tak jako součásti směšného odpadu. Ladomerský (1993) i Hrázský *et* Král (1999) však shodně uvádějí, že názory na tento způsob likvidace odpadu nejsou jednotné. Experimenty provedené Ladomerským (1993) prokázali značný vliv spalovacího zařízení na vznik spalin, stejně jako dopady možné kontaminace odpadu. Aby bylo dosaženo co nejvyšší účinnosti spalování, musí být okenní rám či dvevní křídlo dezintegrováno pomocí sekaček a drcení. Před touto úpravou musí být zbaveny všech kovových částí. Energetickou náročnost udává Hrázský *et* Král (1999) mezi 0,01 a 0,05 kWh na kg odpadu. Protože dřevní odpad se většinou nemusí již dále sušit, je jeho výhřevnost vysoká a celková energetická bilance velmi výhodná. Výhřevnost dřevního odpadu z otvorových výplní při předpokládané vlhkosti 12%, jak ji uvádí Hájek (2002) pro materiály na výrobu dřevěných otvorových výplní, se pohybuje kolem 3,3 kWh na kg odpadu (Hrázský, 1999). Tato hodnota je porovnatelná s výhřevností hnědého uhlí, dřevo má však o 24% nižší obsah popela (Ladomerský, 1993).

Pro posuzování dopadů tohoto způsobu likvidace odpadu na životní prostředí je rozhodující určit alespoň přibližně jak a čím jej může ovlivnit. V případě spalování se jedná o obsah popela, který se pohybuje kolem 0,2 – 1%. Peltola *et al.* (2000) na podkladě provedených měření konstatuje, že v popelu konstrukcí na bázi dřeva se nachází jen velmi malé množství sloučenin chloru a těžkých kovů, zejména ve srovnání s alternativními materiály – plasty. Množství spalin ovlivňuje vlhkost dřevního odpadu, jeho chemické složení a podmínky spalování. Výpočet jednotlivých složek emisí vycházející ze stechiometrických

rovnice je popsán včetně výsledků v Příloze 1. Celkové množství spalin se stanovuje dle následujícího vztahu (Hrázský *et* Král, 1999):

$$V_{sp} = [1,867.C + 11,196.H + 0,8 + 0,79.V_{vz}] + [\alpha - 1].V_{vz} \quad (17)$$

kde  $V_{vz}$  je teoretický objem vzduchu potřebný pro spálení 1 kg suchého dřeva, který lze zjistit dosazením jeho chemického složení ze vztahu (Ladomerský, 1993):

$$V_{vz} = \frac{1}{0,21} [1,867.C + 5,6.H - 0,7.O] \quad (18)$$

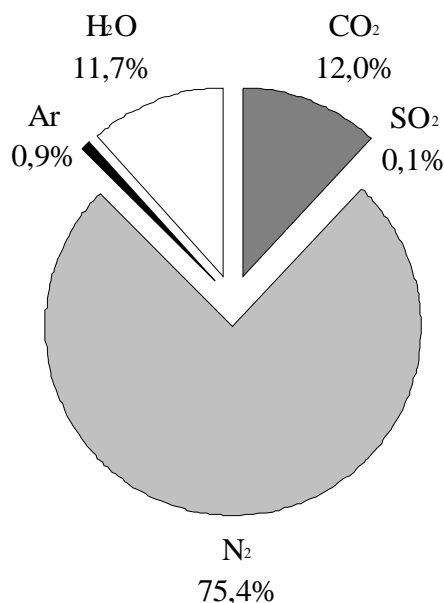
Díky složitému chemismu spalování dřeva je výsledkem spalování nejen  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  a  $\text{NO}_x$ , ale i ostatní produkty, jako jsou různé uhlovodíky. Jejich množství a vzájemné poměry se liší podle poměrů ve spalovacím prostoru. Marutzky (1989) uvádí sumy uhlovodíků na jednotku výhřevnosti až kolem  $2180 \text{ mg.MJ}^{-1}$ , což asi 6-krát překračuje hodnoty, které tentýž autor uvádí pro hnědé uhlí. Většina těchto uhlovodíků se ve dřevě nevyskytuje a jejich přítomnost je důsledkem reakcí během spalování (Ladomerský, 1993).

Přípustné množství emisí stanovuje vyhláška č. 357/2002 Sb. Pro velké a střední spalovací zdroje jsou stanoveny emisní limity  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{CO}$ , organické látky (u spalování dřeva a biomasy) a tuhých znečišťujících látek v závislosti na druhu paliva a jmenovitém tepelném výkonu. Emisní limity jako hmotnostní koncentrace znečišťující látky jsou stanoveny pro přesně definované podmínky nosného plynu. Tyto podmínky jsou uvedeny v tabulce 9 a jsou platné pro nekontaminovaný dřevní odpad (Hemerka, 2004).

Jmenovitý tepelný výkon $P_t$ (MW)	Emisní limit ( $\text{mg/m}^3$ )					Ref. Obsah $\text{O}_2$ (%)
	TZL	$\text{SO}_2$	$\text{NO}_x$ jako $\text{NO}_2$	$\text{CO}$	Org. látky jako $\Sigma\text{C}$	
$P_t \geq 0,2$ , ale jmenovitý tepelný příkon $< 50 \text{ MW}$	250	2500	650	650	50	11

Tab. 9 – emisní limity při spalování dřevěného odpadu

Závěry již provedených měření Ladomerským (1993) konstatují obtížné dodržování emisních limitů, zejména v oblasti produkce  $\text{CO}$  a tuhých znečišťujících látek a to i u moderních zařízení s dvojstupňovým spalováním. Marutzky (1989) konstatuje vysokou produkci uhlovodíků. Spalování dřevního odpadu je energeticky výhodným, ale zároveň i ekologicky nepříliš šetrným způsobem, jak zneškodňovat dřevěné otvorové výplně po uplynutí jejich životnosti. Orientační složení spalin z dřevěného stavebního odpadu na podkladě vstupních dat z Phillis (2006) a stechiometrických rovnic zobrazuje graf na obrázku 19.

**Složení spalín podle stechiometrických rovnic**

Obr. 19 – složení spalín z dřevěného odpadu

Ekonomicky velmi výhodné je využití dřevěných otvorových výplní jako suroviny, zejména pro výrobu aglomerovaných materiálů. To je také zdůrazněno jako prioritní způsob nakládání s odpadem v platné legislativě. Peltola *et al.* (2000) uvádí, že množství recyklovaného stavebního materiálu na bázi dřeva v Evropské unii je 26%, DEFRA (2006) uvádí vyšší číslo – 32%. Problematikou se zabývá Hrázský *et al.* (2000) a konstatují značné potenciální ekonomické i energetické úspory, protože takto vyrobené třísky již není třeba sušit v takové míře jako běžný materiál. Z ČEA (2000) vyplývá, že možná energetická úspora na výrobě třísek může činit mezi kolem  $0,65 \text{ kWh.kg}^{-1}$ , tedy až 70% veškeré měrné energie potřebné pro výrobu třískových desek. Otvorové výplně je možné drtit na speciálních drtičích a následně na kladivových mlýnech, přestože spotřeba elektrické energie a opotřebení sekaček a roztřískovačů je vyšší, než se považuje za optimální z důvodů nižší než doporučené vlhkost suroviny (Hrázský *et al.*, 1999). V prvním stupni zpracování se užívá prstencových roztřískovačů. Vzhledem k možné přítomnosti různých příměsí je vhodné též užití beznožových roztřískovačů, které pomocí nárazových lišt a kloubně upevněných kladiv dezintegruje štěpku získanou z recyklovaného dřeva na vysoce kvalitní třísky. Další možností je vybavení beznožového roztřískovače předdrtičími a vtahovacími válci. Určitým problémem při tomto způsobu zpracování se jeví minerální a kovové příměsi v odpadu, které jsou ve specializovaných strojích zachycovány ve vnitřním prostoru drtiče.

Další variantou zneškodnění otvorových výplní je jejich skládkování. Jedná se v současnosti pravděpodobně o nejvyužívanější, avšak z legislativního hlediska nejméně preferovaný způsob zneškodnění (Thompson, 2005). Z hlediska odpadového hospodářství se jedná o stavební odpad z demolice s velmi nízkým obsahem vody, který se většinou skladuje na speciálních skládkách stavebního odpadu. Protože stavební odpad je většinou inertní, skládkování je často pouze dočasné a počítá se z jeho následnou recyklací, je role rozložitelných dřevěných výplní problematická. Peltola *et al.* (2000) ve své studii prokázal

poměrně dobrou rozložitelnost konstrukčních materiálů na bázi dřeva jak v aerobních tak anaerobních podmínkách, ovšem za předpokladu skládkování za běžných podmínek blízcím se skládkám komunálního odpadu, nikoliv skládkám inertního materiálu. Na skládce se otvorová výplň za optimálních podmínek rozloží na inertní zeminu v průběhu cca 100 let. Během procesů probíhajících na skládce se produkuje metan a oxid uhličitý. Podíl  $\text{CH}_4$  je 60% a  $\text{CO}_2$  je 35% (Dočkal, 2000). U skládek inertních stavebních materiálů může nastat problém s úletem prachu. Dalším produktem, zejména na běžných skládkách, jsou výluhy, které jsou odpovídajícím způsobem ošetřeny před vypuštěním do recipientu, případně jsou rozstříkány nebo injektovány zpět do skládky. Množství emisí na tunu odpadu se pohybuje u běžných skládek kolem  $0,15 \text{ m}^3$  (Dočkal, 2006). Na podkladě výsledků provedených Peltolou *et al.* (2000) a obecných znalostech o skládkování lze říci, že nejvhodnější se jeví skládkování dezintegrovaného odpadu z výplní otvorů na běžných skládkách komunálního odpadu či v kompostech, kde dojde k jeho úplnému rozložení na inertní zeminu za produkce emisních plynů.

#### 4.5. Dílčí závěr

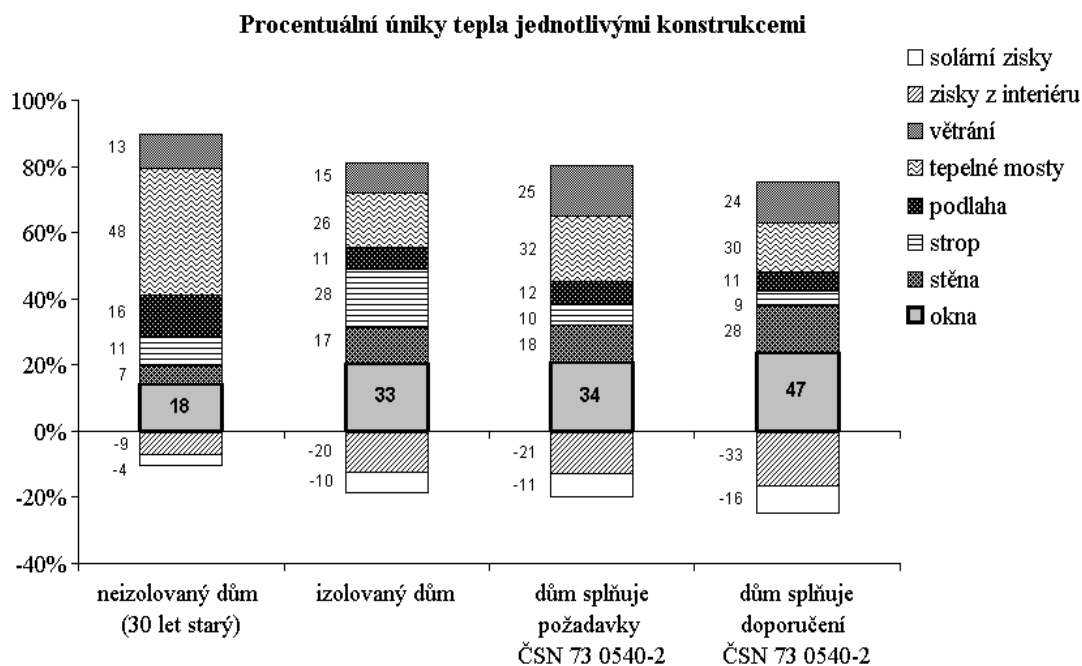
V současnosti na trhu dřevěných otvorových výplní výrazně dominuje jedna konstrukce – tzv. EURO. Převažujícím výchozím materiálem je smrk ve formě lepených hranolů. Ve způsobu výroby naopak panuje značná rozmanitost, zejména ve způsobu a technologii obrábění a v oblasti povrchových úprav, což klade značné nároky na obecné studie při získávání reprezentativních dat.

Oblast výrobních postupů není uspokojujícím způsobem pokryta nezávislými studiemi a literaturou, proto je nutné vycházet převážně z dat výrobců, případně využívat údajů uveřejňovaných státními institucemi. Statistické údaje jsou dostatečné pro obecné hodnocení produkce z pohledu životního prostředí a energetické náročnosti. V případě provádění analýzy konkrétního produktu však nemají dostatečnou vypovídací hodnotu a je nutné zvolit rozdílný přístup – využít měření a podrobných výpočtů.

## 5. Systémy hodnocení tepelně-technických vlastností otvorových výplní

Tepelně-technické vlastnosti jsou vyjádřením funkčních kvalit výplňové konstrukce, ale jejich skutečný význam lze určit jen se znalostí energetické bilance celého objektu. Pouze na širším podkladě lze přesně určit jejich roli, vliv na hospodaření s energiemi a efektivnost prostředků vynaložených na investice v této oblasti. Z důvodu porovnatelnosti je důležité vycházet při takovém porovnání z uceleného systému, který umožňuje nejen efektivní posouzení aktuálního stavu, ale také návrh možných změn a analýzu jejich přínosů zejména v ekonomické oblasti. K tomuto účelu nejlépe slouží energetické audity.

Základní kameny každého hodnocení – auditu však jsou výpočty energetické bilance, analýza úspor dosažených změnami tepelně-technických vlastností a ekonomická analýza těchto změn. Otvorové výplně představují určitou specifickou a velmi významnou oblast tohoto hodnocení, jak ukazuje na svém výpočtovém modelu rodinného domu Šubrt (2004). Řehánek (1989) vyčíslil podíly spotřeby tepla připadající na jednotlivé konstrukce rodinného domu a na okna připadá na okna kolem 20% celkové potřeby tepla. Z hlediska tepelných ztrát rodinných domů se význam oken zvyšuje a u nejmodernějších staveb pak představují ze všech konstrukcí tu nejvýznamnější – viz graf na obrázku 20. Proto se lze domnívat, že pozornost věnovaná čistě a výlučně auditům výplňových konstrukcí je zcela odůvodněná i přesto, že Bouška (1997) i Dahlsveen (2003) u energetických auditů doporučují posuzovat celý konglomerát energeticky úsporných opatření.



Obr. 20 – úniky tepla jednotlivými konstrukcemi domu podle Šubrt (2004)



## 5.1. Hodnocení z pohledu energetických úspor

### 5.1.1. Legislativní požadavky na energetické úspory

Zvyšující se nároky na tepelně-technické vlastnosti stavebních konstrukcí mají podklad v legislativě, konkrétně v zákoně č. 406/2000 Sb., *o hospodaření energií*. Jedním z cílů tohoto zákona, vyjádřeným v § 5, je snižování spotřeby energie a poskytování dotací na energeticky úsporná opatření ke zvyšování účinnosti užití energie, což je u otvorových výplní vyjádřeno tepelným odporem konstrukce a šířením vzduchu konstrukcí – průvzdušností.

Podrobnosti účinnosti užití energie pro spotřebu tepla v budovách stanovuje vyhláška č. 291/2001 Sb., *kteřou se stanoví podrobnosti účinnosti užití energie při spotřebě tepla v budovách*, kterou se podrobně stanoví tepelně-technické vlastnosti stavebních konstrukcí a budov, jejichž splnění je považováno za dodržení obecných technických požadavků na výstavbu. Nejvyšší přípustná hodnota měrné spotřeby tepla budovy, která slouží ve vyhlášce jako hlavní porovnávací kritérium, je závazná pro všechny stavby a jejich změny financované z veřejných prostředků a také pro všechny ostatní stavby z celkovou spotřebou energie přesahující 700 GJ za rok. Měrná spotřeba tepla se vztahuje na jednotku objemu budovy vypočtené z jejich vnějších rozměrů a potřebu energií vyplývající z tepelné bilance budovy. Užití energie se prokazuje tzv. energetickým průkazem budovy, vypracovaného dle příloh k této vyhlášce.

Pro výplně otvorů má mimořádnou důležitost ustanovení, které nepřipouští kondenzaci vodní páry na vnitřním povrchu jakýchkoliv stavebních konstrukcí a také ustanovení, že styky a spáry výplní otvorů nemají mít průvzdušnost větší, než je nutné z hlediska požadované intenzity výměny vzduchu při přirozené infiltraci a exfiltraci.

Vyhláška samotná uvádí řadu zjednodušených vztahů pro výpočet tepla prostupem, kdy se hodnota součinitele prostupu tepla výplně otvoru koriguje součinitelem o hodnotě 1,15, což v koresponduje s doporučeními, které uvádí Řehánek (2002) a Cihlár (1998). Prováděné kalkulace se vztahují pouze na otopné období. Velmi je zjednodušen výpočet tepelných zisků, kdy se neberou v potaz vlastnosti ani plocha zasklení, ty však mohou být započteny pouze pokud je instalována automatická regulace vytápěcího zařízení, jak je stanoveno v § 6 vyhlášky č. 291/2001 Sb.

Energetický průkaz budovy se dle vyhlášky č. 291/2001 Sb. zpracovává pro všechny nové budovy a budovy podléhající energetickému auditu. Umožňuje posuzovat jednotlivé budovy z hlediska kvality tepelných izolací a tím i předpokládaných nároků na energii potřebnou na vytápění (Šubrt, 2004). Průkaz popisuje celou budovu a jeho součástí jsou i data vztahující se k tepelně-technickým parametrům budov a jejich částí. Podkladem pro jeho vypracování může být i energetický audit.

Tepelně-technické vlastnosti oken se v postupu popsáném ve vyhlášce stanovují dle jejich konstrukce, tepelný tok pak dle zasklených ploch. Ve výpočtu ztráty infiltrací se vychází z objemu budovy a spárová průvzdušnost tedy nehraje žádnou roly.

Energetický průkaz je pro svoji značnou jednoduchost poměrně diskutabilním nástrojem pro určování energetických úspor, zejména pokud se při výpočtu postupuje pouze podle vztahů uvedených ve vyhlášce. Šubrt (2004) navíc konstatuje možné nadsazení výsledků výpočtů potřeb energií oproti skutečnosti. Přesto však umožňuje orientačně určit, jakou měrou se výplně otvorů podílejí na tepelné ztrátě prostupem a následně posoudit dopady změn jejich parametrů na celkovou spotřebu energie na vytápění.

Energetický štítek budovy vychází ze stejných myšlenek jako Energetický průkaz. Jedná se o přehledný technický dokument, který umožňuje doložit nejen splnění požadavku na energetickou náročnost budovy, ale také graficky vyjádřit míru tohoto parametru a to podobným způsobem, jako je tomu u elektrických spotřebičů (Šubrt, 2004). Přestože v současnosti je součástí většiny energetických auditů, vyhláška č. 213/2001 Sb. tento požadavek neobsahuje, stejně jako se o něm nezmiňuje Bouška (1997) ani Beranovský (2001).

Podkladem pro vypracování energetického štítku je informativní příloha C normy ČSN 730540-2 a vyhláška č. 291/2001 Sb. Splnění požadavků se vyjadřuje procentuálně, kdy 100% je dosaženo, pokud jsou splněna kritéria platná v době hodnocení domu. Tento parametr se nazývá SEN – stupeň energetické náročnosti. Jeho grafickým vyjádřením je pak vlastní Energetický štítek budovy.

Vzorec pro výpočet vychází z poměru měrné spotřeby tepelné energie pro vytápění budovy vztažené na obestavěný objem k jeho požadované hodnotě, stanovené dle přílohy č. 1 k vyhlášce č. 291/2001 Sb.

$$SEN = 100 \frac{e_v}{e_{v,N}} \quad (19)$$

Během výpočtu je možné určit, jakou měrou se podílí na spotřebě tepelné energie prostupem otvorové výplně. Spotřeba tepelné energie na větrání vychází z hygienických požadavků a nikoliv z technických, proto není třeba v rámci tohoto způsobu hodnocení věnovat pozornost spárové průvzdušnosti, pokud jsou splněny základní požadavky popsané v kapitole 3.2.2. Efekt zasklení, orientace budovy a dalších faktorů na tepelné zisky není v tomto způsobu hodnocení příliš zohledněn a je otázkou, zda by například náhrada vztahu pro výpočet tepelných zisků ze slunečního záření postupem dle Cihláře *et* Gabauera (1995) nebo Řehánka (2002) nevedl k nežádoucímu matení veřejnosti nebo zavádějícím výsledkům, jak poukazuje Šubrt (2004).

Výhodou energetického štítku proti energetickému průkazu je přehledné zobrazení závěrů a identifikace dopadů parametrů otvorových výplní na energetickou náročnost objektu. Toho lze využít zejména k orientačním ekonomickým výpočtům, zjišťování energetických úspor a marketingovým účelům při komunikaci se zákazníkem.

Samotný energetický štítek nebo energetický průkaz budovy nevypovídá nic o tepelně-technických vlastnostech výplní otvorů. Pokud však porovnáváme dvě a více variant výplňových konstrukcí nebo je zvažována jejich výměna, tak nám dovolí rychle určit dopady těchto parametrů na celkovou energetickou bilanci stavby.

### 5.1.2. Hodnocení z pohledu energetické bilance

Základem jakéhokoliv hodnocení vztahující se k energetické charakteristice budovy nebo jejich částí jsou tepelně-technické vlastnosti, zejména pak součinitel prostupu tepla. Komplikovanou problematiku průvzdušnost, jak je řešena v samostatné kapitole, lze pro účely energetických bilancí nebo výpočtu energetických ztrát shrnout do závěru, že nutné množství výměny vzduchu je nutné zajistit jiným způsobem a to aerací (Klepárník, 2005). Z toho důvodu lze u moderních konstrukcí problematiku větrání od hodnocení energetické bilance samotných otvorových výplní oddělit.

Součinitele prostupu tepla výplní otvorů, zejména pokud jsou změřeny podle nejnovějších norem ČSN EN ISO 12567-1 či vypočteny se zahrnutím lineární činitele prostupu tepla dle ČSN EN ISO 10077-1, lze považovat za velmi přesné a neodchylují se v takové míře od hodnot dosažených na skutečných budovách, jak udává Řehánek (1986) nebo Mrlík (2000).

Součinitel prostupu tepla je základním kamenem všech systémů hodnocení tepelně-technických vlastností. Za další krok se obecně považuje zjištění tepelných ztrát dle zjednodušených nebo klasických postupů, většinou založených na topenářské praxi (Cihlář, 1998) nebo počítačovým modelováním. Praktickým výstupem je pak spotřeba tepla, kterou lze stanovit gradenovou metodou (Řehánek, 2002) dle vzorce:

$$E_v = \frac{\varepsilon \cdot Q_w \cdot 24 \cdot 10^{-3}}{(t_i - t_e)} \cdot d \cdot (t_{im} - t_{e,VO}) \quad (20)$$

Následně lze upravit konečnou bilanci započtením zisků z vnitřních zdrojů a ze slunečního záření:

$$E_r = E_v - E_{zvo} - 0,9 \cdot E_{vz} \quad (21)$$

Skutečnou potřebu tepla je však ještě nutné doplnit účinností kotle, rozvodů a obsluhy (Cihlář, 1998). Pro zjištění tepelné ztráty dosažené pouze otvorovou výplní lze použít vztahu udávaného Řehánkem (1986), který vychází z klasických rovnic dle ČSN 06 0210:

$$Q_w = \varphi \cdot U_w \cdot \Delta t + 1300 \cdot i \cdot l' \cdot B \cdot M \cdot \Delta t \quad (22)$$

Tento vztah zahrnuje i tepelnou ztrátu infiltrací. Ta by měla být zahrnuta nejen do bilance otvorové výplně, ale také do tepelné ztráty větráním vycházející z normativních požadavků podle ČSN 73 0540-2 a vztahů vycházejících z velikosti vnitřních prostorů dle Cihláře (1998).

Alternativu ke gradenové metodě představuje postup podle ČSN EN 832, vycházející z jednotkové tepelné ztráty. I tento vztah lze poměrně snadno upravit pro zjišťování spotřeby tepla a jednotkové tepelné ztráty výplní otvorů. Jednotková tepelná ztráta prostupem se pak redukuje pouze na jednoduchý vztah:

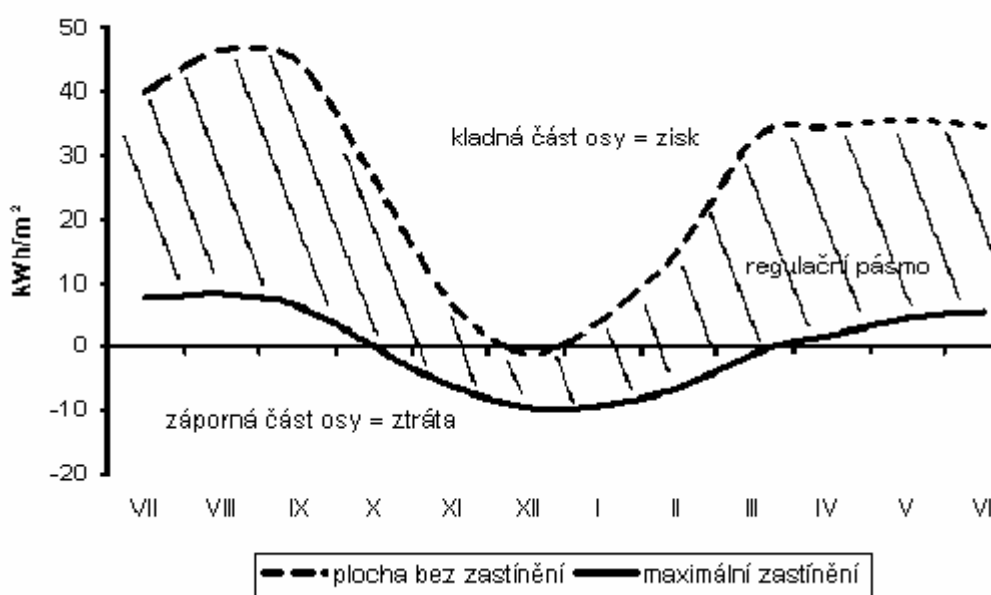
$$H_T = L_D = \sum A_w \cdot U_w \quad (23)$$

Započtení a zjištění solárních zisků je poměrně problematické. Způsoby jejich kalkulace uvádí většina literatury zaměřené na tepelně-technické vlastnosti staveb s výjimkou Cihláře (1998). Metody se však dost podstatně liší. Nejjednodušší způsob udává vyhláška č. 291/2001 Sb., kde je tepelný zisk vypočten pouhým vynásobením objemu místnosti konstantou. Klepárník (2005) vymezuje pásmo možných solárních zisků v závislosti na míře zastínění okna jako prvku dosahujícího energetických zisků (Obr. 21). Puškár (2003), Hájek (2002) a Thumann *et* Younger (2003) uvádějí řadu způsobů, jak tyto zisky omezit

případně regulovat. Vliv takovéto regulace pomocí stínících prvků lze vyčíslit dle následujícího vztahu (Řehánek, 2002):

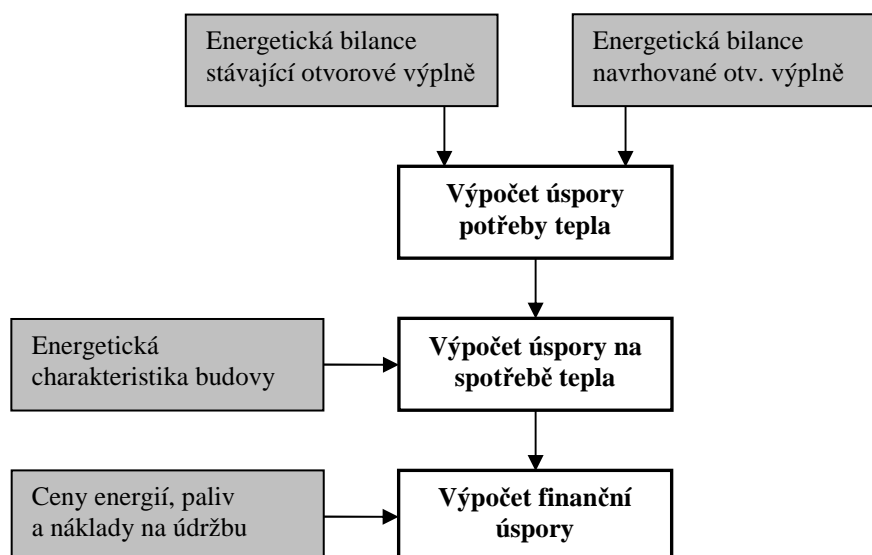
$$E_{zm} = E_{gm} \cdot A \cdot T \cdot c_m \cdot c_n \quad (24)$$

Uvedený vztah vychází z redukované propustnosti záření a globálního slunečního záření za měsíc. Hodnoty jsou vyčísleny v odpovídajících normách ČSN 73 0548 *Výpočet tepelné zátěže klimatizovaných prostorů* a ČSN 73 0542 *Způsob stanovení energetické bilance zasklení ploch obvodového pláště budovy*.



Obr. 21 - roční energetická bilance zasklení okna

Energetická bilance a hodnota spotřeby tepla slouží jako základ pro ekonomické výpočty. Lze je však použít i samostatně. Energetická bilance otvorových výplní sestává zejména z energetických ztrát a solárních zisků otvorové výplně, kdy v obou oblastech hraje zejména okno klíčovou roli (Šubrt, 2004). Vnitřní zisky se do samostatného hodnocení nezapočítávají, protože jsou jednak součástí celkové energetické bilance stavby a také proto, že otvorové výplně jako takové na ně nemají žádný vliv. Spotřebu tepla související s výplněmi otvorů lze zjistit samostatným výpočtem, avšak její skutečnou hodnotu lze přesně vypočítat až se začleněním účinností vytápěcího systému a dalších hodnot charakterizujících jak ostatní stavební konstrukce tak vytápěný prostor (Cihlář, 1998). Zjednodušený postup pro zjišťování spotřeby tepla na podkladě energetické bilance je znázorněn na obrázku 22.



Obr. 22 – postup při zjišťování tepla na podkladě energetické bilance

## 5.2. Ekonomické hodnocení

Ekonomické hodnocení tepelně-technických vlastností je pro většinu koncových uživatelů rozhodujícím kritériem při rozhodování o nákupu či výměně otvorových výplní, jejich konstrukčním řešení případně celkovém řešení budovy. V současné době je klíčovým parametrem i pro energeticky úsporná opatření v rámci energetických auditů. Představuje další krok a rozšíření hodnocení energetických úspor (Dahlsveen, 2003). U energeticky úsporných opatření by měli být při návrhu kriticky zváženy případné dopady na vnitřní mikroklima a zajistit, aby úsporami nedocházelo žádným způsobem k snížení pohody vnitřního prostředí (Jokl, 1998). Oproti hodnocení komplexu energeticky úsporných opatření je ekonomické hodnocení samotných otvorových výplní jednodušší, obzvláště pokud vycházíme z klasických a normovaných výpočtů energetických úspor, jak je udává Řehánek (1986). Kromě tepelně-technických vlastností jsou pro ekonomické hodnocení určující i technické parametry údržby a životnost. Z ekonomických vstupů se využívá úrokových měr, odhadů míry inflace a relativní inflace v případě, že se ceny energií vyvíjejí odlišně od ostatních cen.

### 5.2.1. Používané ekonomické pojmy pro hodnocení otvorových výplní

Zde popsané pojmy jsou nejčastěji užívané ukazatele pro rozhodování o energeticky úsporných opatřeních s důrazem na jejich vhodnost při popisu investic do výplní otvorů na bázi dřeva a požadavky na vstupní údaje. Z hlediska ekonomické teorie je nákup či výměna výplní otvorů získáním aktiva, o kterém se předpokládá, že bude po dobu své ekonomické životnosti produkovat výnos, v tomto případě úsporu energie. Jedná se tedy o anuitu (Holan, 2000). Úkolem ekonomického hodnocení je poskytnout odpověď na otázku, zda tepelně-technické vlastnosti oken a dveří odpovídají investičním nákladům – zda je výnos z investice dostatečný.

Hrubá návratnost, kterou Boušek (1997) označuje jako prostou dobu návratnosti, ukazuje dobu, za kterou dojde ke splacení investice. Díky řadě zjednodušujících podmínek, jako jsou například shodné roční úspory, mohou být výsledky zkreslující. Pokud je doba hrubé

návratnosti vyšší než 4 až 5 let metodu nelze použít (Dahlsveen, 2003). U dřevěných otvorových výplní může sloužit k hrubému rozlišení mezi různými variantami, ovšem lze předpokládat její nepřesnost z důvodu nutnosti údržby dřeva. Doba návratnosti  $T$  v letech je prostým podílem investičních nákladů  $I$  a ročního výnosu  $V$ .

$$T = \frac{I}{V} \quad (25)$$

Kalkulace reálné návratnosti energeticky úsporných opatření vychází se začlenění změn cen, nákladů a výnosů v čase. Zvažován je i způsob investice. Investice se považuje za vratnou, pokud je doba reálné návratnosti kratší než ekonomická životnost výplně otvoru. Kromě doby návratnosti lze dle vztahů publikovaných Bouškem (1997) zjistit, zda je za daných podmínek možné uhradit anuitu z výnosů bez nutnosti zjišťovat kumulovaný cash flow. Vstupními údaji pro kalkulaci je prostá návratnost  $T$ , předpokládaný vzrůst cen energií  $B$ , míra inflace  $D$ , úroková míra půjčky  $Q$  a její doba splatnosti  $n$ . Nevýhodou je obtížná začlenitelnost technických a ekonomických parametrů údržby otvorových výplní do uvedeného vztahu (26), stejně jako obtížná odhadnutelnost vývoje inflace a cen energií, které ztěžuje porovnatelnost různých studií.

$$X = \frac{\log \left[ T \cdot \frac{B-D}{100+B} \cdot \frac{Q}{D} \cdot \left( \frac{100+Q}{100+D} \right)^n \cdot \frac{\left( \frac{100+D}{100} \right)^n - 1}{\left( \frac{100+Q}{100} \right)^n - 1} + 1 \right]}{\log \frac{100+B}{100+D}} \quad (26)$$

Reálnou dobu návratnosti lze také zjistit z podmínky uvedené ve vyhlášce č. 213/2001 Sb. Postup je použitelný zejména pokud ekonomicky hodnotíme energeticky úsporná opatření metodikou energetického auditu dle odpovídající české legislativy, případně když je celá investice financována z vlastních zdrojů – bez půjčky. Výhodou je možnost stanovit změnu peněžních toků pro realizaci projektu.

$$\sum_{t=1}^{T_{SD}} CF_t \cdot (1+r)^{-t} - I = 0 \quad (27)$$

Dahlsveen (2003) uvádí tento postup pod názvem Metoda čisté návratnosti a zjednodušuje výpočet pomocí kalkulace faktoru anuity  $f$ , z jehož pomocí můžeme přímo určit s příslušných tabulek dobu čisté návratnosti. Nevýhodou je předpoklad o rovnosti ročních úspor.

Pro finanční analýzu uvádí Boušek (1997), Dahlsveen (2003) a Thumann *et* Younger (2003) dva základní postupy, jejichž parametry požaduje i vyhláška č. 213/2001 Sb. Jedná se o Metodu čisté současné hodnoty a určení vnitřního výnosového procenta, které na výpočet čisté současné hodnoty navazuje. Thumann *et* Younger (2003) navíc uvádí metodu Ceny

životního cyklu – Life Cycle Costing, která je předmětem i samostatných monografií (Fuller, 1996) a je rozebrána jako samostatný způsob hodnocení v kapitole 5.2.2.

Čistá současná hodnota – Net Present Value (NPV) je součet všech budoucích ročních výnosů za dobu ekonomické životnosti dřevěných výplní otvorů, přepočtených na dobu, kdy byli investice vloženy. Od součtu je odečtena hodnota investice. Investice se považuje za ziskovou, pokud je tato hodnota větší než 0 (Boušek, 1997). Pro rozlišení mezi více produkty, například mezi okny s různou cenou a tepelně-technickými vlastnostmi, lze užít i doplňující parametr: Koeficient čisté současné hodnoty – Net Present Value Quotient (NPVQ), uváděný také jako ukazatel ziskovosti, který je poměrem čisté současné hodnoty a hodnoty celkových investic. Výpočet zohledňuje rozdílnou výši výnosů v různých letech (Dahnsveen, 2003).

