



## **Abstrakt**

Disertační práce je zaměřena na modelování projektů zlepšujících tepelně-technické vlastnosti budov. Řešením problému je nalezení alespoň jedné ekonomicky výhodné varianty. Základní metodou vyhodnocení ekonomické výhodnosti je sestavení všech souvisejících finančních toků a jejich vyjádření v čase pomocí diskontování.

Cílem disertační práce je zpracování a modelování jednotlivých investičních variant souvisejících se zlepšováním tepelně-technických vlastností budov a nalezení – v ideálním případě – varianty nákladově optimální.

Hlavním výstupem práce je vytvoření ucelené metodiky (modelové a simulační úlohy) využitelné pro definování všech potenciálních investičních variant projektů zlepšujících tepelně-technické vlastnosti objektu.

## **Abstract**

This doctoral thesis deals with the modelling of projects improving the thermal technical characteristics of buildings. The solution of this problem seems to be finding at least one cost-effective option. The basic method of evaluation of cost-effectiveness is represented by the compilation of all corresponding cash flows and their rendering in time through discounting.

The aim of the doctoral thesis is the processing and modeling of individual investment options related with improve the thermal-technical properties of buildings and finding a cost-optimal variants, ideally.

One of the expected outputs is to develop a comprehensive methodology (modeling and simulation task) useful for defining all potential investment projects improving variant thermal-technical properties of the object.

## **Klíčová slova**

Modelování, simulace, tepelně technické vlastnosti, obálka budovy, tepelná izolace, ekonomická efektivnost, tepelně-izolační materiál, životní cyklus budov, ekonomická charakteristika, technická charakteristika, analýza nákladů.

## **Keywords**

Modelling, simulation, thermal-technical properties, building envelope, thermal insulation, economic efficiency, insulation material, life-cycle of building, economic characteristics, cost analysis, economic characteristics,

**Bibliografická citace práce:**

VÝSKALA, M., *Modelování a simulace projektů zlepšujících tepelně-technické vlastnosti budov*, Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, 2014, 140 s textu, 50 s. příloh.  
Vedoucí disertační práce: doc. Ing. Jana Korytářová, Ph.D.

**Prohlášení:**

Prohlašuji, že jsem disertační práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje.

V Olomouci dne: .....

.....

podpis

**Poděkování:**

Poděkování patří zejména paní doc. Ing. Janě Korytářové, Ph.D. za trpělivé a podnětné vedení práce. Ing. Martě Štěpánové za pomoc při kontrole modelu a zadání kontrolní úlohy v autorizovaném software.

<b>1</b>	<b>Úvod</b>	13
<b>2</b>	<b>Vymezení cílů disertační práce a předpokládaných výstupů (hypotéza)</b>	14
<b>3</b>	<b>Východiska disertační práce</b>	15
3.1	Východiska legislativní	15
3.1.1	Zákon č. 406/2000 Sb., o hospodaření energií	15
3.1.2	Vyhláška č. 78/2013 Sb., o energetické náročnosti budov	16
3.1.3	ČSN 73 0540 Tepelná ochrana budov	16
3.2	Východiska odborná	17
3.3	Struktura disertační práce	18
<b>4</b>	<b>Modelování a simulace</b>	19
4.1	Model	19
4.2	Mentální model	19
4.3	Počítačový model	20
4.4	Simulace	20
4.4.1	Metoda Monte Carlo	20
4.4.2	Využití simulace a metody Monte Carlo	21
4.5	Požadavky kladené na ekonomicko-technické modely	21
4.6	Vstupní parametry modelů	22
4.7	Ladění modelů	22
4.8	Navrhování simulačních experimentů a analýza výsledků	23
4.9	Analýza výsledků	23
4.10	Simulace s konečným horizontem	24
4.10.1	Simulace dlouhodobého chování systému	24
4.10.2	Srovnání systémů a optimalizace	24
4.11	Shrnutí	25
<b>5</b>	<b>Vlastnosti stavebních konstrukcí</b>	27
5.1	Pokyny pro navrhování konstrukcí dle ČSN 73 0540	28
5.1.1	Obecné zásady navrhování budov a konstrukcí	28
5.2	Požadavky tepelné ochrany budov dle ČSN 73 0540	30
5.2.1	Součinitel prostupu tepla $U$	31
5.2.2	Prostup tepla obálkou budovy $U_{em}$	34
5.2.3	Lineární a bodový součinitel prostupu tepla $\Psi_k$ a $\chi_j$	34
5.2.4	Nejnižší vnitřní povrchová teplota	35
5.2.5	Pokles dotykové teploty podlahy $\Delta\theta_{10}$	36
5.2.6	Kondenzace vodní páry v konstrukci	36
5.2.7	Průvzdušnost funkčních spár výplní otvorů	37
5.2.8	Průvzdušnost obálky budovy	38
5.2.9	Výměna vzduchu v místnostech	38
5.2.10	Tepelná stabilita místnosti v zimním období	39
5.2.11	Tepelná stabilita místnosti v letním období	39
<b>6</b>	<b>Energetická náročnost budov</b>	41
6.1	Energetická bilance budov	42
6.2	Potřeba tepla na vytápění	43
6.2.1	Celkový tepelný tok prostupem tepla	44
6.2.2	Celkový tepelný tok větráním	44
6.3	Měrné tepelné ztráty a tepelné zisky budov	45
6.3.1	Celková měrná tepelná ztráta budovy (celkový měrný tepelný tok)	46
6.3.2	Měrný tepelný tok prostupem tepla	46
6.3.3	Přímý prostup tepla konstrukcemi	46
6.3.4	Prostup tepla zeminou	47
6.3.5	Prostup tepla přes nevytápěné prostory	48
6.3.6	Měrný tepelný tok větráním	50
6.3.7	Vnitřní tepelné zisky	51
6.3.8	Tepelné solární zisky	51
6.3.9	Stupeň využití tepelných zisků	52
<b>7</b>	<b>Postupy při provádění konstrukcí zlepšujících tepelně-technické vlastnosti obálky budov</b>	54
7.1	Střešní konstrukce	55
7.1.1	Ploché střechy	55
7.1.2	Šikmé střechy	59
7.2	Stropní konstrukce pod nevytápěným podkrovím	63