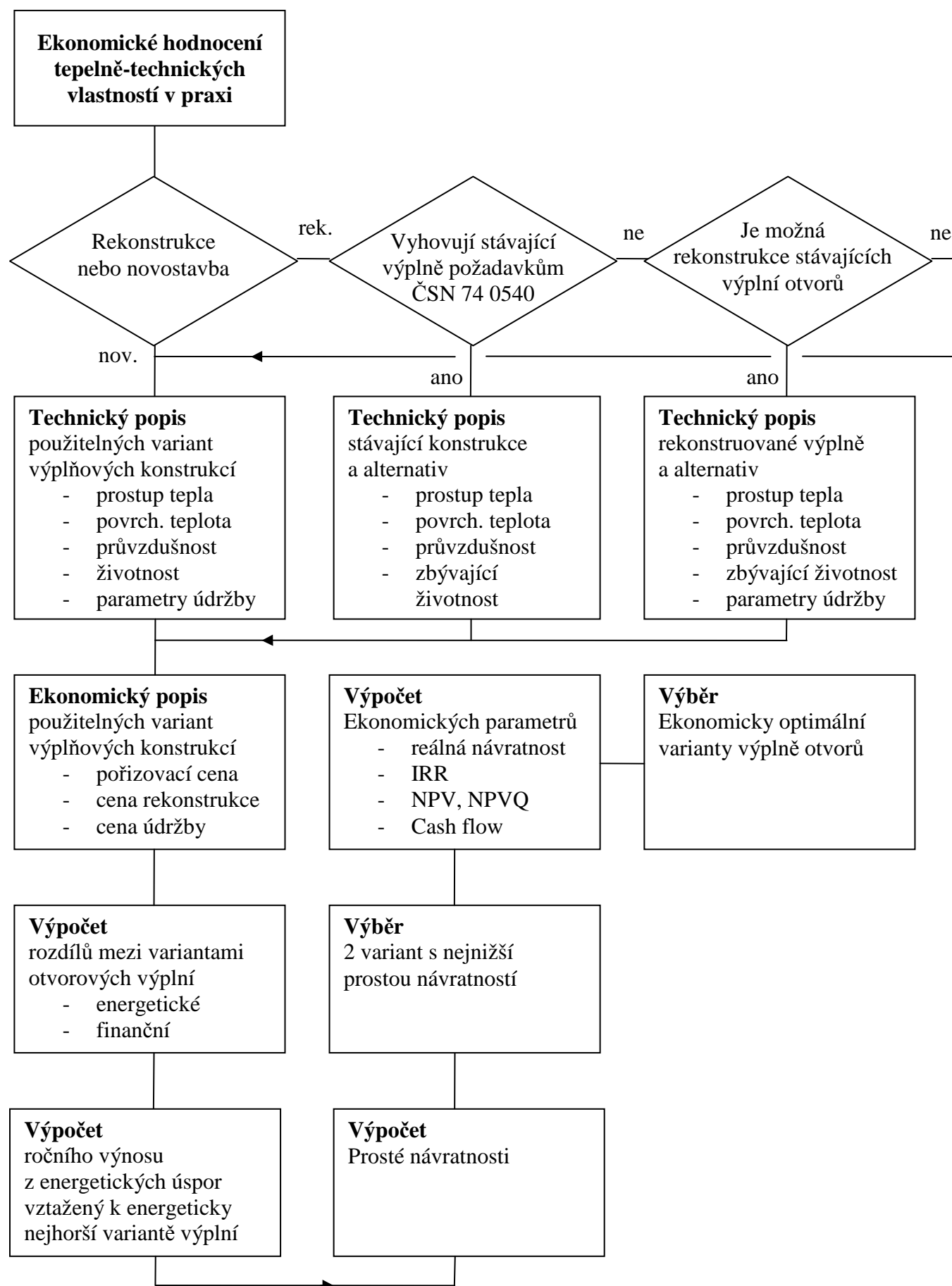
$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{B_t}{(1+r)^t} - I_0 \quad (28)$$

$$NPVQ = \frac{NPV}{I_0} \quad (29)$$

Vnitřní výnosové procento – Internal Rate of Return (IRR) je úrokové míra, při níž je hodnota Čisté současné hodnoty rovna nule. Jinak řečeno budoucí cash-flow se bude rovnat investičním nákladům během ekonomické životnosti investice (Dahlsveen, 2003). Hodnota tohoto parametru slouží pro porovnání s úrokovými mírami na trhu a ukazuje míru výhodnosti investice.

Analýza finančního toku – cash flow, vyjádřena nejčastěji graficky, vyjadřuje vývoj finančních výnosů v jednotlivých letech předpokládané ekonomické životnosti. Boušek (1997) jej označuje jako rozhodující pro investiční rozhodnutí. Slouží k určení ročních ekonomických důsledků investice na hospodaření investora. Je určující zejména při volbě způsobu financování. V podrobné analýze, která však není nezbytná, se navíc zohledňují i daně a odpisy. Konkrétní způsob popisuje Thumann *et* Younger (2003).

Přestože tento popis není ani zdaleka vyčerpávající, poskytuje dostatečný podklad pro technicko-ekonomické hodnocení dřevěných výplní otvorů a jejich tepelně-technických vlastností. Z technického hlediska z něj jde odvodit následující závěry: pouze tepelně-technické vlastnosti nestačí ke komplexnímu posouzení investice, je důležité co nejpřesněji určit i náklady na údržbu, u dřeva zejména povrchových úprav, předpokládatelné změny parametrů a dobu technické a ekonomické životnosti. Pro posouzení energetických úspor je nutné přesně kvantifikovat možné solární zisky a k tomu je třeba znát parametry zasklení. Přesné určení ročních úspor po celou dobu životnosti je klíčem k pravdivému ekonomickému popisu stavebně-truhlářských výrobků a výběru nejvhodnější konstrukce. Návrh optimálního postupu při ekonomickém hodnocení tepelně-technických vlastností otvorových výplní je zobrazen schématem na obrázku 22.



Obr. 22 - ekonomické hodnocení



### 5.2.2. Metoda LCC a její využití

Metoda nákladů životního cyklu – Life Cycle Costing (LCC) slouží k odhadu nákladů energeticky úsporných opatření po celou dobu jejich životnosti (Thumann *et al.*, 2003). Hodnota LCC je mimo jiné jádrem ekonomické části energetického auditu dle AEE, ale úspěšně ji lze aplikovat i samostatně, jak ukazuje Lukešová *et al.* (2005) na příkladu běžné praxe v Norsku.

Tato metoda shrnuje výdaje a náklady související s budovou nebo její částí a převádí je na současnou hodnotu. Pro rozhodování mezi jednotlivými variantami energeticky úsporných opatření tak máme k dispozici pořizovací i budoucí výdaje a náklady. Nahrazuje tak v ekonomickém hodnocení v roli hlavního rozhodovacího parametru hodnoty uváděné Bouškou (1997), Dahlsveenem (2003) a závazné výstupy energetického auditu dle vyhlášky č. 213/2001 Sb. Jedná se o podrobné rozpracování postupů uváděných většinou v cash-flow diagramu, jak je popsán v kapitole 5.2.1.

Jako podklady pro zjištění hodnoty LCC uvádí Měchurová (2005) energetický audit, respektive energetickou bilanci budovy, energetický průkaz a štítek, pořizovací a zůstatkové ceny instalovaných konstrukcí a zařízení, provozní řád budovy a manuál provozu a údržby. Z jejich pomoci lze efektivně ovlivňovat LCC, kterou zjišťujeme dle vzorce (Měchurová, 2005):

$$C_v = I_v + (A_v + P_v + \dot{U}_v + R_v + L_v) * \quad (30)$$

$C_v$ ... celkové náklady	$P_v$ ... provozní náklady	$L_v$ ... náklady na likvidaci
$I_v$ ... investiční náklady	$\dot{U}_v$ ... náklady na údržbu	* ...diskontované hodnoty
$A_v$ ... admin. náklady	$R_v$ ... rekonstrukce	

Oproti jiným způsobům hodnocení LCC umožňuje zajistit optimální rovnováhu mezi provozními a pořizovacími náklady a navíc poskytuje údaje pro volbu mezi různými stavebními materiály, prvky a systémy. Velkou výhodou představuje také možnost vhodného naplánování rekonstrukce nebo případné výměny oken tak, aby byla cena životního cyklu co nejnižší.

Finanční analýza LCC vychází z historie finančního hospodaření budovy a odhadů vývoje spotřeb energií a jejich cen, investičních nákladů, výdajů nebo případných příjmů z likvidace budovy nebo samostatné konstrukce. Jako užívanou diskontní míru uvádí Lukešová *et al.* (2005) 4%.

Nevýhodou tohoto způsobu hodnocení je značné množství odhadů sloužících jako podklad k získání konečného výsledku. Výhodou je naopak komplexní přístup k problematice hodnocení energetických úsporných opatření.

U dřevěných otvorových výplní, pokud je hodnotíme samostatně, je ve výpočtu, kromě samotných tepelně-technických vlastností, důležitá periodická údržba povrchových úprav, čištění a případná výměna těsnění. Vychází se také z nákladů na demontáž a případné zneškodnění, pokud je to technicky možné vyčíslit. Lze předpokládat, že administrativní náklady a zůstatková hodnota otvorových výplní bude po uplynutí jejich životnosti nulová.

### 5.3. Hodnocení v rámci energetických auditů

K zajištění základního úkolu tepelně-technického a ekonomického hodnocení, kterým je umožnění zodpovědného výběru nejvhodnějšího výrobku, je nutné zajistit koordinaci mezi výrobcí a nezávislými auditory. Úkolem výrobců v tomto řetězci je poskytování takových údajů o otvorových výplních, které budou dostatečným podkladem pro rozhodování zákazníků a práci energetických auditorů. Základní údaje v této oblasti: součinitel prostupu tepla a součinitel spárové průvzdušnosti však zajišťují pouze kvantitativní popis vlastností. Jejich největší výhodou je vzájemná porovnatelnost, protože jsou zjištěny dle společné metodiky.

Energetický audit poskytuje informace o způsobech a úrovni využívání energie v budovách a v energetickém hospodaření a návrh opatření, která je třeba realizovat pro dosažení energetických úspor (Beranovský, 2001). Z hlediska environmentální politiky je však zmenšení energetické náročnosti budov pouze částečným cílem. Při systémovém přístupu musíme hodnotit výrobek nebo technické opatření obecně nejen po dobu, kdy plní svoji funkci jako součást stavby, ale do hodnocení se musí zahrnout i předcházející a navazující výrobní a nevýrobní procesy a hodnotit celý výrobní cyklus. Pouze systémovým přístupem můžeme zjistit skutečné environmentální přínosy navrhovaného řešení. Začlenění hodnocení životního cyklu otvorových výplní do užívaných metodik energetických auditů a definování parametrů životního cyklu pro vzájemnou porovnatelnost produktů je jedním z úkolů této práce.

Energetický audit samotný je systémovým nástrojem sloužícím k dosažení energetických úspor pomocí technických a organizačních opatření. Z ekonomického hlediska slouží energetický audit jako hlavní podklad pro optimalizaci financování investičních akcí, zaměřených do oblasti výroby a úspor tepelné energie (Bouška, 1997). Hlavním předpokladem pro vypracování energetického auditu je spolehlivé zvládnutí technické stránky problematiky, kvalita dat poskytovaných výrobcí a dodavateli a vzájemná provázanost navrhovaných opatření. Z těchto důvodů je energetický audit hlavním upotřebitelem tepelně-technických parametrů jednotlivých navrhovaných zařízení a konstrukcí.

Úkolem auditora je komplexní hodnocení stávajícího stavu dle platné legislativy, norem a požadavky zadavatele. Na toto hodnocení navazuje technický návrh možných řešení zjištěných nedostatků. Krokem závěrečným a z hlediska dalšího rozhodování investora nejdůležitějším je převod technických parametrů, se kterými auditor pracoval doposud, na parametry ekonomické. Pouze na jejich základě pak může auditor vytvořit výstup auditu: soubor doporučených změn, opatření a úprav vedoucích ke snížení energetické náročnosti objektu při zachování optimálních parametrů vnitřního prostředí budov a dodržení všech legislativních požadavků (Dalsveen, 2003).

Úskalím ekonomického hodnocení je především nedokonalá interpretace vstupních technických dat při vyčíslování ekonomických parametrů. Použitá technická data jsou brána jako konstanty. Nejsou zohledněny případné změny v průběhu času a vliv instalace, tudíž se takto zjištěné ekonomické parametry mohou výrazně odlišovat od skutečnosti. Tento problém lze u větších projektů řešit přenesením zodpovědnosti za efektivitu opatření na realizační firmu pomocí progresivních metod financování, jako je například Energy Performance Contracting (Sochor, 2003).

V této kapitole jsou popsány užívané systémy auditování u nás a v zahraničí (USA, Skandinávie). Při jejich porovnání jsou hodnoceny podobnosti, rozdíly, návaznost na

legislativu platnou v ČR a výhody a nevýhody při aplikaci metodik na dřevěné otvorové výplně.

### 5.3.1. Metodika dle ČEA

Metodika provádění auditu může být rozdílná. V České republice se vychází z vyhlášky č. 213/2001 Sb., která stanovuje náležitosti energetického auditu ve smyslu § 9 a § 10 zákona č. 406/2000 Sb. *o hospodaření energií*. Metodiku samotnou rozpracovává Česká energetická agentura. Ta podporuje návaznost na normy a požadavky státních programů finančních podpor pro zavádění energeticky úsporných zařízení a snižování negativních vlivů na životní prostředí. Podrobně se zásadám vypracovávání energetického auditu věnuje Bouška (1997). Metodika však není závazná, závazné jsou pouze náležitosti, odkazy na normy a výpočtové vztahy stanovené vyhláškou.

Auditor je osoba autorizovaná, certifikovaná nebo jinak koncesovaná ve smyslu platných zákonů, vyhlášek a nařízení. Svoji činnost vykonává nezávisle v souladu se zájmem státu a zadavatele auditu. Obecně platná náplň jím vypracovaného energetického auditu je, bez ohledu na užitou metodiku, následující:

- zhodnocení stávajícího stavu objektu z energetického, technického a ekonomického hlediska,
- nalezení a definování energetických a ekonomických ztrát,
- návrh opatření ke zlepšení stavu,
- ekonomické vyhodnocení realizovatelných opatření,
- garance správnosti technických a ekonomických údajů.

Výhoda zpracování energeticko-ekonomického hodnocení otvorových výplní jako součásti energetického auditu spočívá v tom, že výsledné údaje jsou odborně garantovány a audit samotný lze zároveň využít pro hodnocení dalších investic v oblasti snižování energetické náročnosti a případně splnění zákonných požadavků na objekt. Povinnost podrobit své energetické hospodářství a budovu energetickému auditu mají dle zákona č. 406/2001 Sb. a vyhlášky č. 213/2001 Sb. následující objekty (Beranovský, 2001):

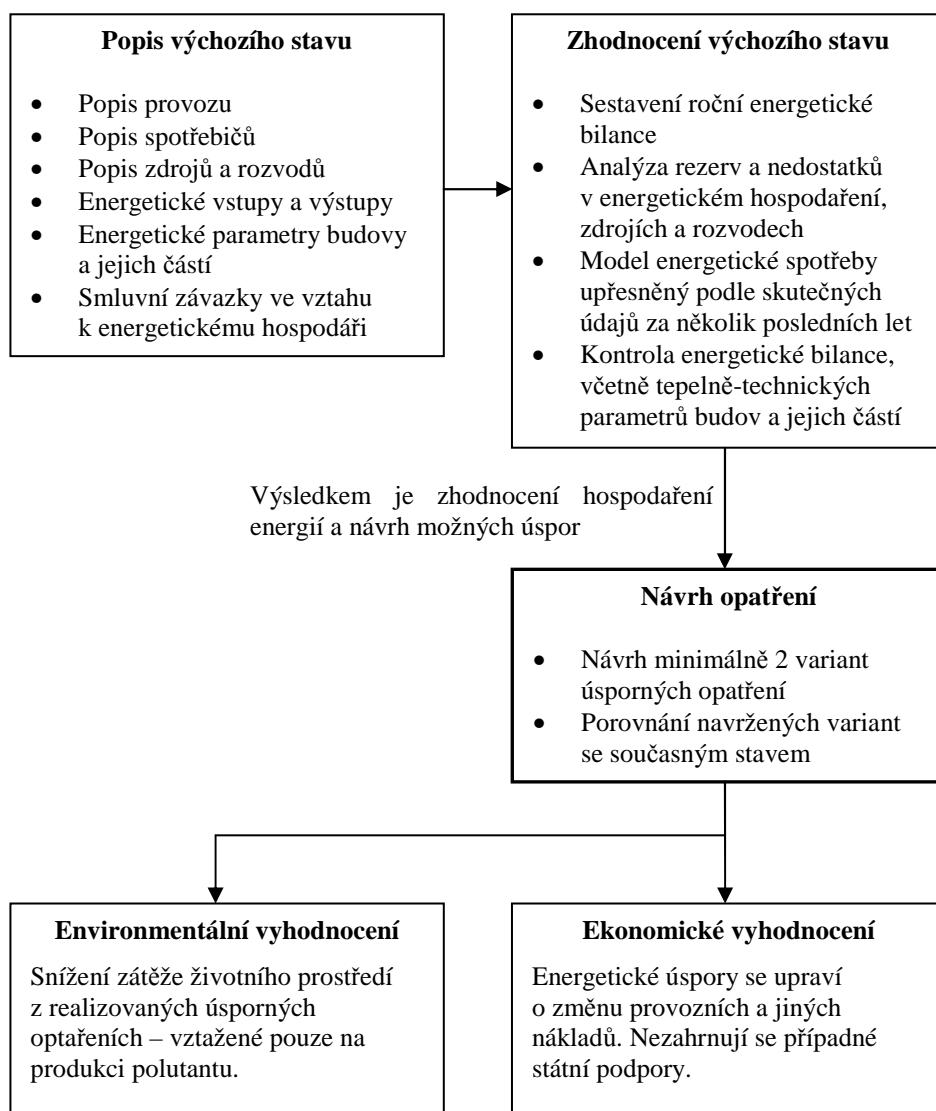
- Fyzické a právnické osoby, které žádají o státní dotaci
- Organizační složky státu, krajů, obcí a příspěvkové organizace jejichž celková roční energetická spotřeba je vyšší než 1500 GJ
- Fyzické a právnické osoby, s celkovou roční spotřebou energie vyšší než 35 000 GJ, pokud u jednotlivých budov nebo areálů samostatně zásobovaných energií je celková roční spotřeba energie vyšší než 700 GJ

Otvorové výplně se v auditu hodnotí jak samostatně, tak v kombinaci s jinými opatřeními. Nevýhodou tohoto přístupu je nutnost, aby posouzení vypracovávala kvalifikovaná osoba - energetický auditor. Hodnocení však může provádět i jiný pracovník kvalifikovaný v dané oblasti s využitím technických norem a zavedených ekonomických propočtů popsanych

v kapitole 5.2.. Použitá metodika se neliší od běžně užívané metodiky auditu, pouze postrádá odbornou garanci a proto lze její výsledky použít jen omezeně.

Protože rozsah energetických auditů je značný, od elektrických spotřebičů, ohřevu TUV až po výrobu a distribuci tepla, je nutné se pro účely této práce omezit pouze na oblast účinnosti užití energie. Tuto problematiku pokrývá vyhláška č. 291/2001 Sb.

Prvním krokem auditu a jakéhokoliv ekonomicko-technického hodnocení je zmapování stávajícího stavu. Základními údaji je popis energetických zdrojů, rozvodů, vstupů a výstupů - energetického hospodářství, provozu, výrobních technologií a lokality. Důležitou součástí jsou informace o budovách a jejich částech ovlivňujících spotřebu energie. Způsob zjišťování a zdroje dat udává legislativa. Dle vyhlášky by se také měli hodnotit dopady na životní prostředí.



Obr. 23 - postup při práci na energetickém auditu

Na základě výsledků přípravných šetření se provede zhodnocení výchozího stavu, zejména energetická bilance. Hodnocení výplňových konstrukcí se provádí dle modelu energetické potřeby stavby. Konkrétní typ modelu není vyhláškou upřesněn. Model se upřesňuje dle skutečné potřeby energie v průběhu několika posledních let - nejčastěji 3. Závěrem analýzy výchozího stavu je adresné hodnocení nakládání s energií a možností úspor (Beranovský, 2001), jejichž kvantifikace se provádí dle postupů z kapitoly 5.1. Postup při práci na energetickém auditu je zobrazen schématem na obrázku 23.

Výstupem energetického auditu je návrh nejméně dvou variant energetický úsporných opatření. Tyto varianty se hodnotí metodikou dle vyhlášky z energetického, ekonomického, a environmentálního hlediska. Za určující environmentální parametr se považuje snížení emisí s primárních zdrojů tepelné energie (ČEA, 2004).

Mimo údaje stanovené vyhláškou lze také hodnotit další smluvně dohodnuté parametry. Uvádí se okrajové podmínky, za kterých lze úspory energie garantovat a také přepočty spotřeby energie na užitnou plochu, učebnu, lůžko, kancelář apod. (Bouška, 1997).

### 5.3.2. Metodika dle ENSI

Specifický přístup k hodnocení tepelně-technických vlastností otvorových výplní a k spotřebě energií obecně představuje proces zachování energie ENCON používaný norskou společností ENSI, kterou podrobně popisuje Dahlsveen (2003). Metodika je používána ve Skandinávii, Pobaltí a Rusku. Podstata metody spočívá v dosažení trvalých a ekonomicky výhodných úspor energií, kdy dochází k identifikaci největších příležitostí a to ne na podkladě normovaných tepelně-technických vlastností konstrukcí, ale měrné potřeby a spotřeby tepla.

Jádrem hodnocení je opět energetický audit, který je pro potřeby této metodiky zjednodušen do tzv. metody klíčových čísel, která je postavena na bilanci potřeby a spotřeby energie v budovách rozdělených do několika přesně specifikovaných bilančních položek. Specifická roční spotřeba se pak udává na  $m^2$  čisté vytápěné plochy a je zvlášť definovaná na každou položku. Tato hodnota je pak porovnávána s klíčovým číslem pro odpovídající lokalitu a typ budovy. Jádro výpočtu je podobné principu energetickému štítku dle vyhlášky č. 291/2001 Sb. Výhoda procesu ENCON je v možnosti nikoliv pouze porovnat parametry objektu se standardem či požadavky vyhlášek a norem, ale možnost přesně určit kritické oblasti. Tento princip umožňuje zaměřit se během auditu pouze na oblasti s největším potenciálem energetických úspor.

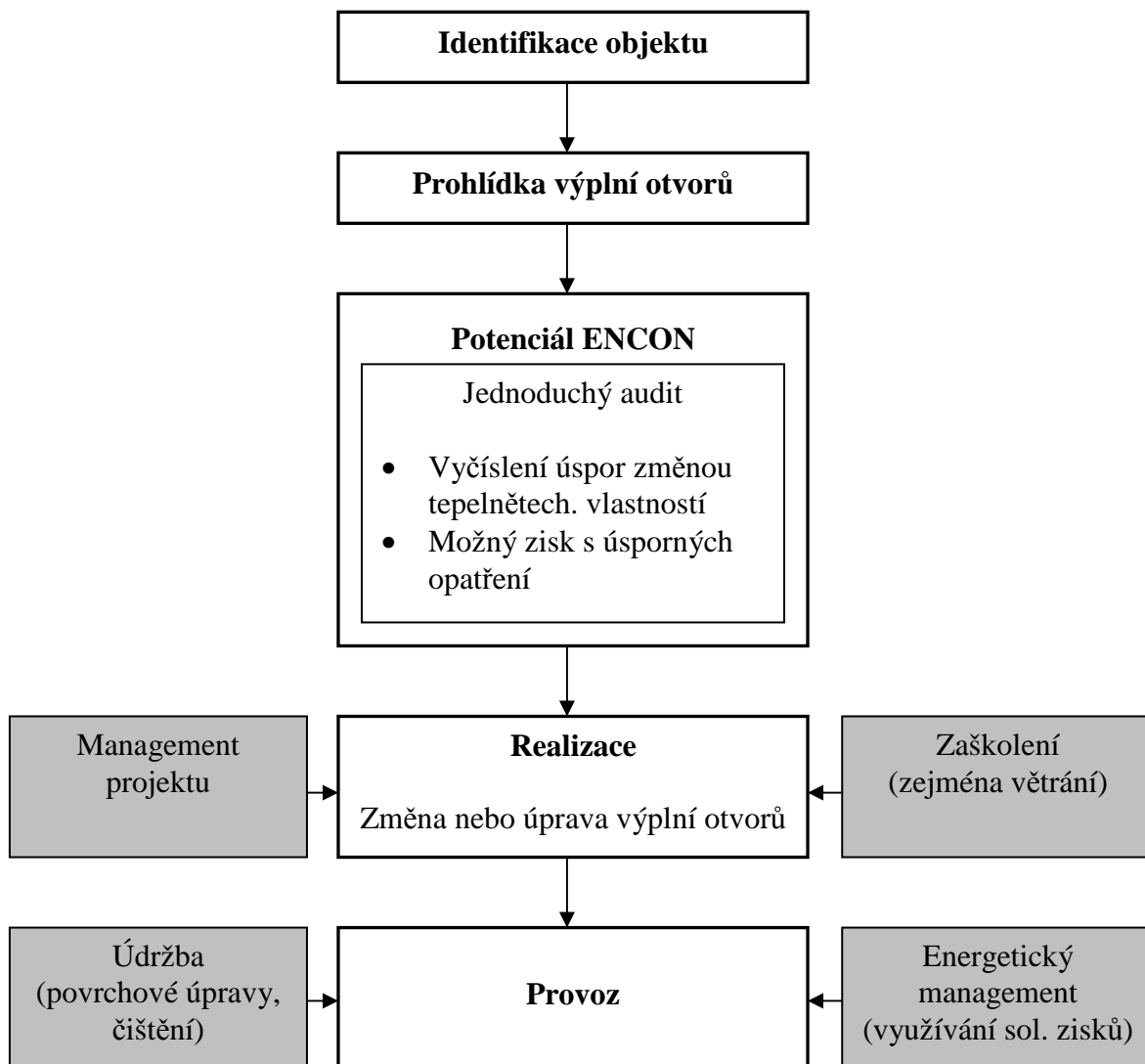
Porovnání probíhá na 3 úrovních a je znázorněn na obrázku 24. Pokud hodnotíme výlučně tepelně-technické vlastnosti výplní otvorů lze použít tento obecný postup, který určuje naléhavost změn v jejich konstrukci stejně tak jako vliv na celkovou bilanci budovy.

V hodnocení klíčových čísel 1. úrovně porovnáváme měrnou potřebu a spotřebu energií s odpovídajícími tabulkovými hodnotami. Pokud jsou hodnoty nižší než tabulkové, je nutné zvážit nutnost energeticky úsporných opatření. V případě posuzování otvorových výplní je nutné přistoupit k dalším krokům i v případě, že celková měrná potřeba a spotřeba energie je vyhovující.

Na 2. úrovni hodnocení alokujeme zjištěné měrné hodnoty do jednotlivých položek, z nichž zahrnují charakteristiku otvorových výplní dvě: vytápění a větrání. Při porovnávání s tabulkovými hodnotami je potřeba postupovat obdobně jako na 1. úrovni.

3. úroveň spočívá v podrobném hodnocení oblastí s nejvyšším potenciálem energetických úspor, přestože v porovnání s metodikou ČEA, jak ji popisuje Bouška (1997), a v praxi užívanými výpočty dle Cihláře (1998), Řehánka (2002) a norem ČSN 73 0540-2

a ČSN 06 0210, se jedná o značné zjednodušení, v rámci metody ENCON představuje nejpodrobnější a nejdetailnější kalkulace. Teprve na této úrovni dochází k porovnání součinitelů prostupu tepla s normovými hodnotami. V případě návrhu změn, například v oblasti okenních konstrukcí, se dosažená úspora energie či změna v oblasti solárních zisků určuje pomocí tzv. citlivosti – tabulkové hodnoty, která udává změnu měrné spotřeby tepla na jednu desetinu hodnoty součinitele prostupu tepla nebo jiný stavebně-fyzikální parametr. Citlivost udávají metodické tabulky. Výsledkem tohoto postupu je vyčíslení úspor energií.



Obr. 24 - proces ENCON se zaměřením na výplně otvorů

Velkou nevýhodou této metodiky je však v místních podmínkách absence klíčových a citlivostních čísel. Dahlsveen (2003) udává pouze jednu klimatickou zónu – Prahu. Těžiště metody však spočívá spíše než v hodnocení stávajícího stavu v efektivním dosažení energeticky úsporných opatření. Hodnocení tepelně-technických vlastností představuje pouze dílčí krok procesu ENCON, který zahrnuje tvorbu podnikatelského plánu, určení pravidel energetického managementu a postupů údržby.

Pro otvorové výplně lze tento postup hodnotit jako přehledný a poskytující dostatečné orientační údaje bez nutnosti náročných odborných výpočtů. Výhodou je i skutečnost,

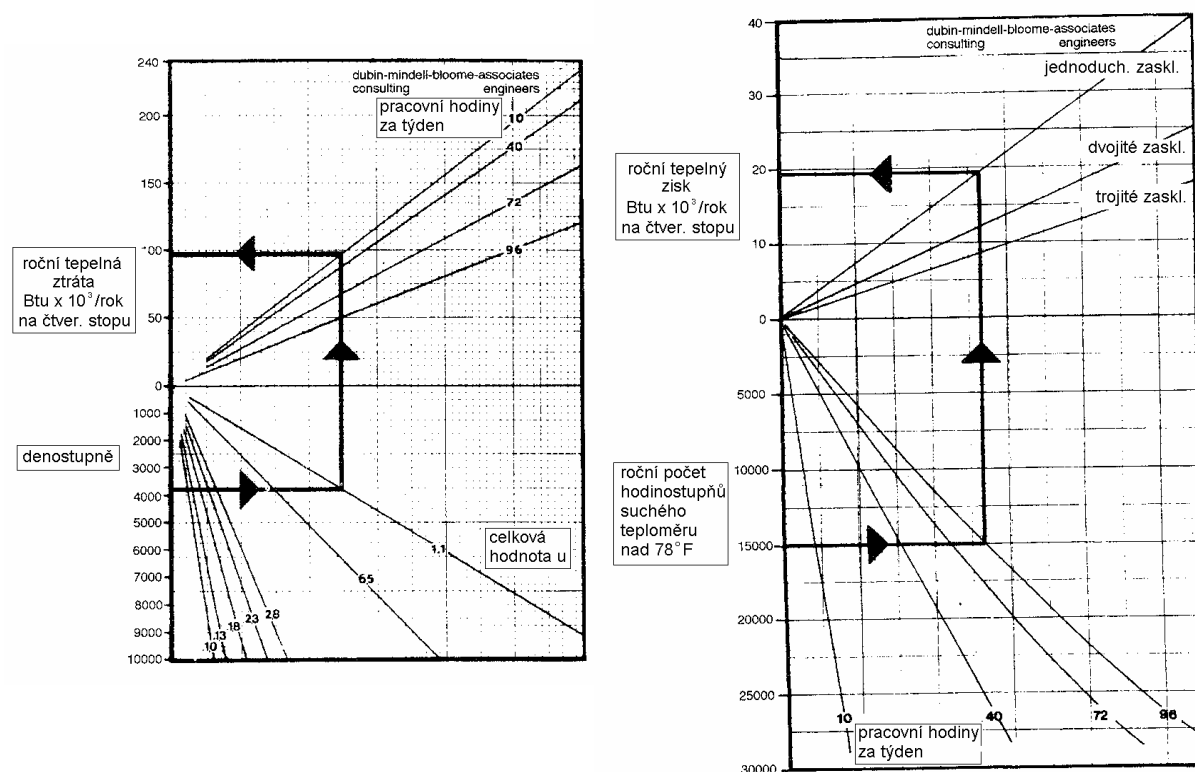
že i v takto zjednodušeném postupu jsou zohledněny solární zisky stejně tak jako infiltrace a vliv plochy oken.

### 5.3.3. Metodika dle AEE

Jedním z dalších způsobů užívaných pro hodnocení tepelně-technických vlastností pomocí energetického auditu je metoda dle Asociace energetických inženýrů - Association of Energy Engineers (AEE), jak ji podrobně rozebírá Thumann *et* Younger (2003). Tato metodika je primárně zaměřena na hodnocení prováděné provozovatelem a soustředí se na hodnocení dílčích energeticky úsporných opatření a údržbu s důrazem na ekonomické parametry.

Postup při vypracování je shodný s metodikou ČEA. Výstup sestává ze stručného hodnocení a shrnutí, založený na informacích o budově, historii spotřeby energie, přehledu energeticky úsporných opatření a zvláštní část je věnována provozu a údržbě ve vztahu ke spotřebě energie. Pro porovnání a základní posouzení slouží stejně jako u ostatních metod měrná potřeba energie za definovaných podmínek.

Metodika se snaží o maximální jednoduchost a přehlednost. Důraz je kladen na přímá měření a užití termografie. Tento akcent usnadňuje pro praxi důležité rychlé hodnocení dílčích energeticky úsporných opatření bez potřeby se zabývat do hloubky celou budovou. Otvorové výplně tak spadají do části zaměřené na obálku stavby, kde jsou jako primární cíle stanoveny omezení energetických toků mezi interiérem a exteriérem a kontrola solárních a jiných tepelných zisků.



Obr. 25 - určování energetické bilance oken z grafů dle AEE

Thumann *et* Younger (2003) uvádí přímo jednotlivá opatření pro zlepšení tepelně-technických vlastností výplní otvorů jako jsou například snižování spárové průvzdušnosti a aplikace reflexních filmů, okenic a stínidel.

Metodika AEE umožňuje hodnotit bez jakýchkoliv problémů či úprav samostatně otvorové výplně. Ani toto hodnocení nelze však komplexně provést bez jakékoliv energetické bilance budovy.

Vstupní charakteristiky pro hodnocení otvorových výplní dle AEE jsou následující:

- typ rámu,
- plocha oken a dveří,
- odhadovaný procentuální podíl plochy výplní otvorů na ploše obálky,
- typ a tepelně-technické vlastnosti zasklení,
- povrchové úpravy zasklení,
- provoz oken a množství aktivně provozovaných výplní otvorů,
- poškození,
- stav těsnění,
- charakteristika solární radiace.

Z dalších samostatných kategorií dle AEE by bylo vhodné k tomuto hodnocení zahrnout orientaci zasklení a parametry výměny vzduchu – ventilace.

Při zjišťování energetické bilance se vychází z běžných rovnic upravených pro anglosaské jednotky. Ve velké míře se užívá odečítání z grafů, kde hraje důležitou roli počet provozních hodin. Solární zisky jsou zjišťovány rovněž tímto způsobem a započítány do energetické bilance (*Obr. 25*).

V hodnocení otvorových výplní je kladen hlavní důraz na zasklení, což potvrzuje závěry Dahlsveena (2003), Puškára (2003) a Hájka (2002) o rozhodujícím vlivu zasklení na tepelně-technické vlastnosti oken. Pro redukci nežádoucích tepelných zisků uvádí Thumann *et* Younger (2003) v popisu metodiky konkrétní technická opatření zahrnující jak modifikaci vlastností zasklení tak různé doplňkové konstrukce oken, ovšem bez uvedení obecně platných způsobů jak zjistit dopady na energetickou bilanci stavby.

Metoda popsaná Thumannem *et* Youngerem (2003) není po technické stránce příliš uspokojivá a poskytuje pouze obecné informace a podklady pro skutečně odborné hodnocení tepelně-technických vlastností otvorových výplní. Za pozornost však stojí propracované ekonomická část, která je do určité míry shodná s metodikou ČEA a ENSI avšak značně ji rozšiřuje. Jako rozhodující ekonomické kritérium slouží celkové náklady životního cyklu jak jsou popsány v kapitole 5.2.2.

## 5.4. Dílčí závěr

V této části práce byly zmapovány použitelné postupy pro hodnocení tepelně-technických vlastností dřevěných otvorových výplní. Představené postupy se často v určitých použitých postupech prolínají a některé jejich části, vztahy a výstupy jsou zakotvené i v legislativě, zejména v oblasti ekonomického hodnocení.



Na základě provedeného průzkumu lze říci, že pouze část technicky vhodných metod je okamžitě použitelná v místních podmínkách. Jedná se zejména o metodu AEE dle Thumanna *et* Youngera (2003) a postup ENCON (Dahlsveen, 2003). U nástrojů a pojmů ekonomického hodnocení nepanuje úplná jednota v oblasti názvosloví a míry zjednodušení v určování jednotlivých ukazatelů, například solárních zisků, což výrazně ztěžuje porovnatelnost výsledků dílčích studií a jednotlivých údajů.

Získané poznatky jsou použity v kapitole 7 k porovnání různých způsobů hodnocení za účelem sestavení komplexní metody k hodnocení tepelně-technických vlastností dřevěných otvorových výplní. Následující závěry se vztahují na všechny způsoby hodnocení, popsané v kapitole 5:

- Nejednotnost názvosloví ztěžuje orientaci ve výstupech jednotlivých způsobů hodnocení, zejména v oblasti ekonomických parametrů.
- Samostatné hodnocení tepelně-technických vlastností otvorových výplní je u většiny metod možné, je však nutné věnovat pozornost volbě okrajových podmínek a vždy je uvádět zároveň s výsledky.
- Nejsou zohledněny širší dopady na životní prostředí, například zneškodnění po uplynutí životnosti nebo vliv energetické náročnosti výroby. Environmentální hodnocení se omezuje pouze na vyčíslení redukce emisí způsobenou energetickými úsporami.

## **6. Hodnocení životního cyklu otvorové výplně**

V rámci této práce jsou podrobně popsány nároky na tepelně-technické vlastnosti otvorových výplní jako ze základní funkční požadavky na tento typ stavebně-truhlářských výrobků a také způsoby jejich hodnocení v rámci tepelné bilance celé stavby i samostatně. Jsou rovněž popsány běžně používané výrobní postupy a technologie včetně údržby. V této části je představen způsob, jak tyto dílčí poznatky stmelit do jednoho celku – metody hodnocení s jednoznačně interpretovatelným výsledkem. Podstatou metody je hodnocení životního cyklu výrobku – Life Cycle Assessment – LCA. Tento způsob hodnocení zahrnující všechny části života výrobku je ve své podstatě rozšířením pojetí procesní analýzy tradičně užívané v inženýrském procesu, jak uvádí Bounstead (2002). Jsou analyzovány nejen data a jejich dostupnost, ale i výhody a nevýhody užití této metody v podmínkách dřevařské výroby.

### **6.1. Vznik a vývoj LCA**

Vznik metody se datuje do šedesátých let. Důvodem pro první studie životního cyklu, provedené v USA, byla hlavně zjištění materiálové a energetické efektivity produkce. Vliv výrobku na životní prostředí nebyl posuzován. Výsledné hodnocení bylo založeno na analýze nákladů a užitků (Remtová, 2003). Situace v Evropě byla obdobná. Ve Velké Británii byla provedena studie o nápojových obalech a užitá metodika byla bez větších problémů použitelná pro ostatní materiály a produkty. Tento systém je znám jako Industrial Energy Analysis – Průmyslově energetická analýza (Boustead, 2002).

Všechny ranné metody kladly větší důraz na spotřebu energií než na produkci odpadů a další výstupy z procesů. Hlavním důvodem byla predikce rychlého vyčerpání zdrojů fosilních paliv. Ke konci osmdesátých let se prioritou stala problematika odpadů. Ranné metody hodnocení životního cyklu se také integrovaly do metodik nakládání s nebezpečnými odpady a byli užívány pro první ekolabelingové programy, jako byl „modrý anděl“ v NSR. Výsledky analýz tak byli šířeji dostupné veřejnosti (Heijungs *et al.*, 1996).