7.2.1	Izolace stropu shora .....	63
7.2.2	Izolace mezi dřevěnými trámy .....	64
7.2.3	Izolace stropu zesponu .....	64
7.3	Obvodové stěny – neprůhledné konstrukce .....	66
7.3.1	Zateplovací fasádní systémy .....	66
7.4	Podlahy na zemině .....	72
7.4.1	Izolace při chybějící podlahové desce .....	72
7.4.2	Izolace na podlahové desce .....	73
7.5	Výplně okenních a dveřních otvorů .....	74
7.5.1	Sanace stávajících oken a dveří .....	75
7.5.2	Výměna oken a dveří .....	76
7.5.3	Srovnání .....	76
7.6	Shrnutí nepoužívanějších technologických postupů .....	77
<b>8</b>	<b>Tepelně-izolační materiály</b> .....	<b>78</b>
8.1	Syntetické izolace .....	79
8.1.1	Polystyren (PS) .....	79
8.1.2	Polyuretanové, elastomerové, polyetylenové a fenolické pěny .....	82
8.2	Minerální izolace .....	82
8.2.1	Kamenná vlna .....	83
8.2.2	Skelné vlny .....	86
8.2.3	Pěnové sklo .....	87
8.3	Organické izolace .....	87
<b>9</b>	<b>Projektová dokumentace pro stanovení tepelně-technických vlastností budov</b> .....	<b>91</b>
9.1	Výkresová část projektové dokumentace .....	91
9.2	Textová část projektové dokumentace .....	92
<b>10</b>	<b>Náklady na zlepšování tepelně-technických vlastností budov</b> .....	<b>94</b>
10.1	Stanovení nákladů na zlepšování tepelně-technických vlastností obálky budovy .....	96
10.1.1	Střešní konstrukce .....	96
10.1.2	Stropní konstrukce .....	100
10.1.3	Obvodové stěny .....	101
10.1.4	Podlahy .....	102
10.1.5	Výplně otvorů .....	103
<b>11</b>	<b>Metodický postup řešení problému modelové úlohy</b> .....	<b>104</b>
11.1	Teoretické vymezení modelu – fáze tvorby modelu .....	104
11.2	Zadávané vstupní parametry nulové varianty .....	104
11.3	Postup výpočtu .....	105
11.4	Fáze testování (ladění) modelu .....	106
11.4.1	Výběr vhodného reprezentanta .....	106
11.4.2	Vyhodnocení současného stavu reprezentanta .....	107
11.4.3	Návrh technologických postupů zlepšujících tepelně-technické vlastnosti budovy .....	108
11.4.4	Stanovení nákladů .....	108
11.4.5	Vyhodnocení nejefektivnější varianty .....	108
<b>12</b>	<b>Případová studie</b> .....	<b>110</b>
12.1	Výběr objektu – reprezentanta .....	110
12.2	Popis objektu, současný stav (nulová varianta) .....	110
12.3	Skladby konstrukcí obálky budovy .....	112
12.3.1	Podlaha na terénu .....	112
12.3.2	Obvodové zdivo .....	112
12.3.3	Výplně okenních a dveřních otvorů .....	112
12.3.4	Stropní konstrukce nad 2. NP .....	112
12.4	Plocha konstrukcí obálky budovy .....	112
12.5	Tepelně-technické vlastnosti reprezentativního objektu .....	114
12.5.1	Součinitel prostupu tepla U konstrukcí obálky budovy .....	114
12.5.2	Prostup tepla obálkou budovy .....	116
12.5.3	Potřeba tepla na vytápění .....	116
12.5.4	Celková roční měrná spotřeba energie EPA .....	119
12.5.5	Stanovení energetické třídy podle vyhlášky č. 78/2013 Sb .....	120
12.6	Náklady na vytápění objektu .....	121
12.7	Ostatní provozní náklady objektu .....	121
12.8	Shrnutí nulové varianty .....	121
<b>13</b>	<b>Modelování investiční varianty</b> .....	<b>122</b>

13.1	Návrh a volba technologických postupů podle kapitoly 5 a volba izolačních postupů	122
13.1.1	Podlaha na terénu	122
13.1.2	Obvodové zdivo	122
13.1.3	Stropní konstrukce nad 2.NP	122
13.1.4	Výplně dveřních a okenních otvorů	123
13.2	Zpracovaná projektová dokumentace