Moderní metodika LCA byla definována na počátku osmdesátých let. Potřeba porovnatelnosti vedla k ustavení prvních standardů známých jako „Product Life Cycle Analysis – Hodnocení životního cyklu produktu“. Definice slova „produkt“, který je jádrem každé LCA, se změnila. Již neznamenal pouze fyzický objekt, ale také službu.

Masivní užití LCA bylo důsledkem rostoucího zájmu veřejnosti o životní prostředí počátkem devadesátých let. V téže době bylo uvedeno mnoho národních a mezinárodních ekolabelů (Remtová, 2003). Tento vývoj byl také podpořen výsledky mezinárodní konference v Rio de Janeiru v roce 1992.

V současnosti nejběžněji užívané normy jsou z rodiny ISO 14040-49, publikovaných postupně od roku 1997. LCA je plně integrováno do systému environmentálního managementu popsaného normami ISO 14000 a systému EMAS Evropské unie.

### **6.2. Princip a použití LCA**

Hodnocení životního cyklu – LCA je produktově orientovaný nástroj environmentálního managementu, který pomáhá zákazníkům, producentům a vládním orgánům v jejich rozhodování. Je považován za jeden z nejdůležitějších nástrojů environmentální politiky k určení negativních vlivů výrobku nebo služby na životní prostředí (Remtová, 2003). Heijungs *et al.* (1996) definuje LCA jako proces hodnocení dopadů produktu na životní prostředí po dobu jeho celého životního cyklu. Tento nástroj je navržen tak, aby hodnotil

všechny aspekty přímo a nepřímo se vztahující k životnímu prostředí. Tyto aspekty jsou hodnoceny po všechny fáze života produktu, to znamená produkci, užití a konečné zneškodnění, případně recyklaci. Hodnotí se vstupy a výstupy jednotlivých jednotkových procesů vztahujících se k produktu. Obvykle je vyhodnocováno pět skupin parametrů: energie, suroviny a pevné, kapalné a plynné emise (Boustead, 2002).

Klasickým, jednoznačným a doporučovaným užitím údajů analýzy, shromážděných v inventarizační studii, je vybrání relevantních indikátorů k určitému problému životního prostředí. Dopady vztahující se na globální oteplování lze určit převedením inventarizovaných údajů o emisích do ovzduší na ekvivalent  $\text{CO}_2$ . Thompson (2005) uvádí i další relevantní činitele jako jsou: acidifikační potenciál u plynných emisí v ekvivalentech  $\text{SO}_2$ , Eutrikační potenciál ve vztahu k vodě a půdě v fosfátovém ekvivalentu a potenciál k tvorbě fotochemického ozonu vyjádřený v ekvivalentech etylenu. Remtová (2002) udává navíc kategorii narušování stratosférické ozonové vrstvy.

Uvnitř společnosti lze užít výsledky studií pro ekologicky orientované rozhodování v oblasti designu, vývoje a zlepšování produktů k dosažení úspor materiálu a energií. Vně společnosti k získání ekologického značení a pro environmentální deklarace. Nevýhodou je nutnost převádět všechny účinky do jednoho indexu. Protože vědecké zdůvodnění jednotlivých indexů může být problematické, jsou výsledky v této oblasti snadno napadnutelné. Dalším potenciálním uživatelem výsledků jsou orgány státní správy – například pro rozhodování v oblasti veřejných zakázek, nakládání a zneškodnění odpadů a zejména při benchmarkingu, který slouží k určení standardu, vůči kterému pak posuzujeme jakkoliv upravený systém (Boustead, 2002).

Použití výsledků dnešních studií velmi závisí na hloubce studie. Na různých úrovních nemusí být výsledky stejné a jsou obtížně porovnatelné. Důležitou částí prezentace výsledků je přesný popis rámce studie. Při interpretaci výsledků studie je nutné počítat s celkovou odchylkou okolo 15%, jak udává Boustead (2002), jako výsledku povahy hodnocených systémů. Hodnoceny jsou pouze kvantifikovatelné parametry, přesto se však tato metodika považuje za dostatečnou pro charakterizování většiny environmentálních účinků.

### 6.3. Obecný postup při provádění LCA

Při provádění analýzy se postupuje dle řady norem ČSN EN ISO 14041 *Environmentální management – Posuzování životního cyklu*. Analýza sestává ze tří provázaných kroků: stanovení cíle a vymezení rozsahu, inventarizační analýzy a hodnocení negativních vlivů na životní prostředí.

Prvním krokem je určení cíle a vymezení rozsahu, kde se stanovují důvody vypracování analýzy, adresáti a využití výsledků. Navazujícím úkolem je stanovení rozsahu studie, tj. přesných hranic výrobního systému. Tyto hranice musí v maximální míře usnadňovat kvantifikaci vstupů a výstupů jak do systému, tak do jednotkových procesů. V rámci tohoto kroku je nutné přesně popsat funkci a nároky na výsledný výrobek či službu pomocí tzv. funkční jednotky, která musí být jasně měřitelným vyjádřením funkce výrobku. Podporu a návod při této části analýzy poskytuje ČSN EN ISO 14041 *Environmentální management – posuzování životního cyklu – Stanovení cíle a rozsahu a inventarizační analýza*. Příklady uvádí norma ČSN ISO/TR 14049 *Environmentální management – Posuzování životního cyklu – příklady aplikace ISO 14041 pro stanovení cíle a rozsahu inventarizační analýzy*.

Druhým krokem je inventarizační analýza, jejímž úkolem je zjištění všech vstupů a výstupů překračujících hranice systému vytyčených v předchozí fázi. Výrobu lze pro větší

prehlednost a zjištění dopadů jednotlivých prováděných činností rozdělit na jednotkové procesy, tyto popsat a kvantifikovat vlivy na životní prostředí. K tomu účelu lze užít tzv. inventarizační matice. Hlavní náplní inventarizační analýzy je tedy sběr, výpočet, validace a přiřazení údajů vztahujících se k jednotkovým procesům dle postupů uvedených v ČSN EN ISO 14041. Kritickým bodem inventarizačních analýz je alokace dat, kdy dokážeme sice přesně určit materiálové a energetické toky, ale je nutné je rozdělit mezi hlavní a vedlejší produkt. Obdobný problém nastává při recyklaci nebo užití recyklátu. Postup v těchto případech udává norma.

V třetí fázi LCA dochází k hodnocení již zmapovaných vlivů na životní prostředí. Cílem je vyhodnotit výsledky inventarizační analýzy výrobního systému pro lepší pochopení jejich environmentálního významu. Tento proces se nazývá hodnocení dopadů a řídí se postupy popsány v ČSN EN ISO 14042 *Environmentální management – Posuzování životního cyklu – Hodnocení dopadů* a ČSN EN ISO 14043 *Environmentální management – Posuzování životního cyklu – Interpretace životního cyklu*. V této fázi jsou přiřazeny výsledky inventarizační analýzy kategoriím dopadů. Následně je zvolen a spočítán indikátor kategorie jak jsou popsány v kapitole 6.2. Převod na ekvivalentní jednotky v rámci indikátoru se provádí podle koeficientů publikovaných například IPCC.

Na závěr každé studie je hodnocen dopad celého systému na životní prostředí. Jedná se o určení vzájemného relativního významu všech získaných dílčích zátěží (Remtová, 2002). Tato část se nazývá interpretace životního cyklu. Cílem je analyzovat výsledky, vysvětlit omezení a poskytnout doporučení vycházející z provedené LCA. Často je interpretace zaměřena na prezentaci provedené studie. Před provedením závěrů a doporučením se může provést kontrola citlivosti a/nebo konzistence dle ČSN EN ISO 14043.

## 6.4. Dřevěné otvorové výplně a LCA

Provádění LCA v rámci dřevařského průmyslu je relativně problematické. Dřevařský průmysl se totiž vyznačuje značnou variabilitou užívaného strojního zařízení, což souvisí s faktem, že v odvětví dominují spíše menší, maximálně střední výrobci a velká část produkce je vyráběna řemeslnicky na zakázku, jak uvádí studie ČEA (2000). Tato situace je obdobná po celé Evropě (BREF, 2006). LCA byla původně vyvinuta pro shodné výrobky produkované ve značném množství, například nápojové obaly, s jednoznačně identifikovatelnými vstupy a výstupy jednotkových procesů. Toho lze při analýze otvorových výplní dosáhnout jen obtížně a navíc takto popsáný výrobek by zachycoval zanedbatelný úsek celkové produkce. Poměr vynaloženého úsilí a nákladů na takovou studii nebude odpovídat jejímu praktickému významu. Je proto nutné přistoupit k určitému zjednodušení a k volbě údajů přistupovat zodpovědně, aby bylo zachyceno celé spektrum možných producentů a výrobních technologií. Výsledek pak může zastupovat celý segment stavebně-truhlářské výroby.

Ve světě již byli provedeny LCA vztahující se k oblasti otvorových výplní, které mohou velmi výrazně pomoci při vypracovávání jakékoliv další analýzy, například Weir *et al.* (1996), Asif *et al.* (1998) a studie shrnuté Thompsonem (2005). Velká část studií je komparativních a snaží se vyjádřit výhodu dřeva jako materiálu nad jeho alternativami, jako jsou kovy nebo plasty, v oblasti dopadů na životní prostředí, či prostým srovnáním indikátorů, nejčastěji ekvivalentů CO<sub>2</sub>.

Role uhlíkového cyklu je dalším problematickým bodem LCA produktů na bázi dřeva. Richter (1995) konstatuje, že v již zveřejněných studiích není adekvátně vyjádřena role lesnictví a minoprodukčních funkcí lesa. Není také zohledněna role lesa v rámci uhlíkového cyklu a uhlíkové bilance, jak je popisuje Buchanan *et al.* (2004), Karjalainen *et al.* (1999)

a řada dalších autorů. V této práci v rámci nástinu ideální LCA studie otvorové výplně je věnována roli uhlíku a lesního modulu zvláštní pozornost nad rámec postupu popsaného řadou norem ČSN EN ISO 14040.

#### **6.4.1. Stanovení cíle a rozsahu studie**

V následující části práce je popsána modelově zjednodušená studie životního cyklu se zohledněním speciálního určení pro interpretaci tepelně-technických vlastností otvorové výplně. Důraz je kladen na dřevěné části konstrukce. Z důvodu vysoké dostupnosti údajů z již provedených studií a významu v rámci segmentu stavebně-truhlářské výroby je zvoleno dřevěné okno. Je postupováno rámcově dle již zmíněných norem řady ČSN EN ISO 14040, zejména části ČSN EN ISO 14041 věnované struktuře studijní zprávy. V rámci obecné studie jsou maximálně využity závěry a poznatky s předchozích kapitol.

##### ***Důvody pro provedení studie***

Důvodem pro provedení studie životního cyklu dřevěného okenního rámu v rámci stavebně-truhlářské výroby je rozšíření rámce posuzování tepelně-technických vlastností otvorových výplní nad běžný rámec vyjádřený tepelnými úsporami v rámci objektu, kde jsou instalovány.

##### ***Zamýšlené použití studie***

Studie je zamýšlena jako podklad pro efektivní snižování dopadů na životní prostředí způsobených výrobou výplní otvorů na bázi dřeva zjištěním podílů jednotlivých částí na celkových dopadech. Hlavními zjišťovanými skutečnostmi pro vyvození závěrů budou celkové dopady životního cyklu, role stavebně-truhlářské výroby a vliv tepelně-technických vlastností na výsledky výrobního systému jako celku.

##### ***Zamýšlené publikum***

Adresátem studie je odborná veřejnost, kterým má studie umožnit efektivně zacílit úsilí v oblasti snižování dopadů na životní prostředí nejen v rámci výroby, ale celého výrobního systému po dobu celého jeho životního cyklu.

##### ***Rozsah studie***

Jedná se o obecnou studii. Je zkoumán přesně specifikovaný výrobek, ale není přesně určen způsob výroby ani výrobní stroj. Proto je nutné vycházet do určité míry ze zjednodušujících předpokladů. V míře zjednodušení se vychází z předpokladů zveřejněných Weirem *et* Muneerem (1996) a normy ČSN EN ISO 14041, kdy do životního cyklu nejsou zahrnuty následující části:

- Výroba a údržba výrobních strojů z důvodu porovnatelnosti výsledků s předchozími studiemi.
- Stavba a údržba budov z důvodu porovnatelnosti výsledků s předchozími studiemi.

##### ***Funkce***

Kvantifikace služby, která je poskytována výrobním systémem – dřevěným rámem. Funkce otvorové výplně a vazby mezi nimi jsou podrobně popsány v kapitole 4. Pro účely této obecné studie lze považovat za nejdůležitější zajištění optimálního vnitřního prostředí v rozsahu možností vlivu otvorové výplně. Tato funkce je kvantifikována měrným tepelným

tokem prostupujícím částí konstrukcí. Zároveň však musí otvorová výplň zajistit větrání optimálním způsobem popsaným v kapitole 2.3. a maximální prostup viditelné části spektra podle popisu kapitoly 3.3. – tyto vlastnosti však samotný rám ovlivňuje minimálně.

Z výběru hlavní funkce plyne funkční jednotka, kterou je měrná tepelná ztráta/zisk, stanovená na základě součinitele prostupu tepla rámu o rozměrech 1200 x 1200 mm, definovaného v souladu s ČSN 73 0540-1, jak je uvedeno v kapitole 3.2.1.

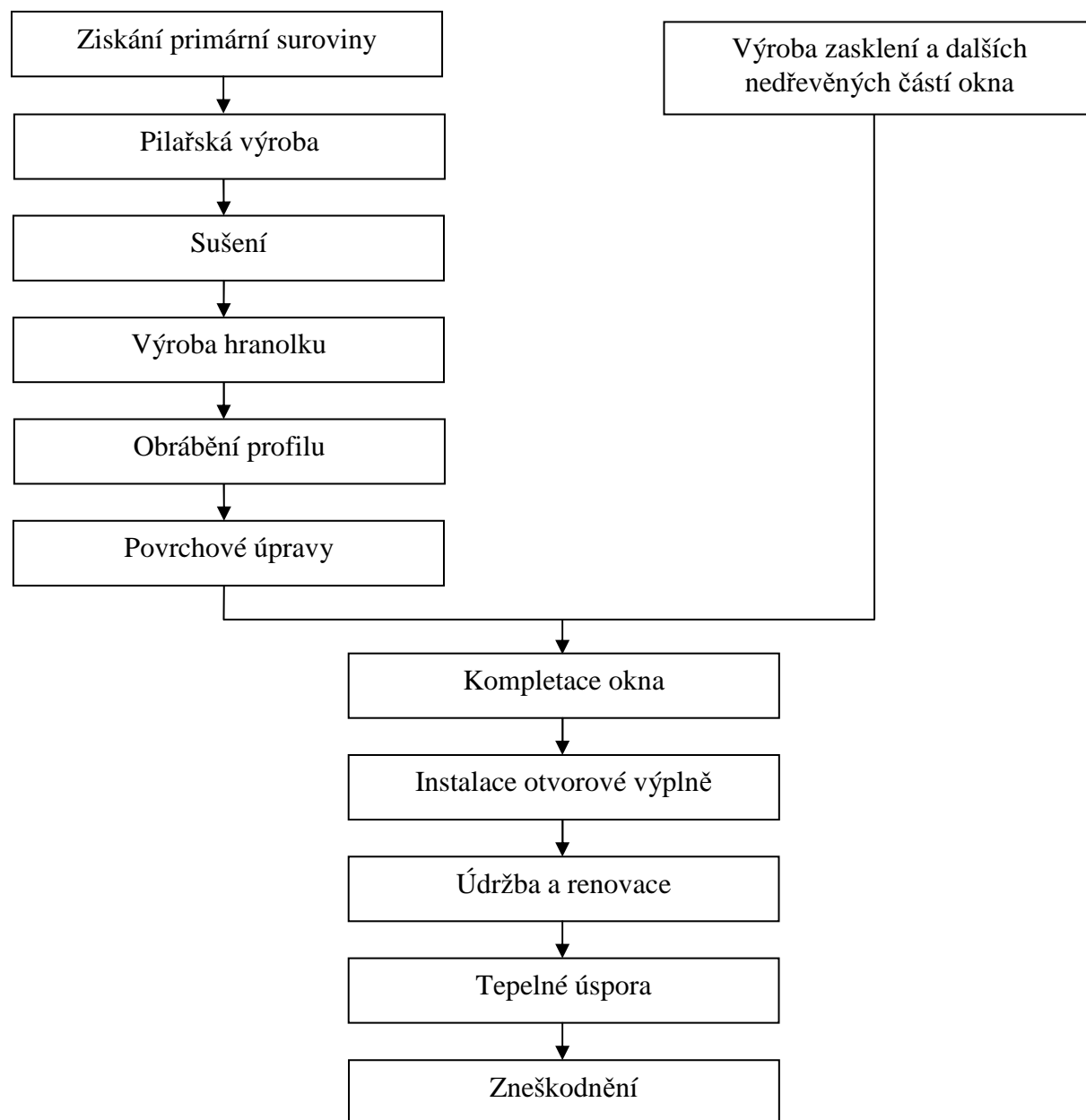
Referenční tok nemá v této studii takový význam jako v porovnávacích studiích. V tomto konkrétním případě plní poněkud netradiční roli tím, že se podílí na kvantifikaci dopadů výrobku na životní prostředí. Referenčním tokem je potřeba energie na pokrytí tepelné ztráty vypočtené dle normy ČSN 06 0210 za dodržení nároků na součinitel prostupu tepla definovaných v kapitole 3.2. na základě normy ČSN 73 0540. Okrajové podmínky vnitřního prostředí jsou definovány průměrnými výpočtovými hodnotami pro ČR. Vnitřní teplota odpovídá standardní místnosti o teplotě 22°C. Tato hodnota odpovídá optimu publikovanému Joklem (1993), které je představeno v kapitole 2.3. a není ani příliš vzdáleno normě ČSN 06 0210, i když se od ní odchyluje. K výpočtům je užita gradenová metoda vyjádřená rovnicí 20.

<b>Výrobek</b>	Dřevěný okenní rám
<b>Funkce</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Izoluje vnitřní prostředí od vnějšího</li> <li>▪ Zajišťuje mechanické vlastnosti okna</li> </ul>
<b>Výběr funkce pro LCA</b>	Ovlivňování tepelného toku konstrukcí okna
<b>Funkční jednotka</b>	měrná tepelná ztráta/zisk dosahovaná po dobu životnosti výrobku
<b>Chování výrobku</b>	okno o rozměru 1,2 x 1,2 m
<b>Referenční tok</b>	potřeba energie na pokrytí tepelné ztráty po dobu životnosti

Tab. 10 – funkce, funkční jednotka a referenční tok

### **Hranice systému**

Systém bude omezen pouze na hlavní linii – procesy přímo související s výrobou, údržbou a zneškodněním dřevěného rámu okna. Do studie budou zahrnuty výsledky analýzy životního cyklu publikované Weirem *et* Muneerem (1996) a Buchanem *et* Honey (1993). Ve většině fází životního cyklu jsou sledovány primárně energetické toky a z nich plynoucí emise. Důvodem je podstata výroby, ve které nevznikají žádné významné emise do vody a půdy, stejně tak jako emise do ovzduší ze samotného výrobního procesu lze považovat v rámci modelu za zanedbatelné. Odpady jsou většinou bez jakýchkoliv dalších úprav využitelné vedlejší produkty. Skladba emisí vychází z charakteru použité energie získané za standardních podmínek a bude posuzována pro každou část životního cyklu popsaného inventarizační analýzou zvlášť.



Obr. 26 – LCA dřevěného okna

### Rozhodnutí o alokaci

Norma ČSN EN ISO 14041 stanovuje, že alokaci je třeba se vyhnout pokud je to možné. Bohužel pro zpracování dřeva je charakteristické, že vedle zpracovávaného produktu vzniká i produkt vedlejší, který se nějakým způsobem využívá. Problematické využívání odpadu z dřevařských výroby se blíže věnuje Hrázský *et* Král (1999). Za nejméně environmentálně vhodné lze považovat energetické využití, jak je blíže popsáno v kapitole 4.4., za velmi výhodné lze považovat využití k výrobě aglomerovaných materiálů.

Procesu alokace se v tomto případě nelze vyhnout žádným způsobem popsaným v příkladech uváděných normou ČSN ISO/TR 14049. Z podstaty většiny zvažovaných procesů, jako je například řezání, nelze využít fyzikální vztahy k určení množství energie připadající na hlavní a na vedlejší produkt.

Nejvhodnější se jeví alokace na objemové a ekonomické bázi, kdy se rozdělí spotřeba energie na podkladě ceny. Ekonomická alokace klade hlavní podíl spotřebované energie na vlastní výrobek dřevěného rámu. Odráží se tak náklady související s prvotním výrobním systémem.

#### 6.4.2. Inventarizační analýza

##### *Produkce primární suroviny*

Produkce primární suroviny představuje z hlediska LCA problém, protože les jako takový v sobě spojuje řadu produkčních a mimoprodukčních funkcí, které je obtížné pro potřeby analýzy kvantifikovat. Produkce je pro potřeby LCA pojmuta jako kontinuální výrobní proces, přičemž pro vyčíslení konkrétních údajů se pracuje s časovým rámcem jednoho roku. Z toho vyplývá možnost maximálního využití statistických dat – pro ukázkový rozbor jsou užita data ČSÚ (2006). Analýza modulu není ani zdaleka vyčerpávající, snahou je zachytit alespoň hlavní vlivy na životní cyklus výrobku podle metodického návodu Thorea *et* Schweinla (1995).

Vstupy do modulu představují především primární energie, kde výrazně převažují kapalná paliva. Pro účely práce považují veškerá kapalná paliva za modelové. Při přepočtu ostatních energetických vstupů na výstupy-emise je užito přednostně české legislativy, konkrétně přílohy č. 8 k vyhlášce č. 213/2001 Sb. a přílohy č. 5 k nařízení vlády č. 352/2002 Sb.

Klíčovým vstupem je CO<sub>2</sub> z atmosféry, který je využíván k biologickým procesům. Problematice je věnována kapitola 4.3.1. Podle závěrů této kapitoly je poměr mezi spotřebovaným množstvím CO<sub>2</sub> a hmotností zcela suchého dřeva – 1, 833 (Grasser, 1995). Při zohlednění průměrné vlhkosti dodávaného cca 80% (Janák *et* Král, 2003) vychází vstup cca na 681, 3 kg CO<sub>2</sub> na 1 m<sup>3</sup> dodávané suroviny.

Výstupním produktem není pouze kulatina vhodná pro navazující modul – pilařskou výrobu. Spektrum hlavních produktů popisuje ČSÚ (2006). Kulatina představuje 57,6 % objemu těžby. Alokace je tedy provedena na základě objemových a finančních poměrů jednotlivých produktů postupem dle ČSN ISO/TR 14049 a údajů Blud'ovského (2005). Na 57,6 % objemu těžby připadá cca 83,5% výstupů – emisí. Mimoprodukční funkce lesa nejsou zahrnuty.

Výstupní produkt je kulatina využitelná pro pilařskou výrobu o vlhkosti 80%. Její parametry jsou udány v m<sup>3</sup> pro lepší zpracování v navazujících částech analýzy. Výpočet měrných hodnot je v příloze 7.

##### *Pilařská výroba*

Vstup do modulu pilařské výroby odpovídá výstupu z předchozího modulu. Z hlediska materiálových toků předchází zpracování odkornění a redukce kořenových náběhů. Celkové množství takto vzniklé hmoty je 6 – 13% objemu surového dřeva. Z pohledu návaznosti nepředstavuje tento vedlejší produkt problém, protože v předchozím kroku nejsou zahrnuty. Nejedná se o odpad, ale jeho ekonomická hodnota je nízká. Energie potřebná pro popsané operace je zahrnuta v celkových hodnotách ČSÚ (2003). Obdobně je zahrnuta i energie pro potřebná pro obsluhu skladů kulatiny. Měrná spotřeba energie se pohybuje okolo 0,565 GJ.m<sup>-3</sup> (ČEA, 2000).

Z hlediska alokace je celková výtěž až 85%, přičemž do jakostní třídy II připadá maximálně 45% z takto získaného řeziva. Alokace probíhá na základě objemových a ekonomických parametrů.



Hlavním výstupem pro LCA jsou emise z výroby elektrické energie alokované na m<sup>3</sup> produktu, jak je popsáno v příloze 8.

### **Sušení**

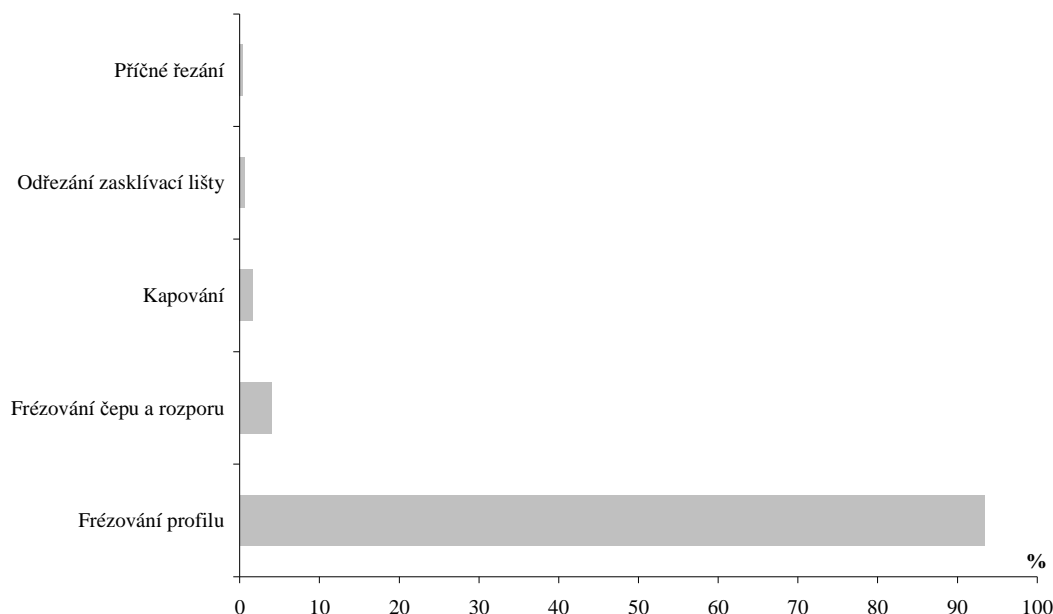
Sušení probíhá většinou v teplovzdušných sušárnách, za zdroj tepla je v analýze považován zemní plyn. Spotřeba tepla a elektrické energie vychází z ČEA (2000). V analýze je zahrnut postup, kdy je sušeno řezivo z 80% na požadovanou 12% vlhkost. Měrná spotřeba energií udávaná ČEA (2000) činí 3,438 GJ.m<sup>-3</sup>. Jako zdroj primární energie je počítán plyn nebo dřevo.

### **Výroba hranolku**

Z důvodu nedostatku jiných údajů se vychází z údajů Weira *et* Muneera (1996), kdy se vychází z nanášení lepidla na plochu cca 2 x 0,42 m<sup>2</sup> u třívrstvého profilu o rozměrech popsanych v kapitole 4.3.4. Množství lepidla je 0,5 kg.m<sup>-2</sup> – odpovídající spotřeba energie 160 MJ.kg<sup>-1</sup> použitého lepidla. Jako referenční jednotky je použit hranolek o objemu 0,04 m<sup>3</sup> dřeva. Spotřeba energie na jednotkový rám je 2,94 MJ. Pro účely studie se předpokládá spotřeba pouze elektrické energie, kdy jsou pro výpočet emisí využity údaje ČEZ (2007). Protože produkce odpadu a vedlejších produktů je minimální, není třeba provádět alokaci.

### **Obrábění profilu**

Kvantifikace energetických nároků na obrábění je v obecné rovině obtížná. U konkrétních případů lze vycházet z řady výpočetních postupů, které uvádí Lisičan (1996) nebo Prokeš (1978). Rozborem problematiky se blíže zabývá kapitola 4.3.5. Konkrétní údaje k obrábění uvádí žádná tematická studií Weira *et* Muneera (1996).



Obr. 27 – podíl jednotlivých operací na energetické náročnosti obrábění

V modelové výrobě se obrábí hranolek popsany v odpovídající části inventarizační analýzy a kapitole 4.3.4. V rámci obrábění se neprovádí alokace, protože tříska, vzniklá při obrábění nepředstavuje odpad, ale vedlejší produkt. Jeho hodnota je však v porovnání z cenou

primárního produktu zcela zanedbatelná. Hranolek je příčně krácen na 4 díly kotoučovou pilou. Provádí se obrábění celkem 8 dílů, Každý díl je čepován – energetická náročnost se určuje analogicky jako u podélného frézování, pak následuje kapování. V rámci obrábění dochází u křídla u odřezání zasklívací lišty. Celková energetická náročnost obrábění v modelovém případě je 33,1 MJ na rám.

### ***Kompletace a instalace***

Spotřeba energie a emise z instalace otvorové jsou poměrně zanedbatelné, jak uvádí Buchanan *et* Honey (1993). Pro účely práce se tato část životního cyklu zanedbává.

### ***Povrchové úpravy***

Při analýze povrchových úprav se vychází z popisu v kapitole 4.3.6. a při kvantifikaci z odpovídajícího BREF (2006), který stanovuje spotřebu látek při povrchových úpravách v rozmezí 60 – 250 g.m<sup>-2</sup>, podle použitého systému nanášení. Pro potřeby analýzy je zvoleno 200 g.m<sup>-2</sup>. Při určování množství spotřebované energie lze vycházet z Buchanena *et* Honey (1993), který uvádí u vodou ředitelných barev hodnotu 7,5 MJ.kg<sup>-1</sup> barvy. Vodou ředitelné barvy tvoří většinu aplikovaných nátěrových systémů (Hradský, 2001). Z důvodů nedostatečných údajů, týkajících se složení uváděné energie, je pro studii užitá elektřina podle ČEZ (2007). některých případech může docházet k emisím VOC, které však jsou nežádoucí a lze jim předejít aplikací vhodné technologie nebo nátěrového systému. Z těchto důvodů nejsou do bilance započteny.

Plocha modelového rámu činí 2,125 m<sup>2</sup> a to odpovídá spotřebě nátěrového systému 0,425 kg na kompletní dřevěné části okna. Vzhledem k širokému rozsahu možných způsobů aplikace barvy a značné variabilitě provozů nelze do analýzy zahrnout jiné údaje, jako je například produkce odpadů - nejsou k dispozici obecné údaje. V případě povrchových úprav na úrovni obecné studie není třeba provádět alokaci.

### ***Tepelné úspory***

Modelový rám má masivní poměrně široký profil, který rozměrově vychází z konkrétní sady nástrojů firmy Rh+. Profil byl pro účely výpočtu upraven tak, aby vyhovoval výpočtovým vztahům ČSN EN ISO 10077-1, prezentovaným v kapitole 3.2.1. V úvahu jsou brány pouze tepelné toky související se samotným rámem okna. Vypočtený součinitel prostupu tepla rámu je 1,7 W.m<sup>-2</sup>.K<sup>-1</sup>. Okrajové podmínky vychází z optimální vnitřní teploty 22°C dle Jokla (1993) a výpočtovou teplotu vnějšího prostředí – 15°C (Cihlář, 1998). V modelovém případě se počítá s délkou otopného období 235 dnů a průměrnou venkovní teplotou 3,3°C.

Dosažená úspora je vypočítána z optimálních podmínek za porovnání s referenčním okně o součiniteli prostupu tepla 2 W.m<sup>-2</sup>.K<sup>-1</sup>, což je nejvyšší přípustná hodnota podle ČSN 73 0540. Celkové hodnoty jsou vztaheny k 30-ti leté životnosti podle Dahlsveena (2003). Hodnota dosažené za modelových podmínek při užití postupu podle Řehánka (2002) – rovnice 20 je 538,5 kWh. Po započtení umenšujících součinitelů udávaných Cihlářem (1998) lze tuto hodnotu velmi významným způsobem redukovat až o 50%.

Množství redukováných emisí vychází v modelovém případě ze spalování hnědého uhlí.

Výpočty tepelných zisků se týkají výhradně zasklení (Řehánek, 2002) a nelze jej tedy do energetické bilance rámu započítat. Blíže kapitola 5.1.2.

Problematika větrání není rovněž zahrnuta, protože se nejedná o energetickou bilanci celé otvorové výplně podle vzorce 22 případně kapitoly 3.2.2.

### ***Údržba a renovace***

Údržba okna zahrnuje dvakrát ročně čištění vnitřní plochy a jednou ročně vnější. Energetickou náročnost nelze přesně určit, nicméně lze předpokládat, že při postupu podle kapitoly 4.3.8. bude minimální. U dřevěných částí okna je nutné provádět renovaci nátěru – lze vycházet z údajů použitých pro analýzu povrchových úprav podle BREF (2006) a Buchanan *et Honey* (1993) s tím, že množství potřebné množství nátěrového systému bude pouze  $75 \text{ g.m}^{-2}$ . Výsledná spotřeba nátěrového systému je  $0,053 \text{ kg}$  na rám, což odpovídá  $0,3975 \text{ MJ}$ .

### **Zneškodnění / využití**

Na konci životního cyklu je otvorová výplň demontována a stává se odpadem. Z pohledu životního prostředí je zcela nejvhodnějším použitím její recyklace a použití při výrobě aglomerovaných materiálů (viz kapitola 4.4.). Při dezintegraci se energetická náročnost pohybuje maximálně kolem  $0,05 \text{ kWh.kg}^{-1}$  odpadu (Hrázký *et Král*, 1999) – v tomto případě se jedná zejména o elektrickou energii. Při výpočtech emisí se postupuje analogicky jako v předchozích případech a jsou užitá data ČEZ (2007).

Za určitých podmínek připadá také v úvahu využití dřevního odpadu ke spalování. V optimálním případě dochází před spalováním k dezintegraci odpadu a spalování probíhá v podmínkách blízkých stechiometrickým. Díky nízké vlhkosti je výhřevnost takto získaného dřevěného odpadu podstatně vyšší než běžného dřeva a pohybuje se kolem  $3,3 \text{ kWh.kg}^{-1}$  odpadu (Hrázký *et Král*, 1999).

### **Doprava a ostatní energetické nároky**

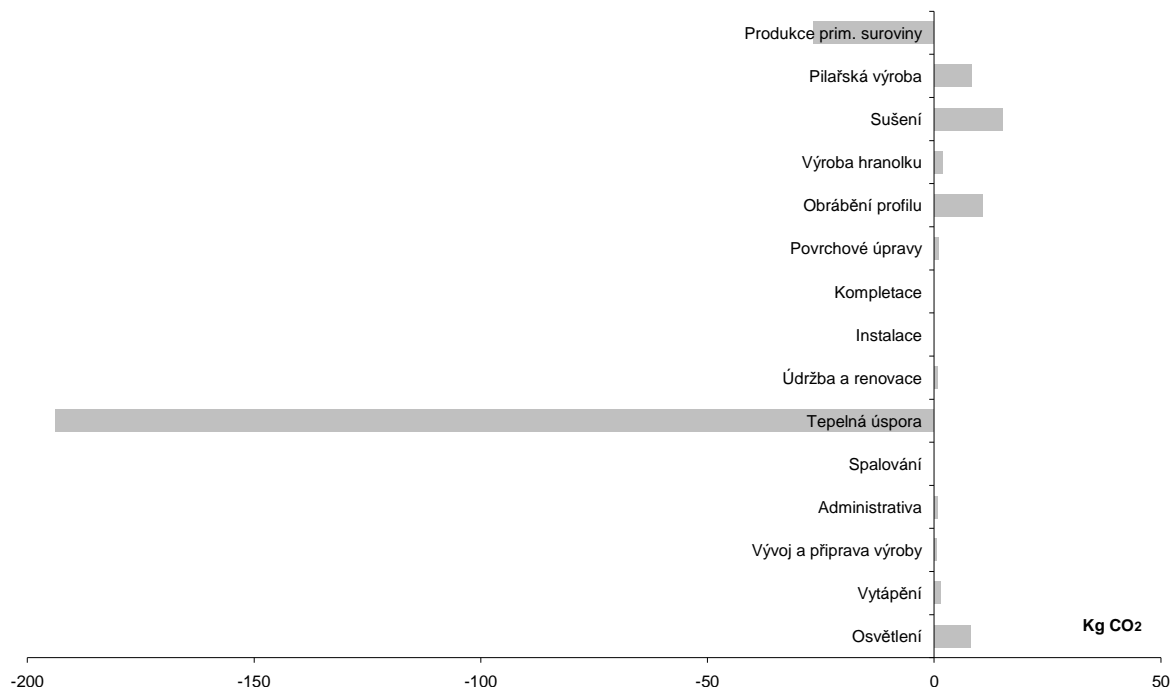
Protože studie se pohybuje pouze v obecné rovině, nelze jednoznačně určit přesné energetické nároky. Buchanan *et Honey* (1993) uvádí energetické nároky u železniční a silniční dopravy. Přepočtením na hmotnost rámu cca  $25 \text{ kg}$  vychází  $2,85 \text{ MJ}$  na rám při silniční dopravě na vzdálenost do  $30 \text{ km}$  a  $5,75 \text{ MJ}$  při vzdálenosti  $100 \text{ km}$ . U železniční dopravy při vzdálenosti  $200 \text{ km}$   $3,625 \text{ MJ}$  na jeden dřevěný rám. Ostatní energetické nároky spojené z výrobou vyčísluje Weir *et Muneer* (1996), udané údaje je vhodné redukovat o některé údaje související s provozním režimem výroby. Redukovaná suma ostatních energetických nároků je  $39,6 \text{ MJ}$  na jednu produkční jednotku – dřevěné okno. Při výpočtu emisí lze vyjít z platné legislativy a údajů ČEZ (2007). Z výjimkou vytápění se předpokládá spotřeba elektřiny.

### **6.4.3. Hodnocení negativních vlivů na životní prostředí**

Při hodnocení negativních vlivů na životní prostředí se vychází z normy ČSN EN ISO 14042 jak je blíže popsáno v kapitole 6.3. Vstupními údaji je inventarizační analýza provedená v předchozí kapitole. K výběru jednotlivých dílčích indikátorů slouží studie Thompsona (2005) a na přepočet jednotlivých emisí je proveden podle údajů uváděných Jensenem *et al.* (1997). Na základě výpočtů v příloze jsou vizualizovány hodnoty emisí připadajících na jednotlivé části životního cyklu.

Emise  $\text{CO}_2$  jsou zásadním způsobem ovlivněny velikostí energetických úspor dosažených instalací otvorové výplně, respektive její části – dřevěného rámu. Rozhodující vliv má používané palivo pro vytápění v konkrétním objektu. Pro obrázek 28 se vychází z předpokladu, že palivem je hnědé uhlí. V případě zemního plynu by bylo dosaženo podstatně menší redukce. Pokud je pro vytápění užitá biomasa, je redukce nulová. Důležitým průběžným závěrem je zjištění, že klíčový parametr z hlediska bilance  $\text{CO}_2$ , který vychází z energetických úspor a produkce primární suroviny, je zcela mimo vliv výrobců oken. Bilance  $\text{CO}_2$  je pak negativní – v rámci vymezeného výrobního cyklu dochází, za určitých podmínek, k redukci  $\text{CO}_2$ , nikoliv k produkci. Pokud není započten vliv produkce

primární suroviny a dosažených energetických úspor, odpovídá množství emisí cca 50 kg CO<sub>2</sub> na jeden dřevěný rám, což také vyjadřuje potenciální vliv na globální oteplování vypočtený dle Jensena *et al.* (1997).

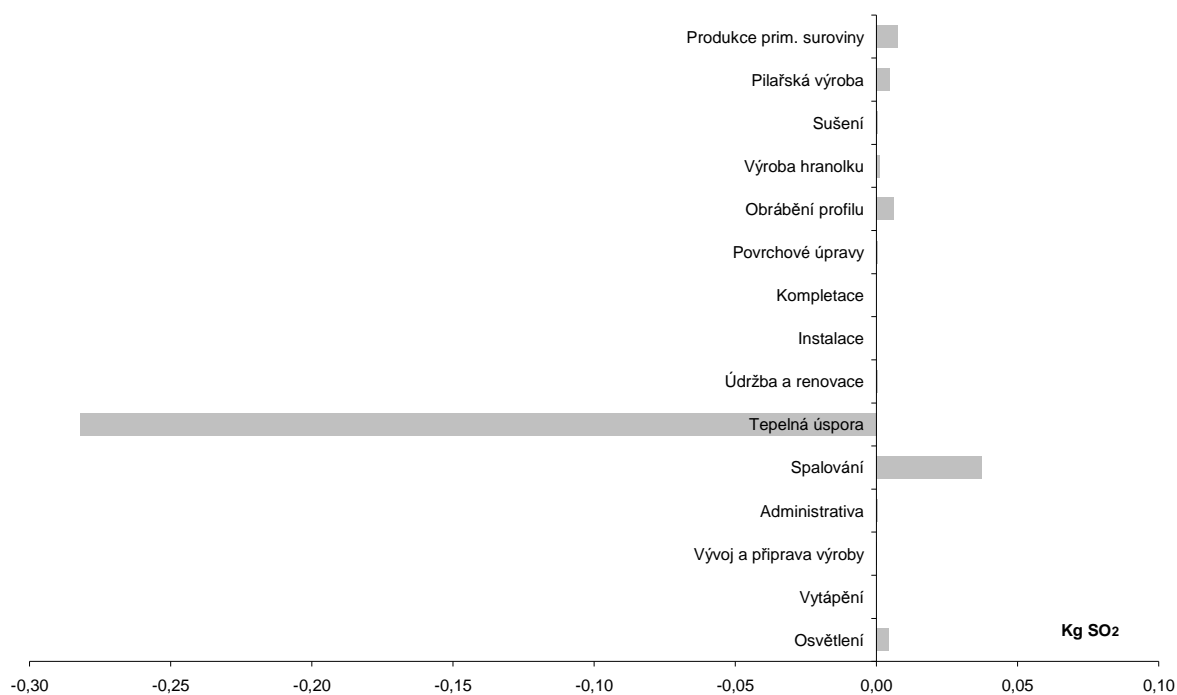


Obr. 28 – emise CO<sub>2</sub> z výroby dřevěného rámu

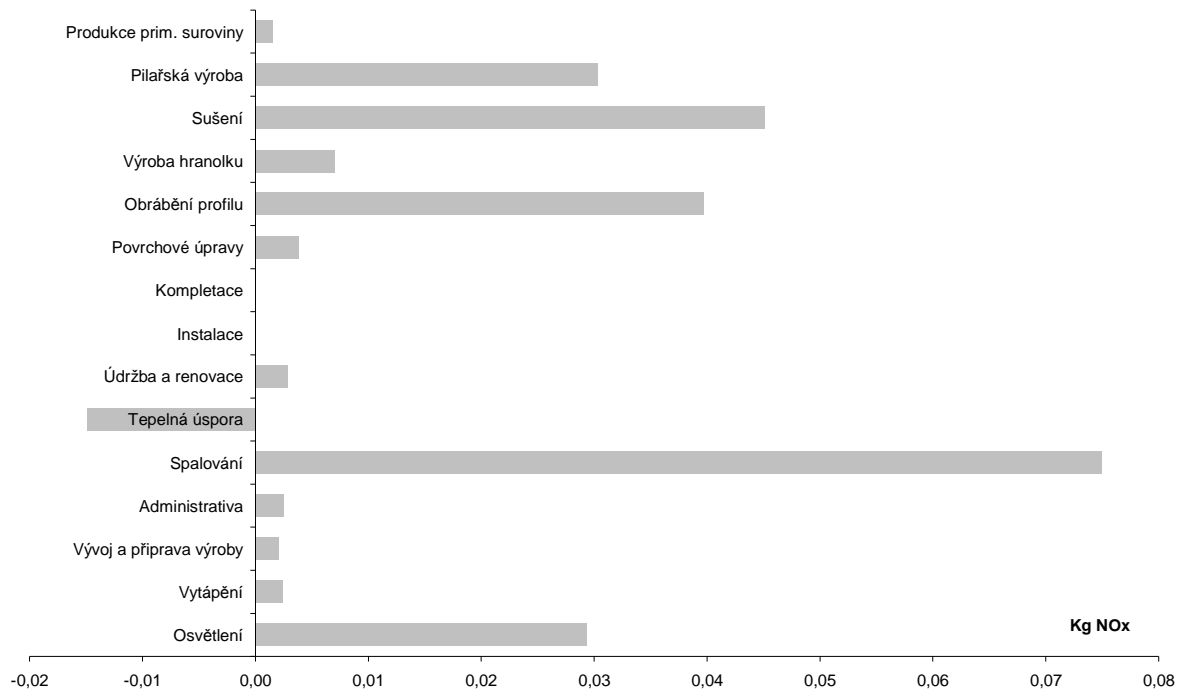
Ze zjištěných údajů nevyplývá žádný vliv výrobního cyklu na zmenšování ozónové vrstvy.

Na acidifikační potenciál má rozhodující vliv emise SO<sub>2</sub>, kde je rozhodující vliv tepelných úspor. Na bilanci se podílí také emise NO<sub>x</sub> jako NO<sub>2</sub>. Při poměru oxidů dusíku bylo pro výpočet v příloze 17 použit poměr z Janouškové *et al.* (1998). Na acidifikační potenciál má výrazně negativní vliv spalování rámu po ukončení životního cyklu. Z tohoto důvodu lze jednoznačně doporučit jiný způsob zneškodnění. Pokud se započtou energetické úspory a konečné zneškodnění se v modelovém případě řeší jako recyklace je acidifikační potenciál životního cyklu negativní. Množství vyprodukovaného SO<sub>2</sub> na jeden produkt vychází bez započtení úspor cca 0,3 kg ekvivalentu SO<sub>2</sub>.

Eutrofikační potenciál popisuje dopady na vodní a půdní ekosystém. Dopady jsou kvantifikovány v ekvivalentech kg dusíku případně ekvivalentech kilogramů fosforu. Dopady se projevují růstem řas a souvisejícím vznikem anaerobního prostředí. Vliv na půdní ekosystémy souvisí se změnou funkce a složení živočišných a rostlinných druhů. Pro výpočet jsou užity hodnoty produkce NO<sub>x</sub> včetně NO<sub>2</sub>. Pro přepočtení je využito hodnot Jensena *et al.* (1997). Eutrofikační potenciál v ekvivalentech kilogramů fosforu je nulový. Eutrofikační potenciál v ekvivalentech kilogramů dusíku vychází 0,4 kg ekv. N na rám se započtení energetických úspor, bez jejich započítání je tato výrazněji nezmění.



Obr. 29 – emise SO<sub>2</sub> z výroby dřevěného rámu



Obr. 30 – emise NO<sub>x</sub> z výroby dřevěného rámu

#### 6.4.4. Dílčí závěr

Zjednodušená LCA studie provedená s modelovými daty na podkladě uvedené literatury prokázala její proveditelnost, nicméně výsledky se značně odchyľují od referenční literatury, zejména Thompsona (2006) a Buchanana *et* Honey (1993). Naopak poměrně vysoká shoda vyháží v porovnání s Weirem *et* Muneerem (1996). Odlišnost vychází ze zvoleného rozsahu životního cyklu, kdy vyšší hodnoty parametrů lze vysvětlit širším rozsahem činností zahrnutých do analýzy. Přesto získané údaje poskytují dobrou orientaci ve významu jednotlivých částí životního cyklu na životní prostředí. Jako jednoznačně nevhodné, z pohledu životního prostředí, se jeví spalování dřevěného rámu za účelem energetického využití i když se tím zlepšuje energetická bilance životního cyklu. Klíčová je problematika započtení tepelných úspor, které mohou významně ovlivnit bilanci skleníkových plynů. Jejich započtení v obecné rovině je však problematické, protože se významně liší v závislosti na použitém systému vytápění a zdroji primárního tepla v konkrétním objektu.

Pro účely případného komplexního hodnocení je nejvhodnější vycházet z údajů bez započtení energetických úspor. Ty pak budou hodnoceny samostatně v rámci hodnocení se zohledněním místních podmínek, protože variabilita energetických úspor je potenciálně vyšší než variabilita energetické náročnosti a ekologických dopadů výrobních postupů dřevěného okenního rámu.

#### 6.5. Prezentace výsledků hodnocení životního cyklu

Nejdůležitější a pravděpodobně také jedinou možností, jak jednoduše a efektivně ukázat pozitivní ekologické hodnocení směrem k veřejnosti, je pomocí národního programu ekologického značení.

Český systém ekologického značení – Národní program pro ekologicky šetrné výrobky byl ustaven v roce 1994 ve spolupráci Ministerstev životního prostředí a Ministerstva průmyslu a obchodu. Jedním z dvanácti principů, na kterých je program postaven, je aplikace metod pro hodnocení životního cyklu. Další principy jsou dobrovolnost, srozumitelnost, ověřitelnost, otevřenost systému a další (Remtová, 2003).

Funkce tohoto značení je stejná jako všech ostatních národních a nadnárodních programů. Pomáhá zákazníkům vybrat si mezi podobnými produkty ten nejprátelštější k životnímu prostředí. Ekologická značka také zlepšuje obraz producenta a teoreticky zajišťuje lepší podmínky pro export a zvýšení prodeje. Výrobce takovýchto produktů by měl mít zjednodušený přístup k půjčkám ze Státního fondu životního prostředí a měl by být preferován ve veřejných zakázkách. V současnosti je uděleno 178 označení (Ekoznačka, 2005)

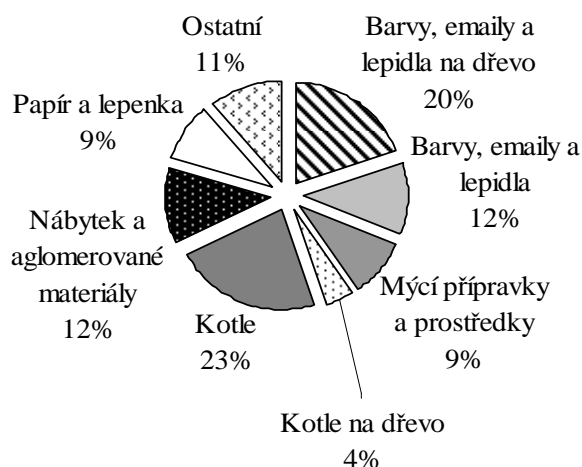


Obr. 31 – značka ekologicky šetrného výrobku

Hodnocení, které předchází získání značky, je založeno na směnicích agentury. Naneštěstí v současnosti nejsou k dispozici žádná taková nařízení pro produkty ze dřeva obecně či pro dřevěná okna a dveře. Jsou však k dispozici směrnice pro aglomerované

materiály a výrobky z nich (vztahuje se zejména na nábytek a nábytkářské polotovary), papír, lepenku a dřevěné brikety.

#### Produkty označené ekoznačkou



Obr. 32 – rozdělení produktů, které obdržely ekoznačku

Navzdory faktu, že produkty ze dřeva jsou široce užívány a považovány za přátelštější k životnímu prostředí než obdobné produkty vyrobené z jiných materiálů, pro většinu z nich nelze tuto skutečnost potvrdit ekoznačkou. V programu jsou nastaveny určité limity pro hodnocené produkty: musí být produkovány ve velkém množství a musí být spotřebního charakteru. Další podmínkou je zjevný a měřitelný rozdíl v dopadech na životní prostředí v rámci hodnocené kategorie výrobků. Pro většinu produktů dřevařského průmyslu není problém naplnit veškeré jmenované požadavky.

Jedním z problémů při výrobě dřevěných otvorových výplní je užití chemikálií v rámci některých procesů, ale to je také oblast, kde ekologické značení může podstatně pomoci. Rozborem označených produktů bylo zjištěno, že asi 20% z nich jsou laky, emaily a ostatní produkty chemického průmyslu pro ošetření a ochranu dřeva. Použití takovýchto produktů umožňuje zlepšení ekologického profilu výrobku.

Výrobci v rámci dřevařského průmyslu mohou v případě zájmu deklarovat původ suroviny, tj. zda pochází ze zdroje obhospodařovaného v souladu s pravidly udržitelného rozvoje, jak je deklaruje certifikační autorita, jakou je Programme for the Endorsement of Forest Certification schemes (PEFC), Forest Stewardship Council (FSC) a jejich alternativy. V tomto značení nehraje životní cyklus produktu žádnou nebo jen minimální roli a pozornost je soustředěna pouze na surovinu. Přesto je lze využít jako nutnou podmínku a garanci pro aplikaci závěrů týkajících se modulu lesnictví popsaného v kapitole 6.4.2.

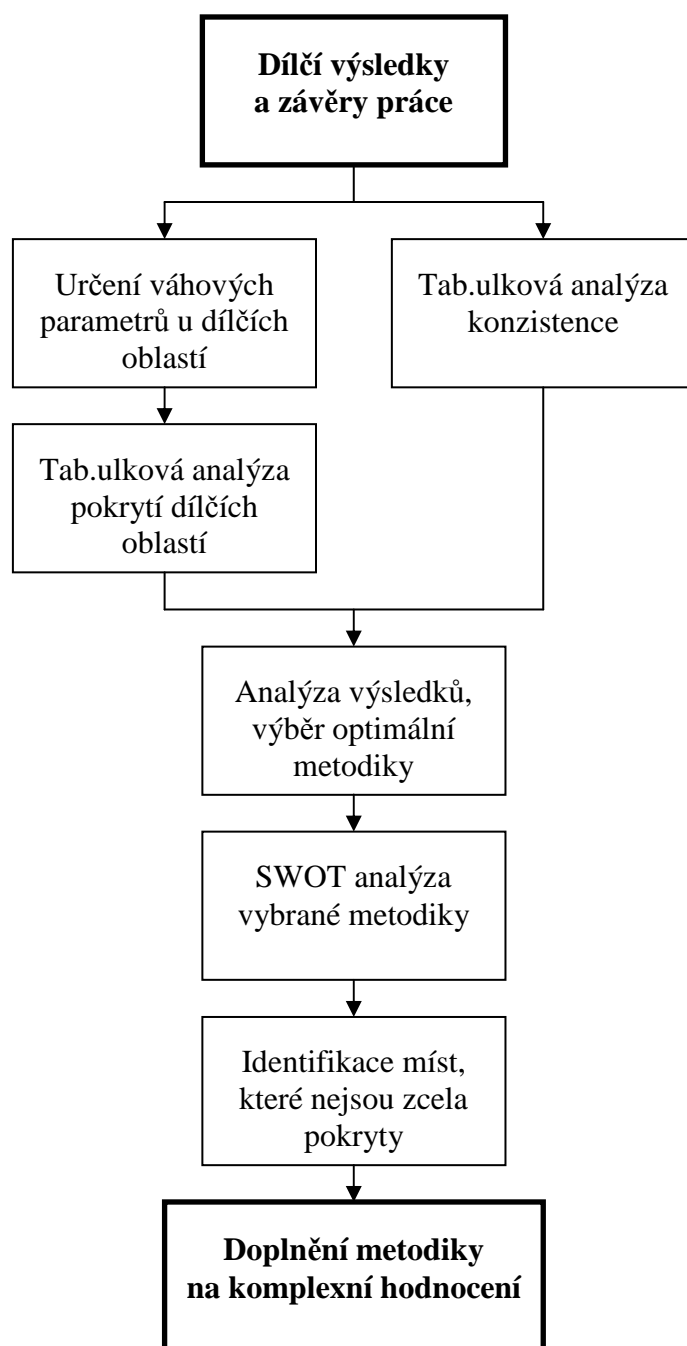


Obr. 33 – označení certifikačních autorit

## 7. Porovnávací analýza možností hodnocení a komplexní hodnocení

Obvyklý přístup při volbě otvorových výplní vychází ze snahy o dosažení požadovaných vlastností při co nejnižších nákladech. V případě tepelně-technických vlastností se jedná o hodnocení konstantních parametrů v rámci energetických a ostatních úspor. Nový koncepční pohled, jak je představen v této práci, představuje integrovaný přístup, který ve svém hodnocení zahrnuje různé parametry v průběhu všech fází životního cyklu.

Při tvorbě komplexního nástroje je možné vycházet ze stávajících způsobů hodnocení a podrobit je analýze podle definovaných kritérií, které reflektují požadavky na co nejširší a neoptimálnější způsob hodnocení. Postup je znázorněn obrázkem 34.



Obr. 34 – postup při porovnávací analýze



## 7.1. Porovnání dílčích metod hodnocení

### 7.1.1. Popis metodiky porovnávání

Požadavky na co nejširší záběr hodnocení konkrétní vlastnosti otvorové výplně klade značné nároky na výběr hodnotících kritérií a metody. Z tohoto důvodu je v prvním stupni hodnocení použita analytická tabulka, která vychází ve svých principech z analogického hodnocení provedeného Folientem *et al.* (2006). Navržené hodnotící atributy vychází z dílčích závěrů předchozích kapitol. Při volbě váhy parametrů není možné přebírat hodnoty udávané Hájkem (2006) a Rohlesem *et al.* (1989) – parametry jsou nově určeny na základě výsledků studie životního cyklu v kapitole 6. Důvodem změn je specifická hodnocení samostatného prvku oproti hodnocení celé budovy.

Původní váhy uváděné Hájkem (2006) jsou následující:

Základní skupiny kritérií	Hodnotící kritéria	Váhy
<b>A:</b> Výběr pozemku a urbanistické řešení	výběr pozemku, projekt organizace výstavby, urbanistický návrh a územní řešení	12,5 %
<b>B:</b> Spotřeba energie a zdrojů	celková primární energie z obnovitelných zdrojů, špička odběru el. energie při výstavbě, obnovitelná energie, uvedení budovy do provozu, materiály, pitná voda	20,8 %
<b>C:</b> Zatížení životního prostředí	emise skleníkových plynů, další atmosférické emise, tuhé odpady, dešťové a odpadní vody, vlivy na území, další místní a regionální vlivy	20,8 %
<b>D:</b> Kvalita vnitřního prostředí	kvalita vnitřního vzduchu, větrání, teplota vzduchu a relativní vlhkost, denní osvětlení, akustika a hluk	6,7 %
<b>E:</b> Funkčnost	funkčnost a efektivita, údržba hlavních funkcí vně plánovaných návrhových podmínek, regulovatelnost	8,3 %
<b>F:</b> Dlouhodobé zajištění funkčnosti	možnost změn a přizpůsobení novým podmínkám, údržba a provoz	8,3 %
<b>G:</b> Sociální a ekonomické aspekty	ceny a náklady, sociální aspekty	12,5 %

Tab. 11 – váhy hodnotících kritérií dle Hájka (2006)

Hodnocení vybraných metodik se zabývá pokrytím 4 širších oblastí: vnitřního prostředí budov, životního cyklu výrobku, ekonomických parametrů a zejména tepelně-technických vlastností. Oblasti budou dále podrobněji členěny na základě rozdělení uvedeného v jednotlivých kapitolách této práce a podle dílčích závěrů.

Z udávaných skupin kritérií udávaných Hájkem (2006) nelze u dřevěných otvorových výplní aplikovat kritérium A: Výběr pozemku a urbanistické řešení.

Parametr B: Spotřeba energie a zdrojů lze považovat za nejvíce ovlivnitelné tepelně-technickými vlastnostmi, stejně jako kvalitu vnitřního prostředí – parametr D.

V zatížení životního prostředí – v parametru C se zprostředkovaně, díky tepelným úsporám, projeví jak tepelně-technické vlastnosti tak životní cyklus. Podle jednoho se závěrů kapitoly 6 je poměr mezi redukcí emisí z energetických úspor a ostatními emisemi z životního cyklu cca 1:3, liší se však podle jednotlivých zdrojů energie k vytápění.

Parametr E: Funkčnost představuje plnění mandatorních požadavků na výrobky, které jsou nezbytnou podmínkou pro uvedení výrobku na trh – jsou popsány v kapitole 3. Tento parametr není třeba do analýzy zahrnovat. Lze předpokládat automatické naplnění tohoto požadavku.

Parametr F: Dlouhodobé zajištění funkčnosti ukazuje do jaké míry je v metodice zohledněna zejména problematika údržby. Parametr lze zahrnout pod hodnocení životního cyklu.

Problematicku G: Sociální a ekonomické aspekty lze aplikovat v oblasti ekonomických parametrů, které ukazují, do jaké míry je v rámci metodiky pokryta problematika kapitoly 5.2.

K hodnocení je použita pětistupňová škála obdobná k té, kterou použil Foliente *et al.* (2006). Tato stupnice je pro analýzu výsledků vnímána jako spojitá a při hodnocení metod je použito elementárních statistických postupů. Na jejich základě je určena metodika, která nejvíce naplňuje určené požadavky komplexnosti.

Obecné požadavky na dílčí metody hodnocení:

- komplexnost,
- přesnost,
- dostupnost vstupních údajů,
- časová závislost.

Stupně pokrytí dané oblasti hodnocené metodiky:

- 1 oblast není vůbec pokryta,
- 2 oblast je pokryta, ale se značnou mírou zjednodušení bez rozlišení různých rozdílů, například užitím jednoho koeficientu nebo přírážky,
- 3 oblast je pokryta s určitou mírou zjednodušení, které však zohledňuje jednotlivé dílčí situace nebo stavy,
- 4 oblast je detailně pokryta a získané výsledky jsou exaktní a zahrnují většinu možných vlivů – je zcela postačující pro veškeré požadavky technické praxe,
- 5 oblast je pokryta velmi detailně ve všech ohledech a získané výsledky odpovídají skutečnému stavu – jedná se o výsledky experimentů, přímých měření a matematických modelů.

Skupina parametrů dle Hájka (2006)	Vnitřní prostředí	Tepelně-technické vlastnosti	Životní cyklus	Ekonomické hodnocení
<b>B:</b> Spotřeba energie a zdrojů  <b>26,3%</b>		31,6	52,6%	
<b>C:</b> Zatížení životního prostředí  <b>26,3%</b>				
<b>D:</b> Kvalita vnitřního prostředí  <b>21,1%</b>	21,1%	10,6%		
<b>F:</b> Dlouhodobé zajištění funkčnosti <b>10,5%</b>			5,3%	
<b>G:</b> Sociální a ekonomické aspekty  <b>15,8%</b>				21,1%
<b>Celkem</b>	21,1%	42,2%	57,9%	21,1%
<b>Nové váhy skupin parametrů</b>	<b>14,8%</b>	<b>29,7%</b>	<b>40,7%</b>	<b>14,8%</b>

Tab. 12 – určení nových váh vymezených skupin parametrů

Po indexování v analytické tabulce je prováděna analýza a porovnání několika způsoby. V prvním způsobu se postupuje analogicky jako při základních postupech z aplikované statistiky – určování aritmetického průměru a rozptylu, jak popisuje Karpíšek (2002):

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (31)$$

Porovnávají se nejen hodnoty jednotlivých průměrů, ale také rozptyl, který slouží jako určitý indikátor konzistence metody.

$$s^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_j - \bar{x})^2 \quad (32)$$

V simultánně provedené části analýzy je využito přidělených vah jednotlivých parametrů za využití vzorců dle Karpíška (2002):

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^k n_j x_j \quad (33)$$

$$s^2 = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^k n_j (x_j - \bar{x})^2 \quad (34)$$

Kdy  $n = 1$  a  $n_j$  jsou vyjádřené váhy v %/100 u dílčího parametru.

Výsledky obou analýz jsou porovnávány se samostatně provedeným vyhodnocením konzistence metodik podle následujících parametrů:

- přesné definice vstupů (způsob jejich získání),
- pomocné údaje jako součást metodiky (koeficienty, tabulky, grafy),
- popis jednotlivých kroků včetně návazností,
- interpretace získaných údajů jako součást metodiky,
- specifikace způsobu využití získaných výsledků.

K hodnocení je užito pětistupňové stupnice analogické k stupňům pokrytí dané oblasti při hodnocení vybraných metodik. U parametrů není použita váha, protože jejich důležitost je shodná.

Navazujícím krokem hodnocení je SWOT analýza vybrané metodiky, jak ji popisuje Šedivý (1995), s důrazem na její nedostatky a slabé stránky za účelem jejího pozdějšího doplnění na postup při komplexním hodnocení.

## 7.1.2. Analýza pokrytí dílčích oblastí a konzistence

Metodika	Vnitřní prostředí				Vlastnosti otvor. výplní					Živ. cyklus			Ekonomické hodnocení
	Tep. – vlhkost. mikr.	Akustické mikroklima	Světelné mikroklima	Ostatní složky mikr.	Prostup tepla	Povrchová teplota	Průvzdušnost	Akustické vlastnosti	Optické vlastnosti	Výroba	Užití (údržba, životnost)	Zneškodnění	
<b>Váha</b>	4,3	3,4	3,4	3,7	7,9	5,9	5,9	5,9	4,2	16,3	16,3	8,1	14,8
ČEA	3	1	1	1	4	2	4	1	2	1	2	1	3
energetický štítek	3	1	1	1	4	2	4	1	2	1	1	1	1
energetický průkaz	1	1	1	1	3	1	2	1	2	1	1	1	1
ekonom. hodnocení	2	1	1	1	2	1	2	1	2	1	4	2	5
LCC	1	1	1	1	2	1	2	1	2	1	5	2	5
ENSI	2	1	1	1	4	1	3	1	2	2	3	1	5
AEE	3	1	2	2	3	1	2	1	2	1	3	1	5
LCA	2	1	1	1	3	3	3	3	3	5	5	5	1

Tab. 13 – analytická tabulka

Hodnocená metodika	definice vstupů	pomocné údaje	popis postupu	interpretace	specifikace využití
ČEA	3	3	3	3	2
energetický štítek	3	1	3	1	1
energetický průkaz	3	1	3	1	1
ekonom. hodnocení	4	3	4	4	4
LCC	3	2	3	4	4
ENSI	3	4	5	5	5
AEE	3	3	3	3	3
LCA	3	1	5	5	3

Tab. 14 – tabulka hodnocení konzistence

### **Energetický štítek**

Energetický štítek je popsán v kapitole 5.1.1. Jedná se výstup aplikování normy ČSN 73 0540. Norma zohledňuje vnitřní tepelně-vlhkostní mikroklima. U vlastností otvorových výplní jsou zohledněny veškeré tepelně-technické vlastnosti dle kapitoly 3.2. Akustické vlastnosti, životní cyklus a ekonomické hodnocení nejsou zohledněny.

Optické vlastnosti se berou v úvahu pouze při zjišťování solárních zisků.

Norma, ze které energetický štítek vychází, přesně definuje vztahy i pomocné údaje a popisuje postup. Interpretace a využití výsledků jsou stanoveny velmi obecně.

### **Energetický průkaz**

Energetický průkaz je podrobně popsán v kapitole 5.1.1. Postup podle vyhlášky umožňuje dva způsoby hodnocení: podle zjednodušených vztahů vyhlášky č. 291/2001 Sb. nebo podle technických norem. Hodnoty jsou v pokrytých oblastech analogické k metodě ČEA nebo energetickému štítku budovy.

### **Ekonomické hodnocení**

Ekonomické hodnocení je součástí řady popisovaných postupů a jeho náplň je ve všech případech obdobná, protože aplikované ekonomické nástroje se nijak výrazně neliší. Obecné zásady ekonomického hodnocení a principů popisuje Holman (2000). Detailní popis aplikovaných nástrojů je představen Dahnsveenem (2003), Thumannem *et* Youngerem (2003) a zabývá se jím i Bouška (1997) a Lukešová *et al.* (2005). Ekonomické nástroje nijak nevymezují detailnost hlavních vstupů – může být použito jak hrubých odhadů tak přesných modelů. Stejně tak není řešeno vnitřní prostředí. Hlavní vstupy představují náklady a výstupy možné dosažitelné úspory.

U parametrů otvorových výplní však i zjednodušené postupy počítají minimálně s prostupem tepla, větráním a tepelnými zisky.

Z životního cyklu je kladen důraz zejména na životnost a určitým způsobem může být bráno v potaz i zneškodnění, pokud je spojeno s náklady.

Vstupy jsou u ekonomického hodnocení definovány velmi jasně a většina autorů doplňuje popis postupu i pomocnými podklady. Některé údaje, například odhady budoucího vývoje některých položek, ceny energií nebo budoucí vývoj inflace (viz *vzorec 26*), jsou však vysoce spekulativní.

Popis postupu a interpretace výstupu jsou definovány zcela jednoznačně, stejně jako specifikace využití hodnocení, kterým je rozhodnutí o aplikaci ekonomicky nejvýhodnějších opatření.

### **ČEA**

ČEA v podkladech publikovaných Bouškem (1997) metodicky zpřesňuje požadavky na energetický audit, jak je specifikuje zákon č. 402/2002 Sb. v platném znění a příslušné podzákonné předpisy. Bližší popis postupu je v kapitole 5.3.1.

Parametry tepelně-vlhkostního mikroklimatu jsou stanoveny přílohou č. 2 k vyhlášce č. 291/2001 Sb. Vyhláška v § 2 odst. 2 vymezuje vztah vnějšího prostředí a otvorových výplní. Parametry slouží jako jedna z okrajových podmínek pro hodnocení tepelně-technických vlastností. Ostatní parametry vnitřního prostředí nejsou běžně zohledňovány.

Základem hodnocení je prostup tepla stanovený výpočtem nebo zkouškou. Je však řešena i povrchová teplota, ale způsob stanovování není určen. Součástí postupu je i problematika

průvzdušnosti – podzákonný předpis odkazuje na ČSN 73 0540, ČSN EN 832 a ČSN 06 0210.

Optické vlastnosti otvorových výplní jsou zohledněny v omezené míře při výpočtech tepelných zisků podle § 7 vyhlášky č. 291/2001 Sb. s odkazem na postup podle technických norem nebo redukováný vztah dle § 6.

Akustické vlastnosti nejsou zohledněny.

Životní cyklus není zohledněn žádným způsobem.

Ekonomické hodnocení vychází z přílohy č. 7 vyhlášky č. 213/2001 Sb. Postup je stanoven jen velmi stručně a obecně. Bouška (1997) metodiku v této oblasti dále rozvádí a vymezuje dílčí návaznosti.

Vstupy a pomocné údaje upravují vyhlášky a technické normy. V technické části je pokrytí zcela dostatečné, v ekonomické části je tomu naopak – v tabulce 15 je použit průměr za použití vah z analytické tabulky. Postup řeší vyhláška, ale pouze v přehledové formě. Bouška (1997) popisuje detaily a provázanost jednotlivých kroků. Celkově je popis postupu dostatečný.

Interpretace dílčích zjištění v rámci hodnocení se děje ekonomickým hodnocením a hodnocením z hlediska ochrany životního prostředí. Využití závěrů je ve vyhlášce popisováno jen obecně.

### **ENSI**

Metoda ENCON vyvinutá ENSI je blíže popsána v kapitole 5.3.2. Jádrem hodnocení je metoda klíčových čísel v návaznosti na další kroky popsané Dahlsveenem (2003). Vnitřní prostředí je v rámci metody zohledněno pouze na obecné úrovni v návaznosti na energetickou bilanci celého objektu. Například světelné mikroklima je řešeno pouze ve vztahu k energetické náročnost umělého osvětlení. V rámci bilančních tabulek metody ENCON je zohledněn zejména součinitel prostupu tepla, plocha konstrukce a potenciální tepelné zisky – tedy optické vlastnosti. U infiltrace se uvádí pouze jedna hodnota pro celou budovu bez zohlednění dalších parametrů, např. orientace a polohy.

Ekonomické hodnocení je u této metody velmi podrobné a zahrnuje detailní popis postupu, výpočtové vztahy a také některé vstupní údaje.

Výroba stejně jako zneškodnění není zohledněna, pouze se bere v úvahu dodávka materiálu a montáž v souvislosti s organizací realizace energeticko-úsporných opatření.

Provoz a údržba jsou zahrnuty v návaznosti na související náklady.

Metoda přesně definuje vstupy do ekonomických výpočtů i do postupu podle klíčových čísel, nicméně údaje jsou omezeny na jedinou klimatickou zónu a nedosahují takové podrobnosti jako například ČSN 06 0210. Pomocné údaje jsou k dispozici v tabulkové formě. Součástí metody je podrobný popis postupu včetně logických schémat, interpretace údajů a jejich využití při realizaci energetických úspor a provozu budovy.

### **AEE**

Metoda AEE (Thumann *et* Younger, 2003), které se blíže věnuje kapitola 5.3.3., obsahuje samostatnou část věnovanou hodnocení vnitřního prostředí, dále členěnou na hodnocení teploty, vlhkosti a dalších parametrů. Součástí postupu je i problematika osvětlení a vlivu otvorových výplní na něj, ovšem jen okrajově.

Při analyzování vlastností otvorových výplní v rámci metody jsou považovány za nejdůležitější hodnoty prostupu tepla a průvzdušnosti. Problematika povrchové teploty není

řešena vůbec, stejně jako akustické vlastnosti. V návaznosti na prostupnost světla a tepelné zisky jsou zohledněny i optické vlastnosti.

V Ekonomických výpočtech je zohledněna i jedna z fází životního cyklu – údržba a životnost.

Ekonomické hodnocení je velmi propracované a zahrnuje řadu výpočtů včetně definic vstupů, tabulek a návodných příkladů. Principiálně je ekonomické hodnocení postaveno na LCC, které je zde hodnoceno i jako samostatná metoda.

Metoda popsaná Thumannem *et* Youngerem (2003) přesně definuje většinu vstupů a výstupů a obsahuje řadu tabulek s pomocnými údaji. Postup při vypracovávání hodnocení je dán členěním popsané metody. Interpretace a využití údajů se týká zejména dílčích opatření.

### **LCC**

Cena životního cyklu je specifickým způsobem ekonomického hodnocení s velkým důrazem na energetické úspory a zejména na budoucí výdaje a náklady. V úvahu je brán životní cyklus. Lukešová *et al.* (2005) uvažuje i energetickou náročnost výroby. Při výpočtech vztahujících se k LCC není nijak zvláště zohledněno vnitřní prostředí. Z vlastností otvorových výplní je kladen důraz na tepelně-technické vlastnosti.

Vstupy do hodnocení jsou přesně definovány a pomocné údaje jsou v literatuře k dispozici, udává je např. Thumann *et* Younger (2003), ale nejsou vyčerpávající a nejsou také zcela vhodné pro lokální podmínky. Postup je určen v obecné rovině. Interpretace je velmi přesně určena, stejně jako jejich využití, zejména v rámci ekonomického hodnocení.

### **LCA**

Metoda je velmi podrobně popsána v kapitole 6 včetně aplikace na výrobu otvorové výplně. Postup LCA přímo nezohledňuje vnitřní prostředí budov, lze jej však do hodnocení zahrnout způsobem popsaným v kapitole 6.4.1. Naopak funkce je při hodnocení životního cyklu důležitým kritériem a lze ji nadefinovat tak, že zahrnuje požadované vlastnosti otvorových výplní.

Životní cyklus je brán plně v úvahu.

Ekonomické hodnocení není součástí LCA.

Norma ČSN EN 14041 definuje nároky na rozsah vstupů i požadované pomocné údaje. Vzhledem ke značnému rozsahu posuzovaných výrobních systémů neobsahuje konkrétní hodnoty a dohledání podkladů tak může být problematické. Postup a interpretace výsledků jsou přesně popsány normou. Využití výsledků je specifikováno v obecné rovině, literatura, např. Remtová (2003), uvádí i detailní příklady.



## 7.1.3. Analýza výsledků, výběr optimální metodiky

Hodnocená metodika	Průměr z analytické tabulky		Průměr z konzist. tabulky	Rozptyl zjištěných hodnot [%]
	Bez vah	S vahami		
ČEA	2,000	2,061	2,800	40
energetický štítek	1,769	1,602	<b>1,800</b>	12
energetický průkaz	<b>1,308</b>	<b>1,26</b>	<b>1,800</b>	43
ekonom. hodnocení	1,923	2,386	3,800	98
LCC	1,923	2,506	3,200	66
ENSI	2,077	2,522	<b>4,400</b>	112
AEE	2,077	2,335	3,000	44
LCA	<b>2,769</b>	<b>3,268</b>	3,400	23

Tab. 15 – porovnání průměrů

Hodnocená metodika	Rozptyl z analytické tabulky		Rozptyl z konzist. tabulky	Rozptyl zjištěných hodnot [%]
	Bez vah	S vahami		
ČEA	1,231	0,835	0,160	669
energetický štítek	1,254	1,183	0,960	31
energetický průkaz	<b>0,367</b>	0,352	0,960	173
ekonom. hodnocení	1,456	2,435	0,160	1 422
LCC	1,917	<b>0,249</b>	0,560	670
ENSI	1,609	2,100	0,640	228
AEE	1,302	0,565	<b>0,000</b>	-
LCA	<b>2,178</b>	<b>2,859</b>	<b>2,240</b>	31

Tab. 16 – porovnání rozptylů

Na základě výsledků analýzy průměrných hodnot indikačních parametrů pro hodnocené postupy vychází jako neoptimálnější LCA. Důvodem je komplexní pokrytí oblastí životního cyklu a možnost zahrnutí funkčních parametrů otvorové výplně. Značnou nevýhodu představují nekonzistence, které jsou zdaleka nejvyšší ze všech hodnocených postupů. Tato nekonzistence zahrnuje celé komplexní oblasti (viz Tab. 15). Nadprůměrné hodnoty pokrytí všech oblastí dosahuje postup dle ENSI. Naopak nejmenší vypovídající hodnotu o tepelně-technických a souvisejících vlastnostech otvorových výplní má energetický průkaz budovy.

Metody, ve kterých je nějakým způsobem zohledněn životní cyklus výroby, dosahují v průměru vyšších hodnot než ostatní metody. Uspokojivé pokrytí všech oblastí nedosahuje žádná z analyzovaných metod.

Porovnání výsledků analýzy pokrytí a analýzy konzistence vyplývá, že velmi zřídka dochází ke shodě u systémové a u technické části hodnocení. Z hlediska systémových parametrů shrnutých v tabulce 15 dosahuje nejlepších výsledků metoda ENSI, ale i metoda LCA vychází jako nadprůměrná.

Aplikace vah se ukázala jako velice užitečná. U většiny hodnocených metodik došlo aplikací vah ke zlepšení celkových dosažených výsledků. To ukazuje na skutečnost, že hodnocené metodiky věnují pozornost oblastem, kterým je nutné přikládat u otvorových výplní zvýšenou důležitost.

Z analytické tabulky lze vyčíst velmi nízká nebo malá pozornost věnovaná komplexnímu pohledu na vnitřní prostředí a to zejména na ty složky mikroklimatu, která nemají přímý vliv na energetickou bilanci budovy. Z vlastností otvorových výplní je kladen hlavní důraz na součinitel prostupu tepla. Z životního cyklu je velmi výrazně preferována část věnovaná užití a souvisejícím parametrům údržby. Ekonomické hodnocení je oblast s největšími extrémami v podrobnosti a stupni pokrytí.

#### 7.1.4. SWOT analýza

SWOT analýza je kvalitativní metoda použitelná ve většině oborů lidské činnosti. Díky ní lze komplexně vyhodnotit fungování systému, nalézt problémy nebo nové možnosti rozvoje.

Základ metody spočívá v klasifikaci a ohodnocení jednotlivých faktorů, které jsou rozděleny do 4 základních skupin (tj. faktory vyjadřující silné (S – Strong) nebo slabé (W – Weak) vnitřní stránky systému, v konkrétním posuzovaném případě se jedná o metodu LCA, a faktory vyjadřující příležitosti (O – opportunity) a nebezpečí (T – Threats) jako vlastnosti vnějšího prostředí). Vzájemnou interakcí faktorů silných a slabých stránek na jedné straně vůči příležitostem a nebezpečím na straně druhé lze získat nové kvalitativní informace, které charakterizují a hodnotí úroveň jejich vzájemného střetu.

Vnitřní analýzou (S-W) lze stanovit možnosti a potenciál. Vnější analýza (O-T) pomáhá rozpoznat rizika, která by mohla ohrozit dosažení zvolených cílů a zaměřit se na příležitosti jak systém zlepšit.

Výstupem běžné analýzy SWOT jsou takové změny, která maximalizují přednosti a příležitosti a minimalizuje nedostatky a hrozby.

Analýza SWOT prováděná na LCA je od standardního modelu mírně odlišná. Jsou akcentovány negativní faktory za účelem identifikace slabých míst za účelem doplnění systému na optimální stav – komplexní hodnocení.

Metoda LCA je popsána kapitolou 6 včetně popisu aplikace na výrobu dřevěného okenního rámu. Z analýzy možných metod hodnocení tepelně-technických vlastností provedených v kapitole 1.2 vychází hodnocení životního cyklu jako nejbližší definovanému optimu.

### ***Silné stránky LCA***

LCA se vyznačuje značnou flexibilitou, jak prokazuje Fruhwald (1995), navzdory tomu, že je postup normalizován. Lze ji aplikovat na řadu výrobků a služeb. Příklady aplikace metody na otvorové výplně jsou studie provedené Chevalierem (2002), Asifem *et al.* (1998), Weirem *et* Muneerem (1996) a práce publikovaná Thompsonem (2005). Flexibilitu metody lze považovat za její hlavní výhodu a je přímo spojena s problematikou definice vlastností výrobku podle potřeb prováděné studie. Pro účely práce se jedná o tepelně – technické a s nimi přímo spojené vlastnosti (viz kapitola 3.2. a 3.3.).

Při aplikaci LCA v konkrétním případě je však nutné věnovat značnou pozornost nastavení hranic posuzovaného systému z důvodů porovnatelnosti výsledků dosažených dílčími studiemi. Obtížná porovnatelnost výsledků může znehodnotit jakékoliv dosažené výsledky.

Flexibilita metody umožňuje pokrýt většinu oblastí, identifikovaných tabulkou 13, pomocí jiného normového postupu, například aplikací standardních tepelně-technických výpočtů podle Řehánka (2002). Komplexní zahrnutí problematiky vnitřního prostředí přesahuje rámec práce a je podle dílčího závěru kapitoly 2 akceptovatelným způsobem zohledněna v okrajových podmínkách tepelně-technických výpočtů. Za klíčovou lze z tohoto pohledu považovat povrchovou teplotu.

### ***Slabé stránky LCA***

Pokud mají mít výstupy z LCA dostatečnou vypovídací hodnotu, tak je velmi náročná na vstupní údaje. Normy řady ČSN EN ISO 14040 sice umožňují aplikovat široký rozsah údajů, přesto může dojít k znehodnocení výsledků aplikací nevhodných vstupních údajů. De Feyter (1995) ukazuje značné rozdíly zjištěné při analýze zaměřené na produkci dřeva, diskutabilní jsou také data týkající se konečného zneškodnění – viz kapitola 4.4. Protože hranice systému nejsou stanoveny jednotně i vstupní data se mohou lišit. Vypovídací schopnost pak lze obtížně určit, stejně jako její porovnatelnost.

Studie LCA není přímo napojena na nástroje ekonomického hodnocení a proto jsou výsledky LCA brány výrobcí a zákazníky spíše jako pomocný nástroj při rozhodování, než jako určující kritérium. V návaznosti na tuto skutečnost Richtr (1995) upozorňuje, že většina studií životního cyklu v oblasti dřevařství byla provedena univerzitami a vládními institucemi, zatímco dřevařský průmysl o tuto oblast projevil pouze okrajový zájem. Výstupní údaje z LCA se převádějí na ekonomické ukazatele jen velmi obtížně, protože účel metody je zcela jiný: být podkladem při rozhodování ve vztahu výrobku a životního prostředí. Absence ekonomických parametrů jako jednoho z výstupů hodnocení životního cyklu lze považovat za jeden z hlavních slabých stránek.

### ***Příležitosti***

LCA je příležitostí uplatnit nový pohled na tepelně-technické vlastnosti, je však nutné použít jednotné okrajové podmínky nebo alespoň jednotný postup, jak je stanovovat. To znamená upřednostňovat normované údaje a postupy. Variabilita metody umožňuje zahrnout do okrajových podmínek i některé ostatní parametry vnitřního prostředí, které uvádí Jokl (1998), i když pro praktické inženýrské aplikace je tento rozsah příliš široký.

## Hrozby

Určité nebezpečí představuje závislost parametrů na rozsahu studie a kvalitě vstupních dat. Při určování funkce výrobku nelze zahrnout všechny vlastnosti dřevěných otvorových výplní dle Puškára (2003), protože si tyto požadavky často protiřečí (viz kapitola 3). Volba funkce výrobku je významným omezujícím faktorem.

Metoda LCA se musí doplnit o následující části, aby bylo dosaženo komplexního hodnocení tepelně-technických vlastností dřevěných otvorových výplní:

- jednoduché ekonomické hodnocení, zahrnující minimálně životnost výrobku a náklady na zneškodnění,
- výpočet povrchové teploty jako důležitý parametr z pohledu vnitřního prostředí,
- normované tepelně-technické výpočty jako integrovanou část při zjišťování energetických toků v průběhu životnosti výrobku,
- okrajové podmínky stanovované jednotným, nejlépe normovaným, postupem,
- v problematických částech životního cyklu (lesnictví - produkce materiálu, zneškodnění) doplnit odůvodnění zvoleného postupu.

## 7.2. Komplexní hodnocení

Nároky na komplexní hodnocení vychází z nároků definovaných v kapitole 7.1.1. a 7.1.2., ale pokrývá pouze některé z oblastí hodnocených v tabulce 13. Vynechány jsou jen ty oblasti, které nepokrývá uspokojivě žádné z hodnocení a které nejsou nijak ovlivňovány otvorovou výplní, jak bylo prokázáno analýzou (viz kapitola 2.3.1.).

### 7.2.1. Požadavky na komplexní hodnocení

Systémové nároky kladené na komplexní hodnocení jsou podloženy požadavky na konzistenci. Z důvodů modulového složení komplexní metodiky nelze splnit požadavek na zahrnutí pomocných údajů, přesto je při konstrukci postupu zohledněna dostupnost údajů. Důraz je kladen na linearitu postupu a jednoznačnou interpretaci výstupních údajů nebo rozhodování.

Na základě předchozích zjištění a dílčích závěrů uskutečněných v rámci práce je v maximální míře využito LCA. Protože je však kompletní postup hodnocení poměrně náročný, je v hodnocení použito údajů s dostupné literatury, například Weira *et* Muneera (1996) nebo Buchanan *et* Honey (1993), v souladu se závěry v kapitole 6.4.4. a 7.1.4. Tím se kompenzuje případná nejednotnost a problém rozdílně stanovených hranic systému, který je jinak řešitelný velmi obtížně. Výjimku lze aplikovat pouze v dílčích částech cyklu, například při stanovování optimálního způsobu zneškodnění. Z metodiky LCA je nutné aplikovat komplexní přístup k hodnocení vlivu na životní prostředí za využití parametrů dle Jensena *et al.* (1997). Komplexní hodnocení zahrnuje celý životní cyklus, i když některé jeho části pouze zjednodušené formě. V maximální možné míře je využito postupů podle norem a popsanych nebo doporučených v legislativě z důvodu provázanosti a dostupnosti.

Za optimální lze považovat postup, kdy komplexní hodnocení slouží k porovnání 2 a více variant. V rámci porovnání by pak použité údaje vztahující se k životnímu cyklu a ekonomickému hodnocení měly vycházet z jednoho zdroje, z důvodu porovnatelnosti.

Interpretace energetických úspor a k nim vztaženým emisím musí být provedena vždy ve vztahu ke konkrétnímu objektu. V obecné rovině jsou takové údaje neprůkazné.

Součástí postupu výpočtu tepelně-technických vlastností je výpočet povrchové teploty a ekonomické hodnocení, které bude v rozhodovacím procesu konfrontováno s hodnocením z pohledu životního prostředí za účelem dosažení optimálního řešení. Tím komplexní hodnocení překonává běžné hodnocení z pohledu životního prostředí v rámci konvenčního energetického auditu popsaného Bouškou (1997).

### 7.2.2. Popis komplexního hodnocení

Prvním krokem při komplexním hodnocení je zjištění tepelně-technických vlastností otvorové výplně, nejlépe autorizovaným měřením podle ČSN EN ISO 12567. Pokud tyto údaje nejsou k dispozici, je možné aplikovat zjednodušený výpočet podle ČSN EN ISO 10077. Z důvodu požadavků navazujících analýz je nutné znát součinitel prostupu tepla nejen celé otvorové výplně, ale i samostatně pro zasklení a rám. Aby bylo možné aplikovat údaje vztahující se k životnímu cyklu, je nutné mít podrobně znalosti i o konstrukci otvorové výplně, zejména o použitých materiálech a jejich množstvích. Pro ekonomické výpočty je třeba znát nároky na údržbu a samozřejmě také celkovou výši investičních nákladů, vztahující se k otvorovým výplním. Veškeré údaje by měl mít dodavatel nebo výrobce k dispozici, případně by měli být přímo uváděny v jeho materiálech, nebo by měly být z těchto materiálů odvoditelné.

Tepelně-technické vlastnosti je třeba doplnit základními údaji o budově, kde bude otvorová výplň instalována. Tyto údaje musí být dostatečným podkladem pro provedení výpočtů energetické bilance. Musí být zřejmé užití vnitřních prostor, aby bylo možné aplikovat nároky na vnitřní prostředí. Údaje o vnějším prostředí musí umožňovat zjištění tepelných ztrát spotřeby tepla a solárních zisků podle postupu v kapitole 5.1.2. Je třeba také znát systém vytápění a zohlednit jej ve výpočtu pomocí vztahu 20. Při započtení tepelných ztrát z výměny vzduchu je nutné vycházet z hygienických požadavků a za určitých podmínek zahrnout i tepelnou ztrátu infiltrací, pokud je konstrukce otvorové výplně taková, že to umožňuje, což odpovídá závěrům kapitoly 3.2.2. Výsledkem výpočtu je energetické bilance otvorové výplně podle vzorce 21.

Na výpočty energetické bilance navazuje porovnání s nároky na vnitřní prostředí budovy. Protože podstatou postupu je hodnocení tepelně-technických vlastností, není nutné se zabývat akustickými a optickými vlastnostmi otvorové výplně, pokud to není požadováno. Během tohoto kroku je výpočtem zjištěna povrchová teplota rámu a zasklení. Z důvodu porovnatelnosti je optimální užit postup dle ČSN EN ISO 10077 a hodnoty porovnat s tabulkou 4. Lze využít i autorizovaného měření případně počítačového modelu. Parametry vnějšího a vnitřního prostředí se odvozují ze znalostí o budově a venkovním prostředí – z důvodu porovnatelnosti je vhodné vycházet z výpočtových hodnot ČSN 06 0210. V žádném případě nesmí dojít k situaci, kdy by povrchová teplota na jakékoliv části povrchu otvorové výplně klesla pod teplotu rosného bodu, což je jeden ze základních požadavků normy ČSN 73 0540. Z navržených variant se v tomto kroku vyloučí ty, které nesplňují požadavky povrchové teploty. Z důvodu tepelné pohody se považuje za optimální, pokud je povrchová teplota otvorové výplně co nevyšší.

Energetické úspory se zjišťují na základě porovnání energetické bilance stávajícího stavu, který vychází ze znalostí o budově a navržených variant. Potřebné údaje byly získány v předchozích krocích. Pokud se jedná o novou stavbu, je možné zjistit energetické úspory z porovnání jednotlivých variant, případně porovnáním s minimálními požadavky ČSN 73 0540. Postup při porovnání s minimálními normovanými hodnotami byl použit i v modelové studii životního cyklu v kapitole 6. Energetické úspory se vyčísľují jak k jednomu roku, zejména ze účelem využití k ekonomickému hodnocení, tak k celé době

životnosti výrobku, aby byly porovnatelné s ostatními údaji vztahujícími se k celému životnímu cyklu.

Údaje z energetických úspor jsou podkladem pro dvě paralelně prováděná hodnocení: pro hodnocení z pohledu životního prostředí a pro základní ekonomické hodnocení.

Základní ekonomické hodnocení vychází ze vztahu 25, kdy se za roční výnos považují roční energetické úspory, respektive finanční úspora, která z nich vychází, snížená o roční náklady na údržbu podle navrženého vztahu 16, který zohledňuje unikátní nároky dřevěných částí otvorové výplně. Dalším vstupem do tohoto stupně hodnocení jsou investiční náklady. Výsledkem je prostá doba návratnosti jednotlivých variant řešení. Pokud je u některé z variant doba návratnosti vyšší než doba životnosti, tak se automaticky vyřazuje z dalšího hodnocení. Bouška (1997) považuje za optimální dobu návratnosti u energeticko-úsporných opatření obecně 6 let. Varianty z prostou dobou návratnosti do 6 let by měly být v dalším postupu výrazně upřednostňovány.

U hodnocení z pohledu životního prostředí se vychází z dosažených energetických úspor za dobu životnosti otvorové výplně a znalostech o způsobu vytápění v konkrétní budově. Klíčové emise se pak zjišťují postupem podle přílohy č. 8 k vyhlášce č. 213/2001 Sb. a přílohy č. 5 k nařízení vlády č. 352/2002 Sb. Pokud je zdrojem tepelné energie elektřina, je nutné aplikovat emisní faktory, které udává ČEZ (2007).

Druhým krokem tohoto stupně hodnocení je zahrnutí údajů o životním cyklu výrobku. Z výše uvedených údajů je nutné vycházet ze zjednodušených předpokladů. Výrobek se pro účely analýzy rozloží na jednotlivé materiály a k nim jsou přiřčeny jednak měrné emise, jednak měrné spotřeby energií, pokud jsou takovéto údaje k dispozici. Lze také využít výsledky již provedených studií. Protože výsledky jednotlivých studií se mohou velmi výrazně lišit, je nejvhodnější použít výsledky jedné studie, případně jedné databáze. Výsledky se používají pouze za účelem srovnání a tudíž nejsou důležité konkrétní údaje, ale jejich vzájemná porovnatelnost. Pracuje se již s měrnými hodnotami nebo výsledky studií a není tudíž třeba provádět alokační výpočty. Pokud se porovnává dřevěná otvorová výplň s alternativou, ať už se jedná o dřevo v kombinaci s jiným materiálem, plastem nebo kovem, musí být do bilance CO<sub>2</sub> zahrnuta produkce dřeva jako suroviny, optimálně postupem popsaným v kapitole 6.

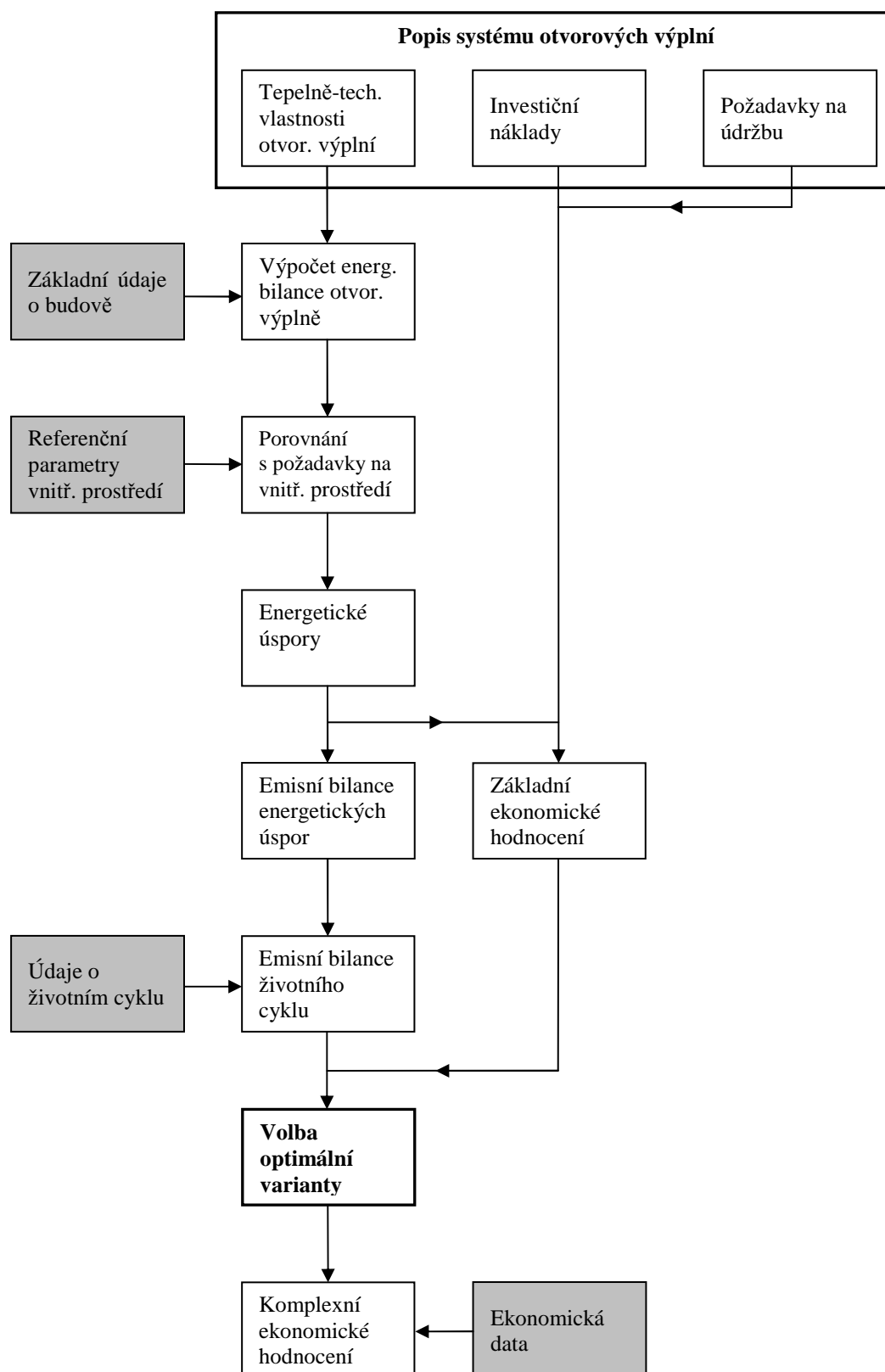
Na závěr se zjištěné emisní hodnoty spojí do jedné bilance, přičemž emise z energetických úspor a množství CO<sub>2</sub> z produkce dřeva jako suroviny jsou hodnoceny jako záporné. Poté je proveden přepočít na jednotlivá dopadová kritéria, kdy lze užít postup podle ČSN EN ISO 14042 a přepočtové koeficienty Jensena *et al.* (1997). Varianty řešení se pak seřadí podle dosažené emisní bilance, kdy se může akcentovat jeden dílčí dopadový parametr nebo sestavit pořadí ve všech kategoriích a použít pak průměrnou hodnotu.

Pořadí variant ze základního hodnocení a z hodnocení z pohledu životního prostředí jsou vzájemně porovnávány. Prvním krokem je vyloučení nejhorších variant z obou hodnocení a na ně navazuje stanovení průměrného pořadí pro jednotlivé varianty, případně je možné jedno z hodnocení akcentovat aplikací váhových kritérií. Výstupem může být buď jedna nebo dvě varianty, které jsou dále analyzovány.

Posledním krokem je komplexní ekonomické hodnocení. Rozsah tohoto kroku lze nastavit podle potřeby, měl by však obsahovat minimálně hodnoty požadované vyhláškou č. 213/2001 Sb. Optimálně by mělo být provedeno komplexní ekonomické hodnocení podle postupu popsaného v kapitole 5.2.1., zejména pokud se porovnávají 2 varianty. Pro další hodnoty nutné k ekonomickému hodnocení lze užít údaje z Dahnsveena (2003).

Vstupní údaje	Postup	Výstupy
	<b>Popis systému otvorových výplní</b>	$U_w, U_d, U_g, U_f, i, C_{ib}$ životnost, rozměry, materiál
$U_w, U_d, g, i, \Delta t$ , parametry vnitřního a vnějšího prostředí	<b>Výpočet energetické bilance otvor. výplně</b> např. rovnice 22, ČSN 06 0210	$Q_w$
$U_g, U_f, \theta_{im}, \theta_{sIn}, \varphi_i$	<b>Porovnání s požadavky na vnitřní prostředí</b> postup podle ČSN EN ISO 10077-1, porovnání s tabulkou 4	vyloučení nevyhovujících variant
$Q_w, d, \varepsilon$ , životnost parametry vnitřního a vnějšího prostředí	<b>Energetické úspory</b> např. rovnice 20, 21, 24, ČSN 06 0210, ČSN 73 0548, ČSN 73 0542, ČSN EN 832	$E_r$
$E_r$ , popis vytápění, emisní faktory	<b>Emisní bilance energetických úspor</b> ČSN EN ISO 14 042, příloha 16, příloha č. 8 k vyhlášce č. 213/2001 Sb., příloha č. 5 k nařízení vlády č. 352/2002 Sb.	např. GWP, acidif. potenciál, EP
měrné emise, životnost, rozměry, materiál	<b>Emisní bilance životního cyklu</b> ČSN EN ISO 14 042	např. GWP, acidif. potenciál, EP
$C_{ib}, I, V$ ,	<b>Základní ekonomické hodnocení</b> např. rovnice 25, 30	$T$
GWP, acidif. potenciál, EP, $T$	<b>Volba optimální varianty</b>	vyloučení nevyhovujících variant
např. $T, D, Q, B, I, r$ , $n, t$	<b>Komplexní ekonomické hodnocení</b> např. rovnice 26 – 29, vyhláška č. 213/2001 Sb.	$X, NPV, NPVQ, Cash$ Flow, vyloučení nevyhovujících variant

Tab. 17 – shrnutí postupu komplexního hodnocení



Obr. 35 schéma komplexního hodnocení



### **7.2.3. Použití komplexního hodnocení**

Výše uvedený postup slouží pro hodnocení aplikace otvorových výplní v konkrétním objektu, kdy se investor, případně jiný zainteresovaný subjekt, rozhoduje mezi jednou či více variantami řešení. Výsledky jsou uplatnitelné v rámci nejběžnějšího hodnocení, kterým je energetický audit podle č. 213/2001 Sb. Ideově se vychází z metody LCA, kterou popsané postupy výrazným způsobem doplňují, například o problematiku vlivu na vnitřní prostředí, zpřesňují v oblasti energetické bilance samotného výrobku a rozšiřují o základní ekonomické hodnocení pro základní rozhodovací a selektivní proces a komplexní ekonomické hodnocení zvolené varianty.

Přestože se ve významné míře využívá přístupu LCA, nelze výsledky studie považovat za ekvivalent plnohodnotné ani zjednodušené LCA a prezentovat je tímto způsobem. Klíčovou překážkou je nejednotnost dostupných vstupních údajů. Do budoucna lze očekávat, že tento problém může být řešen v souvislosti s vydáváním BREF nebo analogických veřejně dostupných dokumentů Evropské komise, kde budou k dispozici validované měrné emise a energetická náročnost pro vybrané průmyslové činnosti.

Největší přínos komplexního hodnocení spočívá v nové interpretaci energetických úspor, kterého je dosaženo zahrnutím jejich emisní bilance do hodnocení celého životního cyklu. Tím je dosaženo zpřesnění rozhodovacího procesu investora a umožňuje mu zvolit výrobek, který je nejen ekonomicky nejvýhodnější, ale také má nejmenší vliv na životní prostředí.

## **8. Závěr**

Pro účely práce byl proveden sběr širokého spektra dílčích poznatků o tepelně-technických vlastnostech dřevěných otvorových výplní a systémech jejich hodnocení. Získané poznatky byly analyzovány postupy vytvořenými z velké části pro účely této práce. Klíčovými parametry pro hodnocení byly komplexnost hodnoceného postupu, zejména ve vztahu vlivu životního cyklu otvorové výplně na životní prostředí a praktická použitelnost pro praxi. Na základě zjištěných poznatků byl vytvořen systém komplexního hodnocení, které vychází z postupu, který se nejvíce blížil požadovanému optimu.

Cíle práce bylo dosaženo v následujících oblastech:

- Podařilo se dosáhnout hlubšího porozumění hodnocení tepelně-technických vlastností dřevěných otvorových výplní ve vztahu k metodám posuzování vlastností stavebních prvků, vnitřního prostředí, energetické náročnosti staveb a životního cyklu výrobku se zvláštním důrazem na problematiku dřevařské výroby.
- Z běžných a alternativních metod hodnocení tepelně-technických vlastností byla pomocí postupu, navrženého pro účely této práce, vybrána ta, která se podle zvolených kritérií jeví jako neoptimálnější.
- Na základě provedených technických a systémových analýz byl navržen optimální postup, jak hodnotit tepelně-technické vlastnosti dřevěných otvorových výplní.
- Byly získány nové poznatky v oblasti kvantifikace vlivů jednotlivých fází životního cyklu otvorových výplní na životné prostředí, vyčíslování ekonomických parametrů údržby a postupů systémové analýzy hodnocení tepelně-technických vlastností.

Při zpracovávání tématu bylo nutné věnovat značnou pozornost sběru údajů a jejich zpracování. Problematika není pokryta monografiemi, ale převážně řešena v rámci odborných článků, sborníků a publikací zaměřených na jednotlivé dílčí problémy energetické náročnosti budov nebo dřevařské výroby obecně. Výjimku tvoří nejnovější publikace Puškára (2003).

Práci na problému jsem rozdělil do dvou úrovní. Na úrovni technické byl postupně proveden rozbor jednotlivých problémů vztahujících se k tepelně-technickým vlastnostem a zformulovány dílčí závěry jak u řešených problémů i celých kapitol. Úzce navazovala druhá – systémová část, kde jsem vytvořil jednoduchý systém, jak hodnotit pokrytí jednotlivých oblastí řešených v technické části práce. V závěrečné části jsem využil získaných technických a systémových poznatků k návrhu optimálního postupu při hodnocení tepelně-technických vlastností.

Otvorové výplně mají značný a komplexní vliv na většinu složek mikroklimatu. Vztah mezi mikroklimatem a vnějšími vlivy, stejně tak jako interakci mezi jednotlivými složkami mikroklimatu, řeší Jokl (1998). Podrobné řešení těchto problémů přesahuje rámec práce, lze však konstatovat, že snaha o soustavné zlepšování tepelně-technických vlastností se příznivě projevuje v kvalitě vnitřního prostředí, zejména poklesem povrchové teploty a zamezením tzv. studenému sálání. Problematická však zůstává oblast vztahu tepelně-vlhkostního mikroklimatu, větrání a spárové infiltrace, jak ukazují nové práce Cihláře (2005), Bahuly (2005), Rouleta (2001) a Klepárníka (2005).

Tepelně-technické vlastnosti zahrnují tradičně ty charakteristiky otvorové výplně, která souvisí s energetickými toky. Jejich vymezení a způsobem zjišťování se zabývá Puškár (2003) a zahrnují součinitel prostupu tepla, povrchovou teplotu a průvzdušnost. Vlastnosti otvorových výplní se zjišťují normalizovanými zkouškami v akreditovaných zkušebnách, problematice se blíže věnuje Polášek (2001). Otvorové výplně se zásadním způsobem podílí

na tepelné charakteristice budovy, avšak souvisejí i s řadou dalších vlastností. Například optické vlastnosti otvorových výplní výrazným způsobem ovlivňují vnitřní mikroklima a energetickou bilanci budovy. Mezi nejvýznamější vlastnosti otvorových výplní jsem nově začlenil i životnost. Tepelně-technické vlastnosti hrají svoji roli také v procesu posuzování shody podle české a evropské legislativy.

Konstrukce a použitý materiál mají zásadní vliv na tepelné toky otvorovou výplní a její tepelně-technické vlastnosti. V práci je rozebrán vliv jednotlivých částí otvorových výplní na jeho tepelně-technické vlastnosti – zejména vztah mezi zasklením a rámem u oken. Dřevo je unikátní materiál nejen díky své obnovitelnosti, ale také díky způsobu vedení tepla a specifickými nároky na zpracování a výrobní procesy. Přestože výroba, údržba a zneškodnění nejsou běžně dávána do přímé souvislosti s tepelně-technickými vlastnostmi, tato práce se snaží tento pohled změnit a zkoumat tepelně-technické vlastnosti z pohledu celého životního cyklu. Z důvodu absence odpovídajících postupů jsem pro účely práce na podkladě dílčích poznatků z literatury vytvořil vztah pro vyčíslování nákladů pro údržbu dřevěných oken pro potřeby navazujících ekonomických hodnocení.

Postupů jak hodnotit tepelně-technické vlastnosti je celá řada. Pro hodnocení byly vybrány ty nejbližší technické praxi, většinou napojené na problematiku energetických auditů a jejich zahraničních alternativ, zejména vycházející z publikací Bouška (1997), Dahnsveena (2003), Thumanna *et* Youngera (2003) a odpovídajících norem a legislativních předpisů. Alternativou je hodnocení celého životního cyklu metodou LCA (Remtová, 2003) nebo čistě ekonomickými postupy.

Životnímu cyklu výrobku je věnována v rámci práce značná pozornost a to zejména metodě LCA, která je normalizována a navazuje na další environmentální nástroje jako je ekolabeling a environmentální management. LCA je produktově orientovaný nástroj environmentálního managementu, který pomáhá zákazníkům, producentům a vládním orgánům v jejich rozhodování. Je považován za jeden z nejdůležitějších nástrojů environmentální politiky k určení negativních vlivů výrobku nebo služby na životní prostředí (Remtová, 2003). V rámci práce jsem provedl rámcovou studii k ověření aplikovatelnosti LCA na oblast otvorových výplní.

V systémové části práce jsem provedl rozbor, jakým způsobem zohledňují metody hodnocení jednotlivé předtím analyzované oblasti. Byl vybrán jednoduchý statistický ukazatel a navrhl jsem stupnice hodnocení pokrytí dílčích oblastí a také paralelně provedl analýza konzistence. Postupy vychází a rozvádí předchozí studie zpracované Folientem (2006), Hájkem (2006) a Rohlesem *et al.* (1989). Výsledky práce prokázaly, že metoda LCA se nejvíce blíží požadovanému optimu – komplexnímu hodnocení.

V závěru práce jsem metodu LCA doplnil o některé další oblasti hodnocení a výstupy vycházející z předchozích závěrů a poznatků. Při doplňování byly upřednostňovány normové postupy navazující na českou legislativu z důvodu přehlednosti, široké použitelnosti a dostupnosti vstupních údajů.

Přestože byla prokázána značná náročnost provádění analýzy životního cyklu, jsou výsledky mého rozboru použitelné pro získání širšího pohledu na tepelně-technické vlastnosti dřevěných otvorových výplní a objasnění provázanosti dosahovaných energetických úspor se zpracováním a produkcí dřeva jako suroviny.

Z hlediska rozvoje vědy mohou dosažené výsledky, navržené postupy a výsledky dílčích analýz, které jsem provedl v rámci práce, sloužit jako podklad pro další navazující studie, zkoumající vztahy mezi produkcí dřeva jako vstupní suroviny a výrobou a užíváním dřevěných

výrobků v rámci snahy minimalizovat vliv člověka na životní prostředí, aniž by byla negativně ovlivněna jeho kvalita života.

Pro praxi v oblasti hodnocení tepelně-technických vlastností a dřevařské výroby jsou výsledky práce přínosem zejména z důvodu, že navržené postupy jsou aplikovatelné v širokém rozsahu běžně používaných postupů, zejména při provádění energetických auditů, ekonomických a environmentálních analýz souvisejících s dřevěnými otvorovými výplněmi, pro hodnocení životního cyklu a při prosazování dřeva jako materiálu z nejmenšími negativními dopady na životní prostředí v rámci marketingu.

## **9. Summary**

The goal of this thesis was to achieve deeper understanding of thermal parameters of wooden windows and doors and their relation to testing methods, indoor environment, energy performance and life cycle assessment. The aim was to choose the assessment method, which is the most complex and to design the complex assessment procedure based on chosen method.

During the processing of the thesis special attention was paid to data collection and its processing. Needed data are usually obtained from various resources, which are rarely directly connected with the theme of the thesis.

Research had two levels. The first one was focused on technical problems related to thermal performance and the second level was focused on system problems. The simple assessment system based on statistical parameter was developed in order to evaluate how various assessment methods cover areas described in technical part of the work. Both technical and system knowledge are used for design of optimal complex assessment.

Windows and doors have significant and complex impact on internal environment of buildings. The main thermal parameter that has influence on indoor environment is surface temperature. Thanks to constantly improving U – value of windows and doors surface temperature is also improving. The relation among indoor condition, ventilation and air permeability remains controversial issue.

Thermal performance represents group of qualities, which are related to energy characteristics of buildings like U-value, air permeability and surface temperature. The qualities of these products are tested in accredited labs. The qualities of windows and doors have huge impact on energy performance of buildings and their indoor environment. In this thesis common qualities are supplemented with lifespan.

The construction and used material has direct connection to the thermal performance of wooden doors and windows. Part of the thesis is the analysis of relationship between a frame and glazing. Wood is unique material thanks to its renew ability, the way of heat conduction and specific requirements on its manufacturing, usage and disposal. This thesis had ambition to find connection between life cycle parameters and thermal performance.

There are many methods how to assess thermal performance. The most common were analyzed for this study. They are mostly connected with the problematic of energy auditing, Life Cycle Assessment (LCA) or based purely on economical principles.

Special attention is paid to LCA, which is the method how to assess the whole life cycle of the product. The reason is specific nature of wood as material. The main parameter of LCA is the influence of various parts of life span to the Environment. The general life cycle study of wooden frame was made as a part of this study in order to examine if the rules and method can be easily used in the field of wood processing and usage of wooden products.

The analysis of complexity of various assessment methods was performed in system part of the work. The task of the analysis was to find out how methods cover fields areas mentioned in technical part of the study. Life Cycle Assessment was found to be the most complex method of assessment – The chosen method is used as a fundament for complex assessment with the addition of chosen parts of other methods in order to compensate its weaknesses. Standardized methods were preferred to achieve the most comparable results and to ensure the best access to input data.

## 10. Literatura

### Monografie a články

#### A

ASIF, M., DAVIDSON, A., MUNEER, T., 1998. *Life Cycle of Window Materials – a Comparative Assessment*, School of Engineering, Napier University Edinburgh

AL-HAJJAR, N., 2002. *Zkoušení izolačních skel – prostup tepla, vnitřní povrchové teploty a úspory energie na vytápění*. 4, mezinárodní konference: Tepelná ochrana budov, Praha

#### B

BAHULA, Josef, RYŠÁNEK, Antonín., 2005. Požadavky na okna, způsoby osazení oken ve stavbě. *Hranice - Dřevěná okna, dveře, schody 2006: přednášky 2001 - 2006*. [CD-ROM]. Hranice: SPŠ Hranice 2006,

BOUSTEAD, Ian., 2002. Posuzování životního cyklu. *Envinmentální aspekty podnikání 1/2002*, CEMC, 4 strany

BYSTRICKÝ, V., KAŇKA, J.. 1999. *Osvětlení*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 82 stran, ISBN 80-01-01585-8

BLUŽOVSKÝ, Zdeněk., 2005. Souvislosti vývoje cen surového dříví. Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, 44 stran, ISBN 80-86461-44-0

BERANOVSKÝ, J., SRDEČNÝ, K., TRUXA, J.. 2001. Energetické audity – zákony a praxe. *TZB-Info* [online]. 29.8.2001 [cit. 15.6.2004]. Dostupné z <<http://www.tzb-info.cz/t.py?t=2&i=643>>

BAŠTA, Jiří. 2001. *Otopné plochy*. 1. vydání, Praha: ČVUT, 328 stran, ISBN 80-01-2365

BODIG, Jozsef a JAYNE, Benjamin A.. 1993. *Mechanics of Wood and Wood Composites*. 1. vydání, Malabar, Florida: Krieger, 712 stran

BOUŠKA, Jan. 1997. *Metodika energetického auditu*. 1. vydání. Praha: ČEA, 76 stran

BOUŠKA, Jan. 1997. *Zásady návrhu hospodárných opatření ve zdrojích, rozvodech a při spotřebě energií a typová řešení energetických auditů*. 1. vydání. Praha: ČEA, 80 stran

BERG, Staffan. 1995. The Environmental Load of Fossil Fuels in Swedish Forestry – An Inventory for a LCA. *Life-Cycle Analysis – A Challenge for Forestry and Forest Industry*. EFI Proceedings No. 8, ISBN 952-9844-78-6

BÖRJESSON Pål a GUSTAVSSON Leif, 2000. Greenhouse gas balances in building construction: wood versus concrete from life-cycle and forest land-use perspectives, *Energy Policy*, Volume 28, Issue 9, 31 July 2000, Strana 575-588.

BUCHANAN A.H., HONEY, B.G.. 1994. Energy and carbon dioxide indications of building construction. *Energy and Buildings*, 20 (1994), strana 205-217

BREF. 2006. Coating of furniture and wood materials. In *Integrated Pollution Prevention and Control – Draft Reference on Best Available Techniques on Surface Treatment using Organic Solvents*. Sevilla – Spain: European Commission Directorate – General Joint Research Centre. strana 339 - 366

#### C

- CÔTÉ W. A., YOUNG R. J., RISSE K. B., COSTANZA A. F., TONELLI J. P. a LENOCKER C., 2002. A carbon balance method for paper and wood products, *Environmental Pollution*, Volume 116, Supplement 1, March 2002, strana 1-6.
- CIHLÁŘ, Jiří a GABAUER, Gunter. 1995. *Technická zařízení budov – C – Vzduchotechnika*. Brno: CERM, s.r.o., 206 stran, ISBN 80-85867-67-2
- CIHLÁŘ, Jiří, GABAUER, Gunter, PEČINKOVÁ, Marcela. 1998. *Technická zařízení budov – Ústřední vytápění I*. Brno: CERM, s.r.o., 238 stran, ISBN 80-214-1142-2
- CIHELKA J. a kol. 1985. *Vytápění, větrání a klimatizace*, Praha: SNTL
- ČESKÁ ENERGETICKÁ AGENTURA. 2002. Klimatologické údaje (do 1. poloviny 2001). *ceacr.cz* [online]. [cit. 15.6.2004]. Dostupné z <<http://www.ceacr.cz/?download=2002/2186.pdf>>
- ČESKÁ ENERGETICKÁ AGENTURA. 2001. Katalog klíčových hodnot budov. *ceacr.cz* [online]. [cit. 15.6.2004]. Dostupné z <<http://www.ceacr.cz/?download=2001/1183.pdf>>
- ČESKÁ ENERGETICKÁ AGENTURA. 2000. Externality úspor energie. *ceacr.cz* [online]. [cit. 11.3.2005]. Dostupné z <<http://www.ceacr.cz/?download=2000/008105.pdf>>
- ČESKÁ ENERGETICKÁ AGENTURA. 2001. Ekonomické posuzování energeticky úsporných opatření v budovách. *ceacr.cz* [online]. [cit. 23.12.2003]. Dostupné z <<http://www.ceacr.cz/?download=2001/1182.pdf>>
- ČESKÁ ENERGETICKÁ AGENTURA. 2002. Environmentální hodnocení v rámci energetických auditů. *ceacr.cz* [online]. [cit. 1.7.2005]. Dostupné z <<http://www.ceacr.cz/?download=2002/2182.pdf>>
- ČESKÁ ENERGETICKÁ AGENTURA. 2000. Snižování energetické náročnosti v odvětví průmyslu zpracování dřeva. *ceacr.cz* [online]. [cit. 15.11.2003]. Dostupné z <<http://www.ceacr.cz/?download=2000/008154.pdf>>
- ČESKOSLOVENSKÁ AKADEMIE VĚD. 1987. *Malá československá encyklopedie*. 1. vydání. Praha: Academia, 76-0605-21-095-87
- ČULÍK, Martin a STUDENÝ, Ladislav. 2006. Aktuální trendy povrchových úprav stavebně truhlářských výrobků. In *Dřevěná okna, dveře, schody 2006: navrhování, výroba, zkoušení, použití*. 1. vydání. Brno: Lynx, ISBN 80-86787-09-5
- ČULÍK, Martin. 2005. Úvod do obecné problematiky renovačních nátěrů stavebně truhlářských výrobků za využití technologií Sikkens. *Hranice - Dřevěná okna, dveře, schody 2006: přednášky 2001 - 2006*. [CD-ROM]. Hranice: SPŠ Hranice 2006
- COOPER, D. a ZETTERBERGER, L. 1994. *Swedish Forest Industry's emissions and uptake of greenhouse gases*. Gothenburg. An assessment of the Forest Industry's contribution to the greenhouse effect
- D
- DAHLSVEEN, Trond. 2003. *Energetický audit budov*. 1. vydání, Bratislava: JAGA Group v.o.s., 294 stran, ISBN 80-88905-86-9
- DOČKAL, Martin. 2000. Odpady a recyklace – skládkový plyn. *www.cvut.cz* [online]. [cit. 15.11.2006]. Dostupné z <[http://storm.fsv.cvut.cz/on\\_line/os10\\_os20\\_ohos/07.pdf](http://storm.fsv.cvut.cz/on_line/os10_os20_ohos/07.pdf)>
- DE FEYTER, S.. 1995. Handling of the Carbon Balance of Forests in LCA. *Life-Cycle Analysis – A Challenge for Forestry and Forest Industry*. EFI Proceedings No. 8, ISBN 952-9844-78-6

DUTITH, C. E. a VIS J.C.. 2004. Energy Data in Environmental LCA. *LCA - news* issue 4 (2004)

DEJMAL, A.. 1995. *Základy hydrotermické úpravy a ochrany dřeva*. 1. vydání, Brno: MZLU LDF, 196 stran, ISBN 80-7157-163

E

F

FRUHWALD, Arno. 1995. LCA – A Challenge for Forestry and Forest Products Industry. *Life-Cycle Analysis – A Challenge for Forestry and Forest Industry*. EFI Proceedings No. 8, ISBN 952-9844-78-6

FRACASTORO G.V., MUTANI G., PERINO M.. 2002. Experimental and theoretical analysis of natural ventilation by windows opening. *Energy and Buildings* 34 (2002), strana 817 – 827

FOLIENSTE, Greg, SENGWON, Seo a SELWYN Tucker. 2006. Guide to Environmental Design and Assessment Tools. *Australian Performance Based Building Network* [online]. [cit. 26.10.2006]. Dostupné z: <<http://www.auspebbu.org/page.cfm?cid=32>>.

FAVA, J. A., SENNER J. J., KIRKPATRICK, N.. 1996. *Life Cycle Inventory Analysis – User's Guide*. American Forest and Paper Association.

FIALA, David. 2002. Problematika výroby EURO oken z polotovarů. *Hranice - Dřevěná okna, dveře, schody 2006: přednášky 2001 - 2006*. [CD-ROM]. Hranice: SPŠ Hranice 2006

FULLER, S.K. a PETERSEN, S.R.. 1996. *Life-Cycle Costing Manual*. Building and Fire Research Laboratory – NIST Handbooks, Gaithersburg.

FRÍBERT, David a POKLUDA, Jaroslav. 2005. Produkty firmy Henkel v oblasti výroby a montáží oken a dveří – novinky v oblasti montážních prvků. *Hranice - Dřevěná okna, dveře, schody 2006: přednášky 2001 - 2006*. [CD-ROM]. Hranice: SPŠ Hranice 2006

FRÍBERT, David a POKLUDA, Jaroslav. 2006. Novinky od firmy Henkel pro montáže oken a dveří. In *Dřevěná okna, dveře schody 2006*, 1. vydání, Brno: Lynx, 126 stran, ISBN 80-86787-09-5

G

GANDELOVÁ, Libuše, HORÁČEK, Petr a ŠLEZINGEROVÁ, Jarmila. 2002. *Nauka o dřevě*. 1. vydání, MZLU: Brno, 176 stran, ISBN 80-7157-577-1

GLOVER, Joanna. 2001. Which is better? Steel, Concrete or Wood: A Comparison of Assessment on Three Building Materials in the Housing Sector. *Department of Chemical Engineering University of Sydney* [online]. [12.4.2006]. Dostupné z <<http://www.boralgreen.shares.green.net.au/research3/contents.htm>>

GRASSER, Ch.. IX. Holz. 1994. In: *Okoinventare fur Energiesysteme*. Grundlagen fur den okologische Vergleich van Energiesystemen und der Einbezug van Energiesystemen in okobilanzen fur die Schweiz. Bundesamt fur Energiewirtschaft.

H

HELEGDA, Milan. 2005. Posuzování shody stavebně truhlářských výrobků po vstupu ČR do EU, *Hranice - Dřevěná okna, dveře, schody 2006: přednášky 2001 - 2006*. [CD-ROM]. Hranice: SPŠ Hranice 2006



- HÁJEK, Petr. 2006. Metodika pro komplexní hodnocení kvality budov v rámci životního cyklu. ČVUT v Praze – FSv, *substance.cz* [online]. [cit. 26.10.2006]. Dostupné z <<http://www.substance.cz/soubory/Metodika.pdf>>.
- HELEGDA, Milan. 2002. Přípravované evropské normy pro okna a dveře a jejich důsledky pro výrobce. *Hranice - Dřevěná okna, dveře, schody 2006: přednášky 2001 - 2006*. [CD-ROM]. Hranice: SPŠ Hranice 2006
- HÁJEK, Václav. 2002. *Konstrukce pozemních staveb – Kompletační konstrukce*. 2. vydání, Praha: Vydavatelství ČVUT, 376 stran, ISBN 80-01-02506-3
- HLOUŠEK, Jiří a kolektiv. 1999. *Termomechanika*. 2. vydání, Brno: PC-DIR Real s.r.o., 297 stran. ISBN 80-214-1720-X
- HÁJEK, Václav. 2004. Vliv nových normových požadavků na změny konstrukcí současných otvorových výplní. *Stavební listy 5-6/2004*, Ročník X, ISSN 1211 – 4790
- HUJNÁK, J.. 1994. *Dřevěné stavby I – Výroba dřevěných stavebních konstrukcí*. 1. vydání, Brno: MZLU LDF, 272 stran, ISBN 80-7157-110-5
- HRÁZKÝ, J., KRÁL, P.. 1999. *Využití dřevních a jiných lignocelulózových odpadů*. 1. vydání, Brno: MZLU LDF, 98 stran, ISBN 80-7157-403-1
- HRÁZKÝ, J., KRÁL, P.. 2000. *Technologie výroby aglomerovaných materiálů*. 1. vydání, Brno: MZLU LDF, 218 stran, ISBN 80-7157-428-7
- HOLICKÝ, Milan. 1998. *Zásady ověřování spolehlivosti a životnosti staveb*. 1. vydání, Praha: Vydavatelství ČVUT, 101 stran, ISBN 80-01-01880-6
- HEIJUNGS, Reinout a kol.. 1996. *Life Cycle Assessment*. vydání, Paříž: UN Environment Programme, 94 stran, ISBN 92-807-1546-1
- HEMERKA, Jiří, HRDLÍČKA, František. 2004. Emise z kotlen a ochrana ovzduší, *TZB-Info* [online]. 20.12.2004 [cit. 15.9.2005]. Dostupné z <<http://www.tzb-info.cz/t.py?t=2&i=2294>>
- HRADSKÝ, Evžen. 2006. Současné trendy v povrchové úpravě oken. Publikováno 2001. *Hranice - Dřevěná okna, dveře, schody 2006: přednášky 2001 - 2006*. [CD-ROM]. Hranice: SPŠ Hranice.
- HOLÁŠEK, Milan. 2006. Strojní vybavení od firem WEINIG a Stegherr. Publikováno 2003. *Hranice - Dřevěná okna, dveře, schody 2006: přednášky 2001 - 2006*. [CD-ROM]. Hranice: SPŠ Hranice.
- HOLÁŠEK, Milan. 2006. Čtyřstranné frézky WEINIG určené pro výrobce oken. Publikováno 2005. *Hranice - Dřevěná okna, dveře, schody 2006: přednášky 2001 - 2006*. [CD-ROM]. Hranice: SPŠ Hranice.
- Ch
- CHMŮRNY, I.. 2004. Vplyv vlastností okna na potrebu tepla pri vykurovaní budov. *Vytápění větrání instalace 5/2004*
- CHEVALIER, Jean-Luc. 2002. Environmental Performance Assesment of Glazing and Windows International Environmental Agency. [cit. 12.11.2003]. Dostupné z: <<http://www.pre.nl/LCAsearch/default.htm>>
- INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. 2001. LCA Methods for Building. *Annex 31/ International Energy Agency*. [cit. 3.2.2004]. Dostupné z: <<http://www.pre.nl/LCAsearch/default.htm>>

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON GLOBAL CHANGE, 2000, Special Report – Land Use, Land-Use Change and Forestry, ISBN: 92-9169-114-3

INSTITUTE OF STRATEGY, TECHNOLOGY AND POLICY. 2004. Life Cycle Assessment of PVC and of competing materials, *European Commission* [online], [cit. 11.3.2005]. Dostupné z <[http://ec.europa.eu/enterprise/chemicals/sustdev/pvc\\_en.htm](http://ec.europa.eu/enterprise/chemicals/sustdev/pvc_en.htm) >

J

JOKL, Miroslav. 1998. Jsou energetické úspory skutečně přínosem?. *Topenářství a instalace* 6/1998, Technické vydavatelství Praha s.r.o, 4 strany

JOKL, Miroslav. 1993. *Teorie vnitřního prostředí budov*. 1. vydání, Praha: Vydavatelství ČVUT, 260 stran, ISBN 80-01-00481-3

JOKL, Miroslav. 1999. Tepelně-vlhkostní mikroklima v interiéru dle našich a evropských předpisů. *Topenářství a instalace* 6/1999, Technické vydavatelství Praha s.r.o, 2 strany

JÍCHA, Miroslav. 2001. *Přenos tepla a látky*. 2. vydání, Brno: CERM, s.r.o., 160 stran. ISBN 80-214-2029-4

JANÁK, K., KRÁL. P.. 2003. *Technologie I*. 1. vydání, Praha: Informatorium, 204 stran, ISBN 80-7333-003-2

JUŘÍČEK, Robert. 2005. Údržba a renovace dřevěných EURO oken. *Hranice - Dřevěná okna, dveře, schody 2006: přednášky 2001 - 2006*. [CD-ROM]. Hranice: SPŠ Hranice 2006

JENSEN, Allan a HOFFMAN, Leif. 1997. Life Cycle Assessment – A guide to approaches, experiences and information sources. *Sciencedirect.com* [online]. [25.4.2005], Dostupné z: <<http://www.sciencedirect.com>>

JANOUSKOVÁ, Svatava, HUNOVÁ, Iva a ŠANTROCH, Jaroslav. 1997. Koncepce imisních limitů pro oxidy dusíku v české legislativě. *Český hydrometeorologický ústav com* [online]. [3.2.2007], Dostupné z: <<http://www.chmi.cz>>

K

KARJALAINEN Timo, PUSSINEN Ari, KELLOMÄKI Seppo a MÄKIPÄÄ Raisa, 1999. Scenarios for the carbon balance of Finnish forests and wood products, *Environmental Science & Policy*, Volume 2, Issue 2, May 1999, strany 165-175.

KOZAK, Robert. LCA of wood products. 2001. *Workshop on Climate Change, Carbon and Forestry/ University of British Columbia*, [12.9.2003]. Dostupné z: <[http://www.cses.washington.edu/db/pdf/Peterson\\_Innes\\_CarbonWorkshop\\_Draft231.pdf](http://www.cses.washington.edu/db/pdf/Peterson_Innes_CarbonWorkshop_Draft231.pdf) >

KOTULÁN, Jiří. 2001. *Sylabus environmentálně fyziologie*. Brno, 120 stran

KLEPÁRNÍK, Jan. 1998. *Analýza konstrukčních variant oken ve vztahu k tepelně-technickým vlastnostem*. Diplomová práce, Brno, 115 stran

KLEPÁRNÍK, Jan. 2005. Okno jako prvek využívající solární zisky, *Hranice - Dřevěná okna, dveře, schody 2006: přednášky 2001 - 2006*. [CD-ROM]. Hranice: SPŠ Hranice 2006

KOZMÍK, Václav. 2005. Nové trendy v povrchové úpravě dřevěných eurooken a oken dřevo-plast a dřevo-hliník. *Hranice - Dřevěná okna, dveře, schody 2006: přednášky 2001 - 2006*. [CD-ROM]. Hranice: SPŠ Hranice 2006

KOZMÍK, Václav. 2002. Nové trendy v povrchové úpravě oken – směrnice pro hodnocení nátěrových hmot do exteriéru. *Hranice - Dřevěná okna, dveře, schody 2006: přednášky 2001 - 2006*. [CD-ROM]. Hranice: SPŠ Hranice 2006

KARPÍŠEK, Zdeněk. 2002. *Matematiky IV Statistika a pravděpodobnost*. VUT v Brně, 169 stran, ISBN 80 – 214 – 2055 - 3

## L

LISIČAN, Josef. 1996. *Teória a technika spracovania dreva*. 1. vydání. Zvolen: MATCENTRUM. 626 stran. ISBN 80-967315-6-4

LAJČÍKOVÁ, Adriana. 2004. Jak kvalita vnitřního prostředí ovlivňuje zdraví a výkonnost. *TZB-Info* [online]. 6.1.2004 [cit. 12.4.2004]. Dostupné z < <http://www.tzb-info.cz/t.py?t=2&i=1774> >

LENKER, Jaroslav a PEŠOUT, Libor. 2006. Faktory ovlivňující životnost povrchových úprav. In *Dřevěná okna, dveře, schody 2006: navrhování, výroba, zkoušení, použití*. 1. vydání. Brno: Lynx, ISBN 80-86787-09-5

LUKEŠOVÁ, Zdena, BENEŠ, Ivan, KÁRNÍK, Jan. 2005. Vliv energeticky úsporných opatření na vlastnosti staveb. *TZB-Info* [online]. 24.3.2005 [cit. 12.6.2005]. Dostupné z < <http://www.tzb-info.cz/t.py?t=2&i=2427> >

LOX, T a kolektiv. 1994. Milieubalans van voukarton. in *Opracht van Pro Carton Belgie*. Brussel: Vrije Universiteit.

## M

MATOUŠEK, Pavel. 2005. Osazování oken do stavby. *Hranice - Dřevěná okna, dveře, schody 2006: přednášky 2001 - 2006*. [CD-ROM]. Hranice: SPŠ Hranice 2006

MĚCHUROVÁ, Monika. 2005. Vliv energeticky úsporných opatření na vlastnosti staveb. *TZB-Info* [online]. 21.2.2005 [cit. 12.4.2005]. Dostupné z < <http://www.tzb-info.cz/t.py?t=2&i=2385> >

MRLÍK, František. 2000. Problematika průvzdušnosti a vzduchotěsnosti oken. *TZB-Info* [online]. 4.10.2000 [cit. 12.11.2003]. Dostupné z < <http://www.tzb-info.cz/t.py?t=2&i=332> >

MATHAUSEROVÁ, Zuzana. 2005. Kvalita vnitřního prostředí v našich předpisech – mikroklima. *TZB-Info* [online]. 18.4.2005 [cit. 12.11.2005]. Dostupné z < <http://www.tzb-info.cz/t.py?t=2&i=2470> >

MENZIES G.F., WHERRETT J.R.. 2005. Windows in the workplace: examining issues of environmental sustainability and occupant comfort in the selection of multi-glazed windows. *Energy and Buildings* 37 (2005), strana 623 – 630

MARUTZKY, R., SCHRIEVER, E, WACHSENEGGER, G. 1989. Emis slonen bei der Holzverbrennung. Int. *Holzmarkt*, 8, s. 7-9

## N

## O

OKA, T., SUZUKI, M., KONNYA, T.. 1993. The estimation of energy consumption and amount of pollutants due to the construction of buildings. *Energy and Buildings*, 19 (1993), str. 303 - 311

## P

PELTOLA J. S. P., JUHANOJA J., SALKINOJA-SALONEN M. S.. 2000. Biodegradability and waste behavior of industrial wood-based construction materials, *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology*, Volume 24, Issue 3, Mar 2000, Strany 210 – 218, ISSN 1367-5435

- PINGOUD K. , PERÄLÄ A.-L. , PUSSINEN A.. 2001. Carbon dynamics in wood products. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, Volume 6, Issue 2, Jun 2001, Page 91, ISSN 1381-2386
- PUŠKÁR, Anton a kol.. 2003 *Okna, dveře, prosklené stěny*. 1. vydání, Bratislava: Jaga group, 255 stran, ISBN 80-88905-47-8
- PUŠKÁR, Anton. 2002. Okná na bázi dreva, úspora energie a kvalita vnútorného prostredia. Publikováno 2002. *Hranice - Dřevěná okna, dveře, schody 2006: přednášky 2001 - 2006*. [CD-ROM]. Hranice: SPŠ Hranice.
- PUŠKÁR, Anton. 2005. Tepelnetechnické vlastnosti drevených okien. *Hranice - Dřevěná okna, dveře, schody 2006: přednášky 2001 - 2006*. [CD-ROM]. Hranice: SPŠ Hranice 2006
- POLÁŠEK, J.. 1996. *Názvosloví dřevěných dveří, Technologie výroby dřevěných dveří, Zkoušení dřevěných dveří*. Brno: MZLU LDF, 73 stran
- POLÁŠEK, J.. 1997. *Stavebně truhlářské výrobky a desky ze dřeva – zkušební postupy*. Brno: MZLU LDF, 126 stran
- POLÁŠEK, Josef. 2001. *Technické požadavky na okna a prohlášení o shodě*. Seminář "Dřevěná okna, dveře, schody 2001" 22 a 23 listopadu,
- POLÁŠEK, Josef. 2003. *Zkoušení nátěrových hmot a povrchových úprav: část I. Stavebně truhlářské výrobky*. 1. vydání, Brno: MZLU v Brně, 149 s. ISBN 80-7157-659-X
- PRAŽAN, Petr. 2002. Certifikace dřeva PEFC v ČR a její prokazování ve spotřebitelském řetězci a po uživatele. *Hranice - Dřevěná okna, dveře, schody 2006: přednášky 2001 - 2006*. [CD-ROM]. Hranice: SPŠ Hranice 2006
- PŘIBÁŇOVÁ, Henrietta, LAJČÍKOVÁ, Adriana. 2002. Umělé osvětlení vnitřního prostředí. *Větrání vytápění instalace 4/2002*
- PTÁČEK, Petr. 2003. NH a impregnační látky na ochranu dřeva. *Hranice - Dřevěná okna, dveře, schody 2006: přednášky 2001 - 2006*. [CD-ROM]. Hranice: SPŠ Hranice 2006
- Q
- R
- RAISNER, Jan. 2005. Poruchy dřevěných oken vyráběných v sedmdesátých a osmdesátých letech podle bývalých oborových norem. *Hranice - Dřevěná okna, dveře, schody 2006: přednášky 2001 - 2006*. [CD-ROM]. Hranice: SPŠ Hranice 2006
- ROULET, Claude-Alain. 2001. Indoor Environment Quality in Buildings and Its Impact on Outdoor Environment. *Energy and Buildings* 33/2001, strana 183 – 191
- ŘEHÁNEK, Jaroslav. 1999. Výpočet teploty vzduchu a teploty na vnitřním povrchu vnitřních konstrukcí ohraničujících místnost. *Topenářství a instalace 4/1999*, Technické vydavatelství Praha s.r.o, 3 strany
- ŘEHÁNEK, Jaroslav. 2000. Vývoj venkovní výpočtové teploty od počátku 20. století. *Topenářství a instalace 3/2000*, Technické vydavatelství Praha s.r.o, 5 stran
- RUBIN, Aleš. 2005. Vnitřní prostředí budov a tepelná pohoda člověka. *TZB-Info* [online]. 22.8.2005 [cit. 12.12.2005]. Dostupné z < <http://www.tzb-info.cz/t.py?t=2&i=2650> >
- ROHLES, F.H., WOODS, J.E., MOREY, P.R.. 1989. Indoor environment acceptability: The developement of rating scale. *ASHRAE Transaction* 95, 1: No.3197

- ŘEHÁNEK, Jaroslav. 2002. *Tepelně-technické a energetické vlastnosti budov*. 1. vydání, Praha: Grada publishing a.s., 247 stran, ISBN 80-7169-582-3
- ŘEHÁNEK, Jaroslav. 1986. *Tepelné ztráty budov a možnosti jejich zmenšování*. 2. vydání, Praha: SNTL, 182 stran
- REMTOVÁ Květoslava. 2003. *Posuzování životního cyklu – metoda LCA*. 1. vydání, Ministerstvo ŽP, 16 stran, ISBN 80-7212-232-0
- REMTOVÁ Květoslava. 2003. *Ekologické značení v ČR*. 1. vydání, Ministerstvo ŽP, 47 stran, ISBN 80-7212-226-6
- REMTOVÁ Květoslava. 2003. *Ekodesign*. 1. vydání, Ministerstvo ŽP, 16 stran, ISBN 80-7212-230-4
- REMTOVÁ Květoslava. 2003. *Čistší produkce*. 1. vydání, Ministerstvo ŽP, 28 stran, ISBN 80-7212-260-6
- REMTOVÁ, Květoslava. 2003. Pozor na interpretaci výsledků LCA. Envinmentální aspekty podnikání 1/2003, CEMC, 2 strany
- RICHTER, Klaus. 1995. Life Cycle of Wood Products. Life-Cycle Analysis – A Challenge for Forestry and Forest Industry. EFI Proceedings No. 8, 1995, ISBN 952-9844-78-6. [cit. 11.5.2005]. Dostupné z: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/B6VP6-3X6JG9Y-B/2/0d03dab531f33b79c8934cdf4cb15c0a>>
- RICHTER, H., GRABER, W.. 1978. The ability of ion-classical meteorological parameters to penetrate into buildings. *International Journal of Biometeorology* 22/1978, strana 242-248
- S
- SOCHOR, Vladimír. 2003. Metoda EPC a energetické auditu. *TZB-Info* [online]. 22.5.2003 [cit. 28.12.2005]. Dostupné z < <http://www.tzb-info.cz/t.py?t=2&i=1492> >
- SOUKUP, Jaroslav. 2003. Změny konstrukce Eurooken. *Hranice - Dřevěná okna, dveře, schody 2006: přednášky 2001 - 2006*. [CD-ROM]. Hranice: SPŠ Hranice 2006
- SOUKUP, Jaroslav. 2005. Konstrukce a výroba dřevěných oken v různých zemích světa. *Hranice - Dřevěná okna, dveře, schody 2006: přednášky 2001 - 2006*. [CD-ROM]. Hranice: SPŠ Hranice 2006
- SOUKUP, Jaroslav. 2002. Konstrukční obrábění oken v podmínkách zakázkové výroby. *Hranice - Dřevěná okna, dveře, schody 2006: přednášky 2001 - 2006*. [CD-ROM]. Hranice: SPŠ Hranice 2006
- SOUKUP, Jaroslav. 2002. Nástroje pro konstrukci dřevěných oken dveří. *Hranice - Dřevěná okna, dveře, schody 2006: přednášky 2001 - 2006*. [CD-ROM]. Hranice: SPŠ Hranice 2006
- ŠEDIVÝ, Vladimír. 1995. *Kapitoly z metodologie věd*. 1 vydání. JAMU, 91 stran, ISBN 80-85429-17-9
- ŠUBRT, Roman. 2005. Tepelné mosty ve stavebních konstrukcích. *TZB-Info* [online]. 23.5.2005 [cit. 28.12.2005]. Dostupné z < <http://www.tzb-info.cz/t.py?t=2&i=2526> >
- ŠUBRT, Roman. 2004. Energetický průkaz a energetický průkaz budovy. *TZB-Info* [online]. 27.8.2004 [cit. 28.12.2005]. Dostupné z < <http://www.tzb-info.cz/t.py?t=2&i=2112> >
- ŠAFRÁNEK, Jaroslav. 2003. Okna a vnější dveře z hlediska tepelně-technických vlastností. *Informační zpravodaj Asociace energetických auditorů* 2/2003, 6 stran

ŠAFRÁNEK, J.. 2005. Okna a vnější dveře s ohledem na možnosti výměny vzduchu. *TZB-Info* [online]. 31.10.2005 [cit. 28.12.2005]. Dostupné z <<http://www.tzb-info.cz/t.py?t=2&i=2816>>

ŠTĚPÁNEK, Ladislav. 2005. Nové tepelně-technické požadavky na konstrukce oken. *Hranice - Dřevěná okna, dveře, schody 2006: přednášky 2001 - 2006*. [CD-ROM]. Hranice: SPŠ Hranice 2006

ŠAFKA, Pavel. 2006. Rámečky typu Warm Edge v izolačních sklech. In *Dřevěná okna, dveře schody 2006*, 1. vydání, Brno: Lynx, 126 stran, ISBN 80-86787-09-5

ŠLEZINGEROVÁ, Jarmila, GANDELOVÁ, Libuše. 2002. *Stavba dřeva*. 1. vydání. Brno: MZLU v Brně, 187 stran, ISBN 80-7157-636-0

SIAU, John F.. 1984. *Transport Processes in Wood*. 1. vydání, Berlin Heidelberg New York Tokyo: Springer-Verlag, 239 stran, ISBN 3-540-12574-4

SKOG Kenneth E., PINGOUD Kim, SMITH James E., 2004. A Method Countries Can Use to Estimate Changes in Carbon Stored in Harvested Wood Products and the Uncertainty of Such Estimates, *Environmental Management*, Volume 33, Issue 0, Jul 2004, Pages S65 - S73

SLIŽ, Jaroslav. 2003. Nátěrové systémy na dřevo. *Hranice - Dřevěná okna, dveře, schody 2006: přednášky 2001 - 2006*. [CD-ROM]. Hranice: SPŠ Hranice 2006

STUDENÝ, Ladislav. 2003. Povrchové úpravy stavebně truhlářských výrobků. *Hranice - Dřevěná okna, dveře, schody 2006: přednášky 2001 - 2006*. [CD-ROM]. Hranice: SPŠ Hranice 2006

## T

THUMANN, Albert a YOUNGER, William J.. 2003. *Handbook of Energy Audits*. 6. vydání, Marcel Dekker, 450 stran, ISBN 0824709985

THOROE, C., SCHWEINLE J.. 1995. Life Cycle Analysis in Forestry. In *Life-Cycle Analysis – A Challenge for Forestry and Forest Industry*. EFI Proceedings No. 8, ISBN 952-9844-78-6

THOMPSON, Ch.. 2005. *Window of Opportunity – The environmental and economical benefits of specifying timber window frames*. WWF-UK

TYWONIAK, Jan. 2003. K metodám stavebně-energetické koncepce budov a k podporám environmentálně šetrných řešení. *TZB-Info* [online]. 25.2.2003 [cit. 12.12.2005]. Dostupné z <<http://www.tzb-info.cz/t.py?t=2&i=1381>>

## U

UHLÍŘ, Alois. 1997. *Technologie výroby nábytku II*, 2 vydání. Praha: Informatorium. ISBN 80-86073-09-2

## V

VAVERKA, Jiří. 1992. *Energetické hodnocení budov a tepelná pohoda vnitřního prostředí*. 1. vydání, Brno, 94 stran

VAŇKOVÁ Marie. 1995. *Hluk, vibrace a ionizující záření v životním a pracovní prostředí*. 1. vydání, Brno: PC-DIR spol. s.r.o., 300 stran, ISBN 80-214-0818-9

VENKATARAMA Reddy B. V. a JAGADISH K. S.. 2003. Embodied energy of common and alternative building materials and technologies, *Energy and Buildings*, Volume 35, Issue 2, February 2003, Strana 129-137

VIRTANEN Y. a NILSSON S.. 1993. *Environmental impacts of waste paper recycling*. London: International Institute for Applied System Analysis/Earthscan Publication Ltd.

W

WEAVER P. M. , GABEL H. L. , BLOEMHOF-RUWAARD J. M. , WASSENHOVE L. N. V.. 1997. Optimizing Environmental Product Life Cycles, *Environmental and Resource Economics*, Volume 9, Issue 2, Mar 1997, Pages 199 – 224, ISSN 0924-6460

WEIR, G., MUNEEER, T.. 1996. Energy and Environmental Impact of Double-Glazed Windows. *Energy Convers. Mgmt* Vol. 39, No. 3/4, strana. 243 – 256,

X

Y

Z

ZAPLETAL, Miroslav. 2002. Novinky a změny v oblasti oken z pohledu Zkušebny stavebně truhlářských výrobků. *Hranice - Dřevěná okna, dveře, schody 2006: přednášky 2001 - 2006*. [CD-ROM]. Hranice: SPŠ Hranice 2006

### Internetové odkazy

Český statistický úřad – ČSÚ [online]. 2006 [cit. 2.12.2006]. Dostupné z:<[www.czso.cz](http://www.czso.cz)>

ČEZ [online]. 2006 [cit. 3.1.2007]. Dostupné z:<[www.cez.cz](http://www.cez.cz)>

*Building Research and Consultancy* [online]. 2006 [cit. 23.4.2006]. Dostupné z:<[www.bre.co.uk](http://www.bre.co.uk)>

*Department for Environment, Food & Rural Affairs of United Kingdom* [online]. 2006 [cit. 3.2.2006]. Dostupné z: <[www.defra.gov.uk](http://www.defra.gov.uk)>

*Ekoznacka* [online]. [cit. 12. 8. 2005]. Dostupné z: <[www.ekoznacka.cz](http://www.ekoznacka.cz)>.

*Programme for the Endorsement of Forest Certification schemes* [online]. 2006 [21.3.2006]. Dostupné z: <[www.pefc.org](http://www.pefc.org)>

*IdeMat Database* [databáze online]. Delf: Technická univerzita Delft (Nizozemí) 2006 [cit 8. 4. 2006]. Dostupné z: <<http://www.io.tudelft.nl/research/dfs/ideMat>>

*Intergovernmental Panel on Climate Change* [online]. 2006 [cit. 23.4.2006]. Dostupné z:<<http://www.ipcc.ch>>

*Berkley National Laboratory. Optics* [počítačový program]. Ver. 5.1 for Windows. (USA): 2006. Freeware. Dostupné z: < [http://windows.lbl.gov/materials/optics5/O5\\_getacopy.asp](http://windows.lbl.gov/materials/optics5/O5_getacopy.asp) >

*Phyllis, database for biomass and waste* [databáze online]. Energy research Centre of the Netherlands (Nizozemí) 2006 [cit 3. 5. 2006]. Dostupné z < <http://www.ecn.nl/phyllis> >

### Legislativa\*

Směrnice Rady Evropské unie 89/106/EHS o sbližování právních a správních předpisů členských států týkajících se stavebních výrobků

---

\* Vzhledem k rychlému vývoji v oblasti legislativy je možné, že některé z uvedených předpisů již byly novelizovány případně nahrazeny jinými. Protože legislativa slouží v rámci analýz primárně jako zdroj dat a možných postupů, nemají možné změny významnější dopad na závěry práce.



Zákon č. 406/2000 Sb., o hospodaření energií v platném znění

Zákon č. 50/1976 Sb., stavební zákon v platném znění

Zákon č. 20/1966 Sb., o zdraví lidu ve znění zákona č. 258/2000 Sb. o ochraně veřejného zdraví v platném znění

Zákon č. 65/1965 Sb., zákoník práce v platném znění

Zákon č. 22/1997 Sb., o technických požadavcích na výrobky v platném znění

Zákon č. 185/2001 Sb., o odpadech v platném znění

Nařízení vlády č. 178/2001 Sb., kterým se stanoví podmínky ochrany zdraví při práci před některými riziky plynoucími z pracovních podmínek a požadavky na pracovní prostředí a pracoviště v aktuálním znění

Nařízení vlády č. 163/2002 Sb., kterým se stanoví technické požadavky na vybrané stavební výrobky

Nařízení vlády č. 178/2001 Sb., kterým se stanoví podmínky ochrany zdraví při práci před některými riziky plynoucími z pracovních podmínek a požadavky na pracovní prostředí a pracoviště

Nařízení vlády č. 523/2002 Sb., kterým se mění nařízení č. 178/2001 Sb.

Nařízení vlády č. 148/2006 Sb., o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací

Nařízení vlády č. 190/2002 Sb., kterým se stanoví technické požadavky na stavební výrobky označované CE

Nařízení vlády č. 352/2002 Sb., kterým se stanoví emisní limity a další podmínky provozování spalovacích stacionárních zdrojů znečišťování ovzduší

Vyhláška č. 357/2002 Sb., kterou se stanoví požadavky na kvalitu paliv

Vyhláška č. 213/2001 Sb., kterou se vydávají podrobnosti energetického auditu

Vyhláška č. 137/2004 Sb., o hygienických požadavcích na stravovací služby a o zásadách osobní a provozní hygieny při činnostech epidemiologicky závažných

Vyhláška č. 135/2004 Sb., kterou se stanoví hygienické požadavky na koupaliště, sauny a hygienické limity písku v pískovištích venkovních hracích ploch

Vyhláška č. 410/2005 Sb., o hygienických požadavcích na prostory a provoz zařízení a provozoven pro výchovu a vzdělávání dětí a mladistvých

Vyhláška č. 6/2003 Sb., kterou se stanoví hygienické limity chemických, fyzikálních a biologických ukazatelů pro vnitřní prostředí obytných místností některých staveb

Vyhláška č. 291/2001 Sb., kterou se stanoví podrobnosti účinnosti užití energie při spotřebě tepla v budovách

Věstník Ministerstva zdravotnictví ČR, Částka 11/2004 - Metodické opatření č. 12 "Měření mikroklimatických parametrů pracovního prostředí a vnitřního prostředí staveb"

## **Normy**

ČSN EN ISO 14040. Environmentální management - Posuzování životního cyklu - Zásady a osnova



ČSN EN ISO 14041. Environmentální management - Posuzování životního cyklu - Stanovení cíle a rozsahu a inventarizační analýza

ČSN EN ISO 14042. Environmentální management - Posuzování životního cyklu - Hodnocení dopadů

ČSN EN ISO 14043. Environmentální management - Posuzování životního cyklu - Interpretace životního cyklu

ČSN ISO TS 14048. Environmentální management - Posuzování životního cyklu - Formát dokumentace údajů

ČSN ISO/TR 14049. Environmentální management - Posuzování životního cyklu - Příklady aplikace ISO 14041 pro stanovení cíle a rozsahu inventarizační analýzy

ČSN 74 6401 Dřevěné dveře. Základní ustanovení

ČSN EN ISO 12567-1:2000 Tepelné chování oken a dveří – Stanovení součinitele prostupu tepla metodou teplé skříně – část 1: Celková konstrukce oken a dveří

ČSN EN ISO 10077-1:2000 Tepelné chování oken, dveří a okenic– Výpočet součinitele prostupu tepla – část 1: Zjednodušená metoda

ČSN 73 0540:2002 Tepelná ochrana budov

ČSN EN 12207 Okna a dveře - Průvzdušnost – Klasifikace

ČSN EN 1026 Okna a dveře - Průvzdušnost - Zkušební metoda

ČSN 06 0210 Výpočet tepelných ztrát budov při ústředním vytápění

ČSN EN 1026 Okna a dveře – Průvzdušnost – Zkušební metoda

ČSN EN 832 Tepelné chování budov – Výpočet potřeby tepla pro vytápění

ČSN 73 0532 Akustika – Ochrana proti hluku v budovách a související akustické vlastnosti výrobků – požadavky

ČSN 73 0542 Způsob stanovení energetické bilance zasklení ploch obvodového pláště budovy.

prEN 14351 Okna a dveře

ČSN 73 0546 Zkoušení tepelných mostů stavebních dílců a částí konstrukcí

ČSN EN 1934 Tepelné chování budov – stanovení tepelného odporu metodou teplé skříně při použití měřiče tepelného toku – zdivo

ČSN EN 674 Sklo ve stavebnictví - Stanovení součinitele prostupu tepla (hodnota U) - Metoda chráněné teplé desky

ČSN EN ISO 12567-1 Tepelné chování oken a dveří – Stanovení součinitele prostupu tepla metodou teplé skříně – Část 1: Celková konstrukce oken a dveří

ČSN EN 1027 Okna a dveře - Vodotěsnost - Zkušební metoda

ČSN EN 12207 Okna a dveře - Průvzdušnost - Klasifikace

ČSN EN 1027 Okna a dveře - Vodotěsnost - Zkušební metoda

EN ISO 140-3 Akustika - Měření zvukové izolace stavebních konstrukcí a v budovách

EN ISO 717-1 Akustika - Hodnocení zvukové izolace stavebních konstrukcí a v budovách

ČSN EN 204 Klasifikace termoplastických lepidel na dřevo pro nekonstrukční aplikace

EN 673 Glass in building - Determination of thermal transmittance (U value) - Calculation method

EN 410 Glass in building - Determination of luminous and solar characteristics of glazing

ISO 15099 Thermal performance of windows, doors and shading devices - Detailed calculations

ČSN EN ISO 11341 Nátěrové hmoty - Umělé stárnutí a expozice umělému záření - Expozice filtrovanému záření xenonové obloukové výbojky

ČSN EN 927-6 Nátěrové hmoty - Povlakové materiály a povlakové systémy vnější na dřevo - Část 3: Zkouška přírodním stárnutím.

ČSN 74 6101 Dřevěná okna a balkonové dveře. Základní ustanovení

ČSN EN 927 Nátěrové hmoty - Povlakové materiály a povlakové systémy pro dřevo ve vnějším prostředí

ČSN 73 0548 Výpočet tepelné zátěže klimatizovaných prostorů

ČSN 73 0542 Způsob stanovení energetické bilance zasklení ploch obvodového pláště budovy

ANSI/ASHRAE Standard 55-1981 Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy

### **Firemní materiály**

Materiály firmy APIS

Materiály firmy ALBO

Materiály firmy AKUTERM

Materiály firmy EUROOKNA PRAŽÁK

Materiály firmy FAKRO

Materiály firmy GLOVERBEL

Materiály firmy HOLZSCHILLER

Materiály firmy HON

Materiály firmy IZOS

Materiály firmy IZOLAČNÍ SKLA

Materiály firmy INTERNORM

Materiály firmy JANOŠÍK

Materiály firmy KUBESO

Materiály firmy KARDE

Materiály firmy LANGER

Materiály firmy MODISO

Materiály firmy MARSHAL CZ

Materiály firmy PRIMA FENESTRA

Materiály firmy RH+

Materiály firmy SLAVONA

Materiály firmy STETON

Materiály firmy SOLARA

Materiály firmy TANABYT

Materiály firmy TAURUS

Materiály firmy TTK CZ

Materiály firmy TP EUROOKNA

Materiály firmy VADEO VALACHIA

Materiály firmy VELUX

Materiály firmy VPO

Materiály firmy VIRTUAL

Materiály firmy WESER

Materiály firmy ČEZ

Materiály firmy DKL

**11. Přílohy****Příloha 1 - Stechiometrie spalování dřevěného odpadu**

<b>Odpad</b>	<b>C [%]</b>	<b>H [%]</b>	<b>O [%]</b>	<b>N [%]</b>	<b>S [%]</b>	<b>Cl [%]</b>
Dřevěné dveře	48.1	5.93	42.6	0.47	0.11	0.018
Dřevěný stavební odpad – ošetřené nátěrem	49.9	5.43	42	0.45	0.04	0.071
Dřevěný stavební odpad - lakovaný	49.4	6.08	44	0.35	0.18	0.013
Výpočtové hodnoty	50	6	44	0,5	0,2	0,07

*chemické složení dřevěného odpadu (Phyllis, 2006)*

Minimální množství vzduchu

$$S_{prch} = 0,5 \cdot S = 0,1$$

$$O_{O_2 \min} = \frac{22,39}{100} \left( \frac{C}{12,01} + \frac{H}{4,032} + \frac{S_{prch}}{32,06} + \frac{O_2}{32} \right) =$$

$$= \frac{22,39}{100} \left( \frac{50}{12,01} + \frac{6}{4,032} + \frac{0,1}{32,06} + \frac{44}{32} \right) = \underline{\underline{1,57 \text{ Nm}^3_{s,vzd} / \text{kg}_{pv}}}$$

Minimální množství suchého vzduchu

$$O_{vzd,min}^S = \frac{100}{21} O_{O_2 \min} = \frac{100}{21} \cdot 1,57 = \underline{\underline{7,495 \text{ Nm}^3_{s,vzd} / \text{kg}_{pv}}}$$

Součinitel vlhkosti vzduchu

$$f = 1 + \frac{\varphi \cdot p_p''}{p - \varphi \cdot p_p''} = 1 + \frac{0,5 \cdot 2345}{101325 - 0,5 \cdot 2345} = \underline{\underline{1,0121}}$$

Minimální množství vzduchu

$$O_{\text{vzd, min}} = O_{\text{vzd, min}}^S \cdot f = 7,495 \cdot 1,0121 = \underline{\underline{7,582 \text{ Nm}^3_{\text{vzd}} / \text{kg}_{\text{pv}}}}$$

Minimální objem CO<sub>2</sub> ve spalínách

$$O_{\text{CO}_2 \text{ min}} = \frac{22,26}{100} \cdot \frac{C}{12,01} + 0,0003 \cdot O_{\text{vzd, min}}^S = \frac{22,26}{100} \cdot \frac{50}{12,01} + 0,0003 \cdot 7,495 = \underline{\underline{0,929 \text{ Nm}^3_{\text{CO}_2} / \text{kg}_{\text{pv}}}}$$

Minimální objem SO<sub>2</sub> ve spalínách

$$O_{\text{SO}_2 \text{ min}} = \frac{22,89}{100} \cdot \frac{S_{\text{prch}}}{32,06} = \frac{22,89}{100} \cdot \frac{0,1}{32,06} = \underline{\underline{0,007 \text{ Nm}^3_{\text{SO}_2} / \text{kg}_{\text{pv}}}}$$

Minimální objem N<sub>2</sub> ve spalínách

$$O_{\text{N}_2 \text{ min}} = \frac{22,4}{100} \cdot \frac{N}{28,016} + 0,7805 \cdot O_{\text{vzd, min}}^S = \frac{22,4}{100} \cdot \frac{0,5}{28,016} + 0,7805 \cdot 7,495 = \underline{\underline{5,854 \text{ Nm}^3_{\text{N}_2} / \text{kg}_{\text{pv}}}}$$

Minimální objem Ar ve spalínách

$$O_{\text{Ar, min}} = 0,0092 \cdot O_{\text{vzd, min}}^S = 0,0092 \cdot 7,495 = \underline{\underline{0,069 \text{ Nm}^3_{\text{Ar}} / \text{kg}_{\text{pv}}}}$$

Minimální množství suchých spalín

$$O_{\text{sp min}}^S = O_{\text{CO}_2 \text{ min}} + O_{\text{N}_2 \text{ min}} + O_{\text{SO}_2 \text{ min}} + O_{\text{Ar, min}} = 0,929 + 0,007 + 5,854 + 0,069 = \underline{\underline{6,859 \text{ Nm}^3_{\text{sp}} / \text{kg}_{\text{pv}}}}$$

Minimální množství vodní páry

$$\begin{aligned} O_{\text{H}_2\text{O, min}} &= \frac{44,8}{100} \cdot \frac{H}{4,032} + \frac{22,4}{100} \cdot \frac{W}{18,016} + (f - 1) \cdot O_{\text{vzd, min}}^S \\ &= \frac{44,8}{100} \cdot \frac{6}{4,032} + \frac{22,4}{100} \cdot \frac{12}{18,016} + (1,0121 - 1) \cdot 7,495 = \underline{\underline{0,907 \text{ Nm}^3_{\text{sp}} / \text{kg}_{\text{pv}}}} \end{aligned}$$

Minimální množství vlhkých spalin

$$O_{sp} = O_{sp,min}^s + O_{H_2O,min} = 6,859 + 0,907 = \underline{\underline{7,766 Nm^3_{sp} / kg_{pv}}}$$

Skutečné množství vody

$$O_{H_2O} = O_{H_2O,min} + (f - 1)(\alpha - 1)O_{vzd,min}^s = 0,907 + (1,0121 - 1)(1 - 1)7,459 = \underline{\underline{0,907 Nm^3_{H_2O} / kg_{pv}}}$$

**Příloha 2 – Stavebně-truhlářská výroba v ČR (MPO 2003, 2004, 2005)**

Název	Měrná jednotka	2002	2003	2004	2005
<b>Stavebně-truhlářská produkce celkem</b>	<b>tis. Kč</b>	<b>6 599 966</b>	<b>7 223 606</b>	<b>832 0315</b>	<b>8 586 133</b>
okna celodřevěná	ks	188 544	208 088	224 171	231 150
	tis. Kč	1 617 882	1 777 099	1 952 568	2 070 871
okna kombinovaná s kovem	ks	6 502	7 613	7 371	7 173
	tis. Kč	57 016	59 024	63 093	70 573
okna kombinovaná s plastem	ks	9 722	13 338	15 222	18 997
	tis. Kč	58 612	88 704	110 074	111 726
dveře vnitřní masivní dřevěné	ks	33 592	39 874	48 770	49 192
	tis. Kč	206 178	215 042	255 377	268 680
dveře vnitřní dřevěné plášťované	ks	1 207 702	1 141 532	1 266 598	1 357 428
	tis. Kč	1 549 928	1 463 223	1 709 370	1 800 659
dveře vchodové dřevěné	ks	37 815	53 582	74 303	118 287
	tis. Kč	250 725	370 298	440 459	576 711
zárubně dřevěné	ks	172 824	208 809	245 627	229 317
	tis. Kč	358 639	441 652	488 470	447 632
stěny lodžiové a příčky	m <sup>2</sup>	1 374	1 252	1 117	651
	tis. Kč	-	9 504	12 024	-
obložení	m <sup>2</sup>	2 444 917	2 150 189	2 006 325	2 454 325
	tis. Kč	5 16 985	-	-	-
podlahoviny	tis. m <sup>2</sup>	28 46	1 945	2 223	3 102
	tis. Kč	692 806	726 923	806 058	835 426
lepený hranol pro výrobu oken	m <sup>3</sup>	369	-	-	39 158
	tis. Kč	-	-	-	739 900
ostatní výrobky stavebně-truhlářské výroby	tis. Kč	1 277 562	1 252 730	1 459 694	1 054 987

### **Příloha 3 – Parametry a složení hlavních prvků vybraných paliv**

<b>Palivo</b>	<b>Výřevnost</b>	<b>Obsah popela</b>	<b>C</b>	<b>O</b>	<b>H</b>	<b>N</b>	<b>S</b>
	<b>MJ/kg</b>	<b>%</b>	<b>%</b>	<b>%</b>	<b>%</b>	<b>%</b>	<b>%</b>
Dřevo	15,3	0,5	43	37	5	0,1	-
Hnědé uhlí	30,1	10 - 30	58	18	5	1,4	2 - 7
Černé uhlí	13, 6	10 - 15	73	5	4	1,4	1
Koks	25,9	9 - 17	80	2	2	0,5	0,8
Zemní plyn	33 MJ/m <sup>3</sup>	0	80	0	20	0	0



**Příloha 4 – Těžba dřeva a dodávky dříví (ČSÚ, 2006)****LESNICTVÍ****Těžba dřeva a dodávky dříví**v tis. m<sup>3</sup> bez kůry

Ukazatel	1995	2000	2001	2002	2003	2004
<b>Těžba dřeva celkem</b>	<b>12 365</b>	<b>14 441</b>	<b>14 374</b>	<b>14 541</b>	<b>15 140</b>	<b>15 601</b>
v tom:						
jehličnaté	11 308	12 851	12 680	13 010	13 660	13 920
listnaté	1 057	1 590	1 694	1 531	1 480	1 681
z toho nahodilá	7 855	3 288	2 373	4 213	8 194	5 379
v tom:						
živelní	2 766	2 388	1 488	3 380	6 116	2 764
exhalační	303	78	56	34	60	45
hmyzová	2 376	320	231	292	1 258	1 268
ostatní	2 410	502	598	507	760	1 302
<b>Těžba dřeva</b>						
na 1 obyvatele (m <sup>3</sup> b. k.)	1,20	1,41	1,41	1,43	1,48	1,53
na 1 ha lesní půdy (m <sup>3</sup> b. k.)	4,70	5,48	5,45	5,50	5,73	5,90
<b>Dodané sortimenty z výroby (bez dovozu)</b>						
kulatina						
jehličnatá	5 740	7 721	7 540	7 580	8 208	8 061
listnatá	347	665	689	493	517	627
vláknina a ostatní průmyslové dříví						
jehličnatá	5 328	4 436	4 380	4 773	4 732	5 131
listnatá	557	645	674	680	473	562
lesní štěpka						
jehličnatá	19	34	80	7	30	28
listnatá	0	0	1	1	0	2
<b>Palivové dříví celkem</b>	<b>649</b>	<b>940</b>	<b>1 010</b>	<b>1 007</b>	<b>1 180</b>	<b>1 190</b>
v tom:						
jehličnaté	517	660	680	650	690	700
listnaté	132	280	330	357	490	490
<b>Užitkové dříví celkem</b>	<b>11 991</b>	<b>13 501</b>	<b>13 364</b>	<b>13 534</b>	<b>13 960</b>	<b>14 411</b>
v tom:						
jehličnaté	11 087	12 191	12 000	12 360	12 970	13 220
listnaté	904	1 310	1 364	1 174	990	1 191
<b>Dodávky dříví celkem</b>	<b>12 640</b>	<b>14 441</b>	<b>14 374</b>	<b>14 541</b>	<b>15 140</b>	<b>15 601</b>
v tom:						
jehličnaté	11 604	12 851	12 680	13 010	13 660	13 920
listnaté	1 036	1 590	1 694	1 531	1 480	1 681

**Příloha 5 – Ceny surového dříví (Bludovský, 2005)****Průměrné ceny dodávek surového dříví v ČR**(v Kč/m<sup>3</sup>, na OM, bez DPH)

(v Kč/m³, na OM, bez DPH)		2003												Roční průměr
		I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.	
Jehličnaté sortimenty														
výřezy I. tř. j.		3 379	3 445	3 519	3 398	3 288	3 234	3 171	3 176	3 165	3 126	3 149	3 131	3 265
z toho	smrk	3 636	3 613	3 641	3 582	3 484	3 563	3 483	3 477	3 477	3 438	3 434	3 531	3 530
	borovice	2 740	2 798	2 949	3 814	2 795	2 544	2 572	2 572	2 572	2 572	2 674	2 595	2 683
výřezy II. tř. j.		2 688	2 738	2 716	2 671	2 707	2 537	2 493	2 475	2 469	2 510	2 485	2 476	2 580
z toho	smrk	2 778	2 783	2 847	2 769	2 707	2 660	2 625	2 608	2 648	2 677	2 654	2 687	2 704
	borovice	2 278	2 531	2 340	2 316	2 247	2 116	2 142	2 141	2 148	2 144	2 150	2 171	2 210
výřezy III. A tř. j.		1 643	1 628	1 617	1 587	1 558	1 551	1 513	1 488	1 488	1 474	1 442	1 443	1 536
z toho	smrk	1 748	1 740	1 719	1 686	1 647	1 640	1 613	1 590	1 585	1 572	1 534	1 550	1 635
	borovice	1 255	1 280	1 242	1 216	1 217	1 193	1 186	1 145	1 133	1 135	1 116	1 149	1 189
výřezy III. B tř. j.		1 310	1 282	1 259	1 230	1 196	1 214	1 193	1 165	1 158	1 141	1 114	1 128	1 199
z toho	smrk	1 390	1 377	1 357	1 317	1 288	1 295	1 277	1 240	1 233	1 225	1 185	1 187	1 281
	borovice	1 045	1 013	1 015	989	964	971	946	939	928	918	894	927	962
výřezy IV. tř. j.		968	971	971	952	931	952	927	913	916	895	906	899	933
dříví V. tř. j. - vláknina		714	708	697	679	682	681	686	662	661	645	645	639	675
z toho	smrk	719	716	703	688	694	698	698	675	665	653	654	648	684
	borovice	681	675	647	629	623	620	640	613	597	604	619	628	631
palivo		279	284	283	271	274	270	286	281	276	268	274	273	277
Listnaté sortimenty														
výřezy I. tř. j.		6 227	6 305	6 130	6 051	4 903	4 640	5 066	3 992	3 814	3 814	4 792	5 569	5 109
z toho	dub	8 050	8 054	7 623	7 440	6 466	6 319	6 648	5 702	5 702	5 702	6 579	7 065	6 779
	buk	4 135	4 495	4 703	3 980	4 031	4 031	4 006	4 006	3 829	3 829	3 829	3 630	4 041
	bříza	1 682	1 682	1 682	1 682	1 682	1 682	1 671	1 671	1 671	1 671	1 671	1 639	1 674
výřezy II. tř. j.		3 246	3 195	3 297	3 213	3 294	3 171	2 907	2 907	2 866	2 902	3 023	3 072	3 091
	dub	4 342	4 460	4 306	4 362	4 247	4 134	4 179	3 914	3 852	3 939	4 132	4 161	4 169
	buk	2 991	2 903	2 994	2 821	2 833	1 925	2 877	2 854	2 742	2 724	2 731	2 831	2 852
	bříza	1 589	1 558	1 549	1 595	1 556	1 532	1 486	1 516	1 508	1 543	1 506	1 506	1 537
výřezy III. A tř. j.		1 627	1 649	1 698	1 634	1 671	1 653	1 591	1 659	1 600	1 597	1 588	1 628	1 633
z toho	dub	1 925	1 890	1 915	1 887	1 916	1 942	1 842	1 913	1 874	1 858	1 857	1 874	1 891
	buk	1 588	1 601	1 589	1 586	1 561	1 626	1 558	1 565	1 558	1 541	1 503	1 523	1 567
	bříza	964	990	1 001	999	941	959	888	884	903	909	955	955	946
výřezy III. B tř. j.		1 233	1 246	1 258	1 220	1 254	1 229	1 209	1 253	1 205	1 202	1 153	1 179	1 220
z toho	dub	1 415	1 373	1 404	1 396	13 992	1 388	1 366	1 409	1 373	1 381	1 330	1 333	1 380
	buk	1 156	1 169	1 173	1 154	1 169	1 143	1 078	1 112	1 117	1 122	1 072	1 098	1 130
	bříza	745	732	741	758	715	757	732	745	721	729	713	724	734
dříví V. tř. j.		485	469	455	453	459	474	484	473	460	454	460	480	467
palivo		408	390	393	396	393	400	417	415	410	392	400	391	400

**Příloha 6 – Orientační ceny řeziva (DKL, 2006)**

<b>STŘEDOVÉ ŘEZIVO (prkna a hranolky)</b>							
SMRK (borovice a modřín vždy dohodou – obvykle levněji)							
Tloušťka (cm)	Šířka (cm)	Délka (cm)	Jakostní třída				
			I. (EBW)	II. (IMBALLO)	II.-III. (IMBALLO II)	II.-IV.	III.-IV.
			Cena (Kč/m <sup>3</sup> )				
1,0 - 1,4	8 - 12	Do 400	6 000	5 500	3 500		
1,5 - 1,9	8 - 12	200 - 400	4 500	3 800	3 200	dohoda	dohoda
2,0 - 2,2 - 2,4	8 - 12	200 - 400	4 400	3 900	2 900	dohoda	dohoda
2,0 - 2,2 - 2,4	8 - 12	410 - 600	4 700	4 200	3 000	dohoda	dohoda
2,5 - 5,0	8 - 12	200 - 400	4 500	4 200	2 800	dohoda	dohoda
2,5 - 5,0	8 - 12	401 - 600	4 800	4 300	3 000	dohoda	dohoda
5,1 - 10,0	8 - 12	200 - 400	4 500	4 200	2 800	dohoda	dohoda
5,1 - 10,0	8 - 12	401 - 600	4 800	4 500	3 000	dohoda	dohoda
10,1 - 12,0	8 - 12	200 - 400	4 500	4 200	2 800	dohoda	dohoda
10,1 - 12,0	8 - 12	401 - 600	4 800	4 500	3 000	dohoda	dohoda

## Příloha 7 – Emise z lesnictví

### Spotřeba druhů paliv (ČSÚ, 2003)

kapalná paliva	.....	204,6 TJ = 56,83 GWh
plynná paliva	.....	165,0 TJ = 45,83 GWh
pevná paliva	.....	444,0 TJ = 123,3 GWh
elektrina	.....	198,0 TJ = 55,0 GWh
celkem	.....	1011,5 TJ = 280,9 GWh

### Spotřeba modelových paliv

množství paliva (MJ)/výhřevnost (příloha 3)= hmotnost paliva (t)

model. LTO	=	4 871, 43 t
zemní plyn	=	$5,5 \cdot 10^6 \text{ m}^3$
hnědé uhlí	=	31 714, 28 t

### Všeobecné emisní faktory oxidu uhličitého (vyhláška č. 213/2001 Sb.)

spotřeba paliva (MWh) x emisní faktor = množství CO<sub>2</sub> (t)

model LTO	.....	0,26 t CO <sub>2</sub> / MWh
zemní plyn	.....	0,20 t CO <sub>2</sub> / MWh
hnědé uhlí	.....	0,36 t CO <sub>2</sub> / MWh
elektrina	.....	1,17 t CO <sub>2</sub> / MWh

### Produkce CO<sub>2</sub> z lesnictví

model. LTO	=	14 775,8 t CO <sub>2</sub>
zemní plyn	=	9166,0 t CO <sub>2</sub>
hnědé uhlí	=	44 388,0 t CO <sub>2</sub>
elektrina	=	64 350,0 t CO <sub>2</sub>
celkem	=	132 679,8 t CO <sub>2</sub>

**Produkce tuhých emisí z lesnictví (vyhláška č. 352/2002 Sb.)**

model. LTO	=	2,13 kg / t spáleného paliva = 10 376, 15 kg tuhých emisí
zemní plyn	=	20 kg / 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> spáleného paliva = 110 kg tuhých emisí
hnědé uhlí	=	5.Ap (Ap = 20 %) kg / t spáleného paliva = 3 171 428 kg tuhých emisí
elektrina	=	9 g / GJ (ČEZ, 2007) = 1782 kg tuhých emisí
celkem	=	132 679,8 kg tuhých emisí

**Produkce emisí SO<sub>2</sub> z lesnictví (vyhláška č. 352/2002 Sb.)**

model. LTO	=	20.S (S = 1,5 %) kg / t spáleného paliva = 146 142,9 kg SO <sub>2</sub>
zemní plyn	=	2.S (S = 9,6 %) kg / 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> spáleného paliva = 105,6 kg SO <sub>2</sub>
hnědé uhlí	=	19.S (S = 3 %) kg / t spáleného paliva = 1 807 884,9 kg SO <sub>2</sub>
elektrina	=	188 g / GJ (ČEZ, 2007) = 37 224 kg SO <sub>2</sub>
celkem	=	1 991 357,46 kg SO <sub>2</sub>

**Produkce emisí NO<sub>x</sub> z lesnictví (vyhláška č. 352/2002 Sb.)**

model. LTO	=	10 kg / t spáleného paliva = 48 714,3 kg NO <sub>x</sub>
zemní plyn	=	3 300 kg / 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> spáleného paliva = 18 510 kg NO <sub>x</sub>
hnědé uhlí	=	3 kg / t spáleného paliva = 95 142,8 kg NO <sub>x</sub>
elektrina	=	1 200 g / GJ (ČEZ, 2007) = 237 224 kg NO <sub>x</sub>
celkem	=	399 607,14 kg NO <sub>x</sub>

**Produkce emisí CO z lesnictví (vyhláška č. 352/2002 Sb.)**

model. LTO	=	0,6 kg / t spáleného paliva = 2 922,9 kg CO
zemní plyn	=	320 kg / 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> spáleného paliva = 1 760 kg CO
hnědé uhlí	=	4 kg / t spáleného paliva = 126 857,1 kg CO
elektrina	=	12 g / GJ (ČEZ, 2007) = 2 376 kg CO
celkem	=	133 916 kg CO

### Alokace emisí v lesnictví (ČSÚ, 2003 a Blud'ovský, 2005)

Rozdělení těžby: kulatina 57,6 %  
vláknina a průmyslové dříví 34,3 %  
palivové dříví 7,8 %

Orientační cena: kulatina 1536 Kč / m<sup>3</sup>  
vláknina 675 Kč / m<sup>3</sup> (44 % ceny kulatiny)  
palivo 277 Kč / m<sup>3</sup> (18 % ceny kulatiny)

Alokační faktor: 
$$F = \frac{\%}{100} m^3 \cdot \frac{\%}{100} \text{ ceny}$$

$$F_{\text{vlákniny}} = \frac{34,3}{100} \cdot \frac{44}{100} = 0,151$$

$$F_{\text{paliva}} = \frac{7,8}{100} \cdot \frac{18}{100} = 0,014$$

$$F_{\text{celkový}} = 1 - F_{\text{vlákniny}} - F_{\text{paliva}} = 1 - 0,151 - 0,014 = \underline{0,835}$$

83,5 % emisí se alokuje na 57,6 % těžby

### Alokované měrné hodnoty emisí a energie v lesnictví

celková hodnota emise  $\cdot F_{\text{celkový}} / \text{produkce (m}^3\text{)} = \text{měrné alokovaná emise (kg / m}^3\text{)}$

energie  $= 1\,011\,460 \text{ GJ} / 8\,725\,000 \text{ m}^3 = 0,096 \text{ GJ} / \text{m}^3$

CO<sub>2</sub>  $= 132\,679\,800 \text{ kg CO}_2 / 8\,725\,000 \text{ m}^3 = 12,7 \text{ kg CO}_2 / \text{m}^3$

tuhé emise  $= 3\,183\,696,15 \text{ kg tuhých emisí} / 8\,725\,000 \text{ m}^3 = 0,3047 \text{ kg tuhých emisí} / \text{m}^3$

SO<sub>2</sub>  $= 1\,991\,357,46 \text{ kg tuhých emisí} / 8\,725\,000 \text{ m}^3 = 0,1906 \text{ kg tuhých emisí} / \text{m}^3$

NO<sub>x</sub>  $= 399\,607,14 \text{ kg NO}_x / 8\,725\,000 \text{ m}^3 = 0,0382 \text{ kg NO}_x / \text{m}^3$

CO  $= 133\,916 \text{ kg CO} / 8\,725\,000 \text{ m}^3 = 0,0128 \text{ kg CO} / \text{m}^3$

## Příloha 8 – Emise z pilařské výroby

Výrazně převažuje spotřeba elektrické energie

Postup viz příloha 7

### Produkce emisí z pilařské výroby (ČEZ, 2007)

$$\text{energie} = 0,565 \text{ GJ} / \text{m}^3 = 0,157 \text{ MWh} / \text{m}^3$$

$$\text{CO}_2 = 1,17 \text{ t CO}_2 / \text{MWh} = 183,7 \text{ kg CO}_2 / \text{m}^3$$

$$\text{tuhé emise} = 9 \text{ g} / \text{GJ} = 0,0051 \text{ kg tuhých emisí} / \text{m}^3$$

$$\text{SO}_2 = 188 \text{ g} / \text{GJ} = 0,10622 \text{ kg SO}_2 / \text{m}^3$$

$$\text{NO}_x = 1200 \text{ g} / \text{GJ} = 0,678 \text{ kg NO}_x / \text{m}^3$$

$$\text{CO} = 12 \text{ g} / \text{GJ} = 0,0068 \text{ kg CO} / \text{m}^3$$

### Alokace emisí v pilařské výrobě (Janák *et* Král, 2003 a DKL, 2006)

Jakostní výtěž:	jakostní třída I	30 %
	jakostní třída II	45 %
	jakostní třída III	22 %
	jakostní třída IV	3 %

Orientační cena:	jakostní třída I	4800 Kč / m <sup>3</sup> ( 111 % ceny třídy II)
	jakostní třída II	4300 Kč / m <sup>3</sup>
	jakostní třída III	3000 Kč / m <sup>3</sup> ( 71 % ceny třídy II)
	jakostní třída IV	1000 Kč / m <sup>3</sup> ( 24 % ceny třídy II)

$$\text{Alokační faktor:} \quad F = \frac{\%}{100} \text{m}^3 \cdot \frac{\%}{100} \text{ceny}$$

$$F_I = \frac{30}{100} \cdot \frac{111}{100} = 0,333$$

$$F_{III} = \frac{22}{100} \cdot \frac{71}{100} = 0,156$$

$$F_{IV} = \frac{3}{100} \cdot \frac{24}{100} = 0,007$$

$$F_{\text{celkový}} = 1 - F_I - F_{III} - F_{IV} = 1 - 0,333 - 0,156 - 0,007 = \underline{0,504}$$

50,4 % emisí se alokuje na 45 % produkce

### **Alokované měrné hodnoty emisí a energie v pilařské výrobě**

celková hodnota emise .  $F_{\text{celkový}}$  / produkce (%) = měrné alokovaná emise (kg / m<sup>3</sup>)

$$\text{energie} = 0,565 \text{ GJ / m}^3 \cdot 50,4 / 45 = 0,633 \text{ GJ / m}^3$$

$$\text{CO}_2 = 183,7 \text{ kg CO}_2 / \text{m}^3 \cdot 50,4 / 45 = 205,74 \text{ kg CO}_2 / \text{m}^3$$

$$\text{tuhé emise} = 0,0051 \text{ kg tuhých emisí / m}^3 \cdot 50,4 / 45 = 0,0057 \text{ kg tuhých emisí / m}^3$$

$$\text{SO}_2 = 0,10622 \text{ kg SO}_2 / \text{m}^3 \cdot 50,4 / 45 = 0,1189 \text{ kg SO}_2 / \text{m}^3$$

$$\text{NO}_x = 0,678 \text{ kg NO}_x / \text{m}^3 \cdot 50,4 / 45 = 0,759 \text{ kg NO}_x / \text{m}^3$$

$$\text{CO} = 0,0068 \text{ kg NO}_x / \text{m}^3 \cdot 50,4 / 45 = 0,0076 \text{ kg CO / m}^3$$



## Příloha 9 – Emise ze sušení

Spotřeba plynu a elektrické energie případně dřeva a elektrické energie dle ČEA (2000)

Postup viz příloha 7

### Produkce emisí ze sušení – elektřina (ČEZ, 2007)

$$\text{energie} = 0,688 \text{ GJ} / \text{m}^3 = 0,191 \text{ MWh} / \text{m}^3$$

$$\text{CO}_2 = 1,17 \text{ t CO}_2 / \text{MWh} = 224 \text{ kg CO}_2 / \text{m}^3$$

$$\text{tuhé emise} = 9 \text{ g} / \text{GJ} = 0,0062 \text{ kg tuhých emisí} / \text{m}^3$$

$$\text{SO}_2 = 188 \text{ g} / \text{GJ} = 0,129 \text{ kg SO}_2 / \text{m}^3$$

$$\text{NO}_x = 1200 \text{ g} / \text{GJ} = 0,826 \text{ kg NO}_x / \text{m}^3$$

$$\text{CO} = 12 \text{ g} / \text{GJ} = 0,0083 \text{ kg CO} / \text{m}^3$$

### Produkce emisí z pilařské výroby – plyn (vyhláška č. 352/2002 Sb.)

$$\text{energie} = 2,75 \text{ GJ} / \text{m}^3 = 0,764 \text{ MWh} / \text{m}^3 (= 91,66 \text{ m}^3 \text{ zemního plynu} / \text{m}^3)$$

$$\text{CO}_2 = 0,20 \text{ t CO}_2 / \text{MWh} = 152,8 \text{ kg CO}_2 / \text{m}^3$$

$$\text{tuhé emise} = 20 \text{ kg} / 10^6 \text{ m}^3 \text{ spáleného paliva} = 0,0018 \text{ kg tuhých emisí} / \text{m}^3$$

$$\text{SO}_2 = 2,5 \text{ (S = 9,6 \%)} \text{ kg} / 10^6 \text{ m}^3 \text{ spáleného paliva} = 0,0018 \text{ kg SO}_2 / \text{m}^3$$

$$\text{NO}_x = 3 \text{ 300 kg} / 10^6 \text{ m}^3 \text{ spáleného paliva} = 0,3024 \text{ kg NO}_x / \text{m}^3$$

$$\text{CO} = 320 \text{ kg} / 10^6 \text{ m}^3 \text{ spáleného paliva} = 0,0293 \text{ kg CO} / \text{m}^3$$

### Produkce emisí z pilařské výroby – dřevo (vyhláška č. 352/2002 Sb.)

$$\text{energie} = 2,75 \text{ GJ} / \text{m}^3 = 0,764 \text{ MWh} / \text{m}^3 (= 0,1797 \text{ t dřeva} / \text{m}^3)$$

$$\text{CO}_2 = 0 \text{ kg CO}_2 / \text{m}^3$$

$$\text{tuhé emise} = 15 \text{ kg} / \text{t spáleného paliva} = 2,696 \text{ kg tuhých emisí} / \text{m}^3$$

$$\text{SO}_2 = 1,5 \text{ kg} / \text{t spáleného paliva} = 0,2696 \text{ kg SO}_2 / \text{m}^3$$

$$\text{NO}_x = 3 \text{ kg} / \text{t spáleného paliva} = 0,5392 \text{ kg NO}_x / \text{m}^3$$

$$\text{CO} = 1 \text{ kg} / \text{t spáleného paliva} = 0,1797 \text{ kg CO} / \text{m}^3$$

## **Příloha 10 – Emise z výroby hranolku**

Spotřeba elektrické energie na základě údajů Weira *et* Muneera (1996), vztažnou jednotkou je 6 m dlouhý hranolek (viz kapitola 4.3.4.). Na výrobu 1 hranolku je třeba 0,04 m<sup>3</sup> dřeva.

Postup viz příloha 7

### **Produkce emisí z výroby – elektřina (ČEZ, 2007)**

energie = 0,00294 GJ / hr. = 0,00082 MWh / hr.

CO<sub>2</sub> = 1,17 t CO<sub>2</sub> / MWh = 0,96 kg CO<sub>2</sub> / hr.

tuhé emise = 9 g / GJ = 0,0000266 kg tuhých emisí / hr.

SO<sub>2</sub> = 188 g / GJ = 0,000552 kg SO<sub>2</sub> / hr.

NO<sub>x</sub> = 1200 g / GJ = 0,00353 kg NO<sub>x</sub> / hr.

CO = 12 g / GJ = 0,0000353 kg CO / hr.

## Příloha 11 – Emise ze zněškodnění / využití

Spotřeba elektrické energie na základě údajů Hrázkého *et* Krále (1999), vztažnou jednotkou je 1 kg odpadu (viz kapitola 4.4.) -modelový rám 1200 x 1200 mm má hmotnost cca 25 kg.

Postup viz příloha 7

### Produkce emisí z dezintegrace – elektřina (ČEZ, 2007)

$$\text{energie} = 0,00018 \text{ GJ} / \text{kg odpadu} = 0,00005 \text{ MWh} / \text{kg odpadu} = > 1,25 \cdot 10^{-3} \text{ MWh}$$

$$\text{CO}_2 = 1,17 \text{ t CO}_2 / \text{MWh} = 5,85 \cdot 10^{-8} \text{ kg CO}_2 / \text{kg odpadu} = > 1,56 \cdot 10^{-6} \text{ kg CO}_2$$

$$\begin{aligned} \text{tuhé emise} &= 9 \text{ g} / \text{GJ} = 1,62 \cdot 10^{-6} \text{ kg tuhých emisí} / \text{kg odpadu} \\ &= > 4,05 \cdot 10^{-5} \text{ kg tuhých emisí} \end{aligned}$$

$$\text{SO}_2 = 188 \text{ g} / \text{GJ} = 3,384 \cdot 10^{-5} \text{ kg SO}_2 / \text{kg odpadu} = > 8,46 \cdot 10^{-4} \text{ kg SO}_2$$

$$\text{NO}_x = 1200 \text{ g} / \text{GJ} = 2,16 \cdot 10^{-4} \text{ kg NO}_x / \text{kg odpadu} = > 5,4 \cdot 10^{-3} \text{ kg NO}_x$$

$$\text{CO} = 12 \text{ g} / \text{GJ} = 2,16 \cdot 10^{-6} \text{ kg CO} = > 5,4 \cdot 10^{-5} \text{ kg CO}$$

### Produkce emisí ze spalování dřevního odpadu (vyhláška č. 352/2002 Sb.)

$$\text{energie} = 0,011 \text{ GJ} / \text{kg odpadu} = 0,0033 \text{ MWh} / \text{kg odpadu} = > 0,0825 \text{ MWh}$$

$$\text{CO}_2 = 0 \text{ kg CO}_2 / \text{kg odpadu} = > 0 \text{ kg CO}_2 \text{ (podmínečně – odpad nelze zcela ztotožnit s biomasou)}$$

$$\begin{aligned} \text{tuhé emise} &= 15 \text{ kg} / \text{t spáleného paliva} = 0,015 \text{ kg tuhých emisí} / \text{kg odpadu} \\ &= > 0,375 \text{ kg tuhých emisí} \end{aligned}$$

$$\text{SO}_2 = 1,5 \text{ kg} / \text{t spáleného paliva} = 0,0015 \text{ kg SO}_2 / \text{kg odpadu} = > 0,0375 \text{ kg SO}_2$$

$$\text{NO}_x = 3 \text{ kg} / \text{t spáleného paliva} = 0,003 \text{ kg NO}_x / \text{kg odpadu} = > 0,075 \text{ kg NO}_x$$

$$\text{CO} = 1 \text{ kg} / \text{t spáleného paliva} = 0,001 \text{ kg CO} / \text{kg odpadu} = > 0,015 \text{ kg CO}$$

## Příloha 12 – Emise z tepelných úspor

### Součinitel prostupu tepla rámu

$$A_f = 0,626 \text{ m}^2$$

$$A_g = 0,813 \text{ m}^2$$

$$l_g = 3,68 \text{ m}$$

$$A_w = 1,44 \text{ m}^2$$

$$\psi_g = 0,06$$

$$U_f = 1,7 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$$

$$U_g = 1,3 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$$

$$U_w = \frac{A_g U_g + A_f U_f + l_g \psi_g}{A_g + A_f} = \frac{0,813 \cdot 1,3 + 0,626 \cdot 1,7 + 3,68 \cdot 0,06}{0,813 + 0,626} = \underline{\underline{1,626 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}}}$$

### Tepelná bilance okna a rámu

$$\text{Optimální vnitřní teplota} = 22 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\text{Výpočtová venkovní teplota} = -15 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\text{Délka otopného období} = 235 \text{ dnů}$$

$$\text{Průměrná venkovní teplota} = 3,3 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\text{Životnost} = 30 \text{ let}$$

$$Q_w = A_w \cdot U_w \cdot \Delta t = 1,44 \cdot 1,626 \cdot (22 + 15) = 86,6 \text{ W}$$

$$Q_f = A_f \cdot U_f \cdot \Delta t = 0,626 \cdot 1,7 \cdot (22 + 15) = 39,37 \text{ W}$$

$$Q_g = A_g \cdot U_g \cdot \Delta t = 0,813 \cdot 1,3 \cdot (22 + 15) = 39,1 \text{ W}$$

$$Q_l = l_g \cdot \psi_g \cdot \Delta t = 3,68 \cdot 0,06 \cdot (22 + 15) = 8,17 \text{ W}$$

$$E_w = \frac{\varepsilon \cdot Q_w \cdot 24 \cdot 10^{-3}}{(t_i - t_e)} \cdot d \cdot (t_{im} - t_{e,vo}) = \frac{0,9 \cdot 86,6 \cdot 24 \cdot 10^{-3}}{(22 + 15)} \cdot 235 \cdot (22 - 3,3) = 139 \text{ kWh / rok} \Rightarrow \underline{\underline{4170 \text{ kWh / živ.}}}$$

$$E_f = \frac{\varepsilon \cdot Q_f \cdot 24 \cdot 10^{-3}}{(t_i - t_e)} \cdot d \cdot (t_{im} - t_{e,vo}) = \frac{0,9 \cdot 39,37 \cdot 24 \cdot 10^{-3}}{(22 + 15)} \cdot 235 \cdot (22 - 3,3) = 63,19 \text{ kWh / rok} \Rightarrow \underline{\underline{1896 \text{ kWh / živ.}}}$$

$$E_g = \frac{\varepsilon \cdot Q_g \cdot 24 \cdot 10^{-3}}{(t_i - t_e)} \cdot d \cdot (t_{im} - t_{e,vo}) = \frac{0,9 \cdot 39,1 \cdot 24 \cdot 10^{-3}}{(22 + 15)} \cdot 235 \cdot (22 - 3,3) = 62,76 \text{ kWh / rok} \Rightarrow \underline{\underline{1883 \text{ kWh / živ.}}}$$

$$E_l = \frac{\varepsilon \cdot Q_l \cdot 24 \cdot 10^{-3}}{(t_i - t_e)} \cdot d \cdot (t_{im} - t_{e,vo}) = \frac{0,9 \cdot 8,17 \cdot 24 \cdot 10^{-3}}{(22 + 15)} \cdot 235 \cdot (22 - 3,3) = 13,1 \text{ kWh / rok} \Rightarrow \underline{\underline{393 \text{ kWh / živ.}}}$$

### Tepelná bilance referenčního okna a rámu

Optimální vnitřní teplota = 22 °C

Výpočtová venkovní teplota = -15 °C

Délka otopného období = 235 dnů

Průměrná venkovní teplota = 3,3 °C

Životnost = 30 let

$U_{ref} = 2 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$

$$Q_w^{ref} = A_w \cdot U_{ref} \cdot \Delta t = 1,44 \cdot 2 \cdot (22 + 15) = 106,6 \text{ W}$$

$$Q_f^{ref} = A_f \cdot U_{ref} \cdot \Delta t = 0,626 \cdot 2 \cdot (22 + 15) = 46,3 \text{ W}$$

$$Q_g^{ref} = A_g \cdot U_{ref} \cdot \Delta t = 0,813 \cdot 2 \cdot (22 + 15) = 60,1 \text{ W}$$

$$E_w^{ref} = \frac{\varepsilon \cdot Q_w^{ref} \cdot 24 \cdot 10^{-3}}{(t_i - t_e)} \cdot d \cdot (t_{im} - t_{e,vo}) = \frac{0,9 \cdot 106,6 \cdot 24 \cdot 10^{-3}}{(22 + 15)} \cdot 235 \cdot (22 - 3,3) = 171,1 \text{ kWh / rok} \Rightarrow \underline{\underline{5133 \text{ kWh / živ.}}}$$

$$E_f^{ref} = \frac{\varepsilon \cdot Q_f^{ref} \cdot 24 \cdot 10^{-3}}{(t_i - t_e)} \cdot d \cdot (t_{im} - t_{e,vo}) = \frac{0,9 \cdot 46,3 \cdot 24 \cdot 10^{-3}}{(22 + 15)} \cdot 235 \cdot (22 - 3,3) = 80,71 \text{ kWh / rok} \Rightarrow \underline{\underline{2421 \text{ kWh / živ.}}}$$

$$E_g^{ref} = \frac{\varepsilon \cdot Q_g^{ref} \cdot 24 \cdot 10^{-3}}{(t_i - t_e)} \cdot d \cdot (t_{im} - t_{e,vo}) = \frac{0,9 \cdot 60,1 \cdot 24 \cdot 10^{-3}}{(22 + 15)} \cdot 235 \cdot (22 - 3,3) = 96,6 \text{ kWh / rok} \Rightarrow \underline{\underline{2897 \text{ kWh / živ.}}}$$

Energetická úspora na rámu je 538,5 kWh za dobu životnosti rámu.

### **Redukce emisí ze spalování hnědého uhlí**

energie = 0,5385 MWh = 0,1496 GJ (= 4,96 kg modelového paliva)

CO<sub>2</sub> = 0,36 kg CO<sub>2</sub> / MWh = > 193,9 kg CO<sub>2</sub>

tuhé emise = 5.A<sub>P</sub> (A<sub>P</sub> = 20%) kg / t spáleného paliva = 0,496 kg tuhých emisí

SO<sub>2</sub> = 19.S (A<sub>P</sub> = 3%) kg / t spáleného paliva = 0,282 kg SO<sub>2</sub>

NO<sub>x</sub> = 3 kg / t spáleného paliva = 0,01488 kg NO<sub>x</sub>

CO = 4 kg / t spáleného paliva = 0,01984 kg CO

## **Příloha 13 – Emise z povrchových úprav**

### **Povrchové úpravy**

energie = 0,0032 GJ = 0,00088 MWh

CO<sub>2</sub> = 1,17 t CO<sub>2</sub> / MWh = 1,0296 kg CO<sub>2</sub>

tuhé emise = 9 g / GJ = 2,88.10<sup>-5</sup> kg

SO<sub>2</sub> = 188 g / GJ = 6,016.10<sup>-4</sup> kg SO<sub>2</sub>

NO<sub>x</sub> = 1200 g / GJ = 3,84.10<sup>-3</sup> kg NO<sub>x</sub>

CO = 12 g / GJ = 3,84.10<sup>-5</sup> kg CO

### **Renovace**

energie = 0,000397 GJ = 0,00011 MWh

Za dobu 30 let životnosti je třeba provádět renovaci cca 5 x.

CO<sub>2</sub> = 1,17 t CO<sub>2</sub> / MWh = 0,1287 kg CO<sub>2</sub> => 0,6435 kg CO<sub>2</sub> / živ.

tuhé emise = 9 g / GJ = 3,573.10<sup>-6</sup> kg => 2,144.10<sup>-5</sup> kg tuhých emisí / živ.

SO<sub>2</sub> = 188 g / GJ = 7,464.10<sup>-5</sup> kg SO<sub>2</sub> => 4,478.10<sup>-4</sup> kg SO<sub>2</sub> / živ.

NO<sub>x</sub> = 1200 g / GJ = 4,764.10<sup>-4</sup> kg NO<sub>x</sub> => 2,8584.10<sup>-3</sup> kg NO<sub>x</sub> / živ.

CO = 12 g / GJ = 4,764.10<sup>-6</sup> kg CO => 2,8584.10<sup>-5</sup> kg NO<sub>x</sub> / živ.

## **Příloha 14 – Energetická náročnost a emise z obrábění**

### **Emise z obrábění – elektřina (ČEZ, 2007)**

energie             $0,0331 \text{ GJ} / \text{produkt} = 0,009194 \text{ MWh} / \text{produkt}$

$\text{CO}_2$              $= 1,17 \text{ t CO}_2 / \text{MWh} = 10,76 \text{ kg CO}_2 / \text{produkt}$

tuhé emise        $= 9 \text{ g} / \text{GJ} = 2,979 \cdot 10^{-4} \text{ kg tuhých emisí} / \text{produkt}$

$\text{SO}_2$              $= 188 \text{ g} / \text{GJ} = 6,222 \cdot 10^{-3} \text{ kg SO}_2 / \text{produkt}$

$\text{NO}_x$              $= 1200 \text{ g} / \text{GJ} = 0,0397 \text{ kg NO}_x / \text{produkt}$

$\text{CO}$               $= 12 \text{ g} / \text{GJ} = 3,972 \cdot 10^{-4} \text{ kg CO} / \text{produkt}$



## Příloha 15 – Emise z přidružených činností

Energetická náročnost přidružených činností podle Weira *et* Muneera (1996)

Administrativa	0,00210	GJ (elektřina)
Vývoj a příprava výroby	0,00170	GJ (elektřina)
Vytápění	0,01130	GJ (plyn)
Osvětlení	0,02450	GJ (elektřina)

### Administrativa – elektřina (ČEZ, 2007)

energie       $0,00210 \text{ GJ} / \text{produkt} = 0,00058 \text{ MWh} / \text{produkt}$

CO<sub>2</sub>           $= 1,17 \text{ t CO}_2 / \text{MWh} = 0,6825 \text{ kg CO}_2 / \text{produkt}$

tuhé emise     $= 9 \text{ g} / \text{GJ} = 1,89 \cdot 10^{-5} \text{ kg tuhých emisí} / \text{produkt}$

SO<sub>2</sub>           $= 188 \text{ g} / \text{GJ} = 3,948 \cdot 10^{-4} \text{ kg SO}_2 / \text{produkt}$

NO<sub>x</sub>           $= 1200 \text{ g} / \text{GJ} = 2,52 \cdot 10^{-3} \text{ kg NO}_x / \text{produkt}$

CO             $= 12 \text{ g} / \text{GJ} = 2,52 \cdot 10^{-5} \text{ kg CO} / \text{produkt}$

### Vývoj a příprava výroby – elektřina (ČEZ, 2007)

energie       $0,00170 \text{ GJ} / \text{produkt} = 0,00047 \text{ MWh} / \text{produkt}$

CO<sub>2</sub>           $= 1,17 \text{ t CO}_2 / \text{MWh} = 0,5525 \text{ kg CO}_2 / \text{produkt}$

tuhé emise     $= 9 \text{ g} / \text{GJ} = 1,53 \cdot 10^{-5} \text{ kg tuhých emisí} / \text{produkt}$

SO<sub>2</sub>           $= 188 \text{ g} / \text{GJ} = 3,196 \cdot 10^{-4} \text{ kg SO}_2 / \text{produkt}$

NO<sub>x</sub>           $= 1200 \text{ g} / \text{GJ} = 2,04 \cdot 10^{-3} \text{ kg NO}_x / \text{produkt}$

CO             $= 12 \text{ g} / \text{GJ} = 2,04 \cdot 10^{-5} \text{ kg CO} / \text{produkt}$

**Vytápění – plyn** (vyhláška č. 352/2002 Sb.)

energie = 0,02450 GJ = 0,0068 MWh ( = 0,74 m<sup>3</sup> zemního plynu / produkt )

CO<sub>2</sub> = 0,20 t CO<sub>2</sub> / MWh = 1,36 kg CO<sub>2</sub> / produkt

tuhé emise = 20 kg / 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> spáleného paliva = 1,48.10<sup>-5</sup> kg tuhých emisí / produkt

SO<sub>2</sub> = 2,S (S = 9,6 %) kg / 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> spáleného paliva = 1,46.10<sup>-5</sup> kg SO<sub>2</sub> / produkt

NO<sub>x</sub> = 3 300 kg / 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> spáleného paliva = 2,442.10<sup>-3</sup> kg NO<sub>x</sub> / produkt

CO = 320 kg / 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> spáleného paliva = 2,368.10<sup>-4</sup> kg CO / produkt

**Osvětlení – elektřina** (ČEZ, 2007)

energie 0,02450 GJ / produkt = 0,00068 MWh / produkt

CO<sub>2</sub> = 1,17 t CO<sub>2</sub> / MWh = 7,96 kg CO<sub>2</sub> / produkt

tuhé emise = 9 g / GJ = 2,205.10<sup>-4</sup> kg tuhých emisí / produkt

SO<sub>2</sub> = 188 g / GJ = 4,606.10<sup>-3</sup> kg SO<sub>2</sub> / produkt

NO<sub>x</sub> = 1200 g / GJ = 0,0294 kg NO<sub>x</sub> / produkt

CO = 12 g / GJ = 2,94.10<sup>-4</sup> kg CO / produkt

## Příloha 16 – Uhlíkové a energetické koeficienty stavebních materiálů

### Produkce hlavních emisí

Bez započtení úspor

CO <sub>2</sub>		48,2297	kg
CO		0,018431	kg
SO <sub>2</sub>		0,064106	kg
NO <sub>x</sub>	NO	0,120942	kg
	NO <sub>2</sub>	0,120942	kg

Se započtenými úsporami

CO <sub>2</sub>		-172,422	kg
CO		-0,00141	kg
SO <sub>2</sub>		-0,21789	kg
NO <sub>x</sub>	NO	0,113502	kg
	NO <sub>2</sub>	0,113502	kg

### Kategorie dopadů

Bez započtení úspor

GWP	48,2297	kg ekv. CO <sub>2</sub>
OPD	0	kg ekv. CFC-11
Acid. pot.	0,278174	kg ekv. SO <sub>2</sub>
Eutrof. pot.	0,413622	kg ekv. N
	0	kg ekv. P

Se započtenými úsporami

GWP	0	kg ekv. CO <sub>2</sub>
OPD	0	kg ekv. CFC-11
Acid. pot.	0	kg ekv. SO <sub>2</sub>
Eutrof. pot.	0,388178	kg ekv. N
	0	kg ekv. P

**Příloha 17 – Uhlíkové a energetické koeficienty stavebních materiálů**(Buchanan *et* Honey, 1993)

No	MATERIAL/WORK	Unit	Elect	Gas	Oil	Coal	Capital	Imports	Energy Coeff. MJ/Unit	Level
1	Profits	no	0	0	0	0	0	0	0	0
2	Preliminaries	\$	5.20	0.90	11.2	4.50	0.30	17.4	39.5	4
3	Administration	\$	2.20	1	8.50	3.90	0	6.90	22.5	4
4	Earthwork	m <sup>3</sup>	0	0	100	0	0	0	100	1
5	Labour	no	0	0	0	0	0	0	0	0
6	Site.Work.(Oil)	MJ	0	0	1	0	0	0	1	1
7	Timber.Rough	m <sup>3</sup>	232	17	378	87	14	120	848	4
7b	Timber.air-dry, treated	m <sup>3</sup>	329	24	535	123	20	170	1200	4
7c	Timber.Glulam	m <sup>3</sup>	1224	82	1808	449	55	883	4500	4
8	Timber.kiln-dry, treated	m <sup>3</sup>	1280	85	1885	468	57	921	4690	4
9	Timber.Formwork	m <sup>3</sup>	77	6	126	29	5	40	283	4
10	Hardboard	m <sup>3</sup>	5920	379	7050	2650	531	4100	20600	4
11	Softwood	m <sup>3</sup>	4440	284	5290	1990	400	3070	15470	4
12	Particleboard	m <sup>3</sup>	3700	237	4408	1660	332	2560	12900	4
13	Plywood	m <sup>3</sup>	1940	600	2360	3100	80	1360	9440	4
14	Veneer	m <sup>3</sup>	2310	720	2800	3680	100	1610	11200	4
15	Wall.Paper	m <sup>2</sup>	4.25	0.73	3.80	4.02	0.06	2.06	14.9	4

No	MATERIAL/WORK	Unit	Elect	Gas	Oil	Coal	Capital	Imports	Energy Coeff. MJ/Unit	Level
16	Building.Paper	m <sup>2</sup>	2.13	0.36	1.90	2.01	0.03	1.03	7.46	4
17	Cement	t	880	10	430	7340	60	260	8980	4
18	Concrete.Precast	m <sup>3</sup>	575	69	1380	1730	89	942	4780	4
19	Concrete.Insitu	m <sup>3</sup>	403	10	906	2180	19	321	3840	4
20	Lime.Mortar.1:2	m <sup>3</sup>	345	7	748	1020	30	348	2500	4
21	Cement.Mortar.1:2	m <sup>3</sup>	589	7	313	4840	40	187	5980	4
22	Structural.Clay	kg	0.53	0.01	3.30	2.23	0.38	0.44	6.90	4
23	Other.Clay	kg	25	24	41	75	2	32	199	2
24	Plaster.Solid	kg	0.81	0.33	2.61	0.33	0	2.60	6.68	2
25	Plaster.Fibrous	kg	0.81	0.33	2.61	0.33	0	2.60	6.68	2
26	Gib.board	m <sup>3</sup>	590	170	1530	1080	0	1630	5000	2
27	Asbestos.Cement	kg	0.96	0.27	2.49	1.76	0.08	2.65	8.21	4
28	Asbestos.Others	kg	0.96	0.27	2.47	1.76	0.08	2.65	8.19	4
29	Asphalt.Felts	kg	1.10	0.70	24.70	1.90	0.10	2.60	31.1	4
30	Bitumen.Felt	kg	1.30	0.80	30.30	2.30	0.10	3.20	38.0	4
31	Glass	kg	3.51	3.56	10.70	5.04	0.32	8.37	31.5	4
32	Steel.General	kg	10.70	1.80	2.20	7.10	0.20	12.90	34.9	4
33	Steel.Rods	kg	4.74	1.19	3.56	3.56	0.21	21.68	34.9	4
34	Steel.Sections	kg	8	2	6	6	0.4	36.6	59	4
35	Galvanised.Iron	kg	3.40	1.3	3.4	3	0.2	25.6	36.9	4
36	Steel.Pipes	kg	7.70	1.9	5.8	5.8	0.4	35.3	56.9	4
37	Metals.Non-ferrous	kg	0	0	0	0	0	0	0	0
38	Aluminium.General	kg	65	0	18	8	0	39	130	2
39	Aluminium.Sheets	kg	72	0	26	8	0	39	145	2
40	Aluminium.Extrusion	kg	72	0	26	8	0	39	145	2
41	Aluminium.Foil	kg	81	0	26	8	0	39	154	2
42	Copper	kg	6.2	1.6	4.7	4.7	0.3	28.4	45.9	4
43	Zinc	kg	9.3	2.3	7	7	0.4	42.4	68.4	4
44	Lead	kg	3.4	0.9	2.6	2.6	0.1	15.6	25.2	4
45	Plastics.General	kg	18	7	16	14	1	104	160	4
46	Polyethylene	kg	2	0	2	0	0	108	112	2



No	MATERIAL/WORK	Unit	Elect	Gas	Oil	Coal	Capital	Imports	Energy Coeff. MJ/Unit	Level
47	Polystyrene	kg	2	0	2	0	0	96	100	2
48	PVC	kg	2	0	2	0	0	92	96	2
49	Polypropylene	kg	2	0	2	0	0	171	175	2
50	Paints.General	m <sup>2</sup>	0.52	0.2	1.51	0.51	0.09	12.07	15	4
51	Paints.Water-soluble	kg	0.31	0.1	0.75	0.26	0.04	6.04	7.5	4
52	Paints.Emulsion	m <sup>2</sup>	0.41	0.13	1.01	0.34	0.06	8.05	10	4
53	Paints.Oil-based	m <sup>2</sup>	0.5	0.16	1.21	0.41	0.07	9.65	12	4
54	Electrical.Work	\$	5.2	0.9	11.2	4.5	0.3	17.2	39.3	4
55	Wiring	m	0.59	0.15	0.45	0.45	0.03	2.7	4.37	4
56	Electric.Equipment	\$	5	1.8	5	4.1	0.4	30.5	46.8	4
57	Electric.Range	no	816	552	816	912	48	3320	6470	4
58	Aggregate	t	50	0	140	20	10	70	290	4
59	Masonry.Stone	t	50	0	140	20	10	70	290	4
60	Sand	t	10	0	20	0	0	10	40	4
61	Rubber.Synthetic	kg	13	1	18	14	2	100	148	4
62	Insulation.Fibre	kg	2.7	0.8	7	4.9	0.2	7.4	23	4
63	Fibreglass.Batts	kg	17.6	5	45.5	32	1.5	48.5	150	4
64	Brass	kg	6.7	1.7	5	5	0.3	30.5	49.2	4
65	Asphalt.Strip.Shingle	m <sup>2</sup>	9.7	6	223	17	0.7	23.7	280	4
66	Asphalt.Surface.Rolled	m <sup>2</sup>	2.9	1.8	67.7	5.2	0.2	7.2	85	4
67	Chip-seal.Pavement	m <sup>2</sup>	0.2	0.22	7.98	0.02	0	0	8.42	1
68	Lime.Hydrated	kg	1.4	0.03	3.06	4.35	0.13	1.42	10.39	4
69	Quicklime	kg	1	0.02	2.18	3.10	0.09	1.01	7.4	4
70	Site.Power	MJ	1	0	0	0	0	0	1	1
71	Site.Power	\$	300	0	0	0	0	0	300	1
72	Transport.Road.30km	tonne	0	0	114	0	0	0	114	1
73	Transport.Road.50km	tonne	0	0	190	0	0	0	190	1
74	Transport.Road.100km	tonne	0	0	230	0	0	0	230	1
75	Transport.Rail.200km	tonne	0	0	146	0	0	0	146	1
76	Transport.Rail.500km	tonne	0	0	365	0	0	0	365	1
77	Transport.General	\$	0	0	35	0	0	0	35	1

No	MATERIAL/WORK	Unit	Energy Coeff. MJ/Unit	SCENARIO ONE		SCENARIO TWO		
				Fossil fuel energy burned MJ/Unit	Carbon released kg C/Unit	Fossil fuel energy burned MJ/Unit	Carbon released kg C/Unit	Level
1	Profits	no	0	0	0	0	0	0
2	Preliminaries	\$	39.5	37.1	0.7	58.3	1.17	4
3	Administration	\$	22.5	21.7	0.43	28.8	0.58	4
4	Earthwork	m <sup>3</sup>	100	100	2	100	2	1
5	Labour	no	0	0	0	0	0	0
6	Site.Work.(Oil)	MJ	1	1	0.02	1	0.02	1
7	Timber.Rough	m <sup>3</sup>	848	779	15.6	1400	28	4
7b	Timber.air-dry,treated	m <sup>3</sup>	1200	1100	22	1980	39.6	4
7c	Timber.Glulam	m <sup>3</sup>	4500	4110	82.3	7590	152	4
8	Timber.kiln-dry,treated	m <sup>3</sup>	4692	4290	85.8	7920	158	4
9	Timber.Formwork	m <sup>3</sup>	283	260	5.2	466	9.32	4
10	Hardboard	m <sup>3</sup>	20600	18700	374	35800	717	4
11	Softwood	m <sup>3</sup>	15500	14000	281	26900	538	4
12	Particleboard	m <sup>3</sup>	12900	11700	234	22400	448	4
13	Plywood	m <sup>3</sup>	9440	8870	177	14020	280	4
14	Veneer	m <sup>3</sup>	11200	10500	211	16600	332	4
15	Wall.Paper	m <sup>2</sup>	14.9	13.7	0.27	24.8	0.5	4
16	Building.Paper	m <sup>2</sup>	7.46	6.84	0.14	12.43	0.25	4
17	Cement	t	8980	8750	311	10800	352	4
18	Concrete.Precast	m <sup>3</sup>	4780	4600	135	6250	168	4
19	Concrete.Insitu	m <sup>3</sup>	3840	3730	118	4730	138	4
20	Lime.Mortar.1:2	m <sup>3</sup>	2500	2400	48	3310	66.3	4
21	Cement.Mortar.1:2	m <sup>3</sup>	5980	5830	117	7200	144	4
22	Structural.Clay	kg	6.9	6.75	0.13	8.10	0.16	4
23	Other.Clay	kg	199	191	3.83	259	5.19	2
24	Plaster.Solid	kg	6.68	6.35	0.13	9.33	0.19	2
25	Plaster.Fibrous	kg	6.68	6.35	0.13	9.33	0.19	2
26	Gib.board	m <sup>3</sup>	5000	4780	96	6750	135	2
27	Asbestos.Cement	kg	8.21	7.85	0.16	11.09	0.22	4



No	MATERIAL/WORK	Unit	Energy Coeff. MJ/Unit	SCENARIO ONE		SCENARIO TWO		
				Fossil fuel energy burned MJ/Unit	Carbon released kg C/Unit	Fossil fuel energy burned MJ/Unit	Carbon released kg C/Unit	Level
28	Asbestos.Others	kg	8.19	7.83	0.16	11.07	0.22	4
29	Asphalt.Felts	kg	31.1	30.8	0.62	33.5	0.67	4
30	Bitumen.Felt	kg	38.0	37.6	0.75	40.9	0.82	4
31	Glass	kg	31.5	30.3	0.61	41.2	0.82	4
32	Steel.General	kg	34.9	30.6	0.61	69.16	1.38	4
33	Steel.Rods	kg	34.9	31.8	0.64	60.3	1.21	4
34	Steel.Sections	kg	59.0	53.6	1.07	102	2.04	4
35	Galvanised.Iron	kg	36.9	34.1	0.68	59.51	1.19	4
36	Steel.Pipes	kg	56.9	51.7	1.03	98.2	1.96	4
37	Metals.Non-ferrous	kg	0	0	0	0	0	0
38	Aluminium.General	kg	130	106	2.25	317	6.47	2
39	Aluminium.Sheets	kg	145	120	2.53	343	7.00	2
40	Aluminium.Extrusion	kg	145	120	2.53	343	7.00	2
41	Aluminium.Foil	kg	154	127	2.66	372	7.58	2
42	Copper	kg	45.9	41.8	0.84	79.0	1.58	4
43	Zinc	kg	68.4	62.2	1.24	118	2.36	4
44	Lead	kg	25.2	23	0.46	43.2	0.86	4
45	Plastics.General	kg	160	147	2.94	265	5.29	4
46	Polyethylene	kg	112	98	1.96	224	4.48	2
47	Polystyrene	kg	100	87	1.75	200	4.00	2
48	PVC	kg	96	84	1.68	192	3.84	2
49	Polypropylene	kg	175	153	3.06	350	7.00	2
50	Paints.General	m <sup>2</sup>	15.0	14.2	0.28	21.6	0.43	4
51	Paints.Water-soluble	kg	7.50	7.09	0.14	10.8	0.22	4
52	Paints.Emulsion	m <sup>2</sup>	10	9.46	0.19	14.3	0.29	4
53	Paints.Oil-based	m <sup>2</sup>	12	11.3	0.23	17.3	0.35	4
54	Electrical.Work	\$	39.3	37.0	0.74	58.1	1.16	4
55	Wiring	m	4.37	3.98	0.08	7.51	0.15	4
56	Electric.Equipment	\$	46.8	43.1	0.86	76.2	1.52	4
57	Electric.Range	no	6470	6040	121	9880	198	4



No	MATERIAL/WORK	Unit	Energy Coeff. MJ/Unit	SCENARIO ONE		SCENARIO TWO		
				Fossil fuel energy burned MJ/Unit	Carbon released kg C/Unit	Fossil fuel energy burned MJ/Unit	Carbon released kg C/Unit	Level
58	Aggregate	t	290	273	5.45	428	8.56	4
59	Masonry.Stone	t	290	273	5.45	428	8.56	4
60	Sand	t	40	36.7	0.73	66.7	1.33	4
61	Rubber.Synthetic	kg	148	138	2.75	232	4.63	4
62	Insulation.Fibre	kg	23	22	0.44	31.1	0.62	4
63	Fibreglass.Batts	kg	150	144	2.87	203	4.06	4
64	Brass	kg	49	44.7	0.89	85.0	1.70	4
65	Asphalt.Strip.Shingle	m <sup>2</sup>	280	277	5.55	301	6.03	4
66	Asphalt.Surface.Rolled	m <sup>2</sup>	85.0	84.2	1.68	91.3	1.83	4
67	Chip-seal.Pavement	m <sup>2</sup>	8.42	8.37	0.17	8.82	0.18	1
68	Lime.Hydrated	kg	104	9.98	0.20	13.7	0.27	4
69	Quicklime	kg	7.40	7.11	0.14	9.75	0.19	4
70	Site.Power	MJ	1.00	0.75	0.02	3.00	0.06	1
71	Site.Power	\$	300	225	4.50	900	18.0	1
72	Transport.Road.30km	tonne	114	114	2.28	114	2.28	1
73	Transport.Road.50km	tonne	190	190	3.80	190	3.80	1
74	Transport.Road.100km	tonne	230	230	4.60	230	4.60	1
75	Transport.Rail.200km	tonne	146	146	2.92	146	2.92	1
76	Transport.Rail.500km	tonne	365	365	7.30	365	7.30	1
77	Transport.General	\$	35	35.0	0.70	35	0.70	1

**Příloha 18 – Indikátory dopadů na životní prostředí (Jensen *et al.*, 2003)****Potenciál působit globální oteplování**

Substance	Formula	GWP, 20 years	GWP, 100 years	GWP, 500 years	Life time, years
Carbon dioxide	CO <sub>2</sub>	1	1	1	150
Methane	CH <sub>4</sub>	62	25	7.5	10
Nitrogen dioxide	NO <sub>2</sub>	290	320	180	120
Tetrachloromethane	CCl <sub>4</sub>	2,000	1,400	500	42
Trichloromethane	CHCl <sub>3</sub>	15	5	1	0.55
Dichloromethane	CH <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub>	28	9	3	0.41
Chloromethane	CH <sub>3</sub> Cl	92	25	9	0.7
1,1,1-Trichloroethane	CH <sub>3</sub> CCl <sub>3</sub>	360	110	35	5.4
Tetrafluoromethane	CF <sub>4</sub>	4,100	6,300	9,800	50,000
Hexafluoroethane	C <sub>2</sub> F <sub>6</sub>	8,200	12,500	19,100	10,000
CFC-11	CFCI <sub>3</sub>	5,000	4,000	1,400	50
CFC-12	CF <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub>	7,900	8,500	4,200	102
CFC-13	CF <sub>3</sub> Cl	8,100	11,700	13,600	640
CFC-113	CF <sub>3</sub> ClCFCI <sub>2</sub>	5,000	5,000	2,300	85
CFC-114	CF <sub>3</sub> ClCF <sub>2</sub> Cl	6,900	9,300	8,300	300
CFC-115	CF <sub>3</sub> ClCF <sub>3</sub>	6,200	9,300	13,000	1,700
HCFC-22	CHF <sub>2</sub> Cl	4,300	1,700	520	13
HCFC-123	CF <sub>3</sub> CHCl <sub>2</sub>	300	93	29	1.4
HCFC-124	CF <sub>3</sub> CHFCI	1,500	480	150	5.9
HCFC-141b	CFCI <sub>2</sub> CH <sub>3</sub>	1,800	630	200	9.4
HCFC-142b	CF <sub>2</sub> ClCH <sub>3</sub>	4,200	2,000	630	19.5
HCFC-225ca	C <sub>3</sub> F <sub>5</sub> HCl <sub>2</sub>	550	170	52	2.5
HCFC-225cb	C <sub>3</sub> F <sub>5</sub> HCl <sub>2</sub>	1,700	530	170	6.6
HFC-23	CHF <sub>3</sub>	9,200	12,100	9,900	250
HFC-32	CH <sub>2</sub> F <sub>2</sub>	1,800	580	180	6
HFC-43-10me	C <sub>3</sub> H <sub>7</sub> F <sub>10</sub>	3,300	1,600	520	21
HFC-125	CF <sub>3</sub> CHF <sub>2</sub>	4,800	3,200	1,100	36
HFC-134	CHF <sub>2</sub> CHF <sub>2</sub>	3,100	1,200	370	12
HFC-134a	CH <sub>2</sub> FCF <sub>3</sub>	3,300	1,300	420	14
HFC-143	CHF <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> F	950	290	90	3.5
HFC-143	CF <sub>3</sub> CH <sub>3</sub>	5,200	4,400	1,600	55
HFC-152a	CHF <sub>2</sub> CH <sub>3</sub>	460	140	44	1.5
HFC-227ea	C <sub>3</sub> HF <sub>7</sub>	4,500	3,300	1,100	41
HFC-236fa	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> F <sub>6</sub>	6,100	8,000	6,600	250
HFC-245ca	C <sub>3</sub> H <sub>3</sub> F <sub>6</sub>	1,900	610	190	7
Halon 1301	CF <sub>3</sub> Br	6,200	5,600	2,200	65
Sulfur hexafluoride	SF <sub>6</sub>	16,500	24,900	36,500	3,200
Carbon monoxide	CO	-	-	-	months
non-Methane VOC	-	-	-	-	days-months
Nitrogen oxides	NO <sub>x</sub>	-	-	-	days

**Acidifikační potenciál**

Substance	Formula	Reaction	Molar weight g/mole	AP kg SO <sub>2</sub> /kg
Sulfur dioxide	SO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub> +H <sub>2</sub> O⇌H <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> ⇌2H <sup>+</sup> +SO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	64.06	1
Sulfur trioxide	SO <sub>3</sub>	SO <sub>3</sub> +H <sub>2</sub> O⇌H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ⇌2H <sup>+</sup> +SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	80.06	0.80
Nitrogen dioxide	NO <sub>2</sub>	NO <sub>2</sub> +H <sub>2</sub> O+1/4O <sub>2</sub> ⇌H <sup>+</sup> +NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	46.01	0.70
Nitrogen oxide	NO	NO+O <sub>3</sub> +H <sub>2</sub> O⇌H <sup>+</sup> +NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> +3/4O <sub>2</sub>	30.01	1.07
Hydrogen chloride	HCl	HCl⇌H <sup>+</sup> +Cl <sup>-</sup>	36.46	0.88
Hydrogen nitrate	HNO <sub>3</sub>	HNO <sub>3</sub> ⇌H <sup>+</sup> +NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	63.01	0.51
Hydrogen sulfate	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ⇌2H <sup>+</sup> +SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	98.07	0.65
Hydrogen phosphate	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> ⇌3H <sup>+</sup> +PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	98.00	0.98
Hydrogen fluoride	HF	HF⇌H <sup>+</sup> +F <sup>-</sup>	20.01	1.60
Hydrogen sulfide	H <sub>2</sub> S	H <sub>2</sub> S+3/2O <sub>2</sub> +H <sub>2</sub> O⇌2H <sup>+</sup> +SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	34.03	1.88
Ammonium	NH <sub>3</sub>	NH <sub>3</sub> +2O <sub>2</sub> ⇌H <sup>+</sup> +NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> +H <sub>2</sub> O	17.03	1.88

### Eutrofikační potenciál

Substance	$M_w$ g/mole	EP(N) kg N/kg	EP(P) kg P/kg	EP kg $NO_3$ /kg
$NO_3^-$	62	0.23	0	1
$NO_2^-$	46	0.30	0	1.35
$NO_2^-$	46	0.30	0	1.35
$NO$	30	0.47	0	2.07
$NH_3$	17	0.82	0	3.64
$CN^-$	26	0.54	0	2.38
Total-N	14	1	0	4.43
$PO_4^{3-}$	95	0	0.33	10.45
$P_2O_4^{2-}$	174	0	0.35	11.41
Total-P	31	0	1	32.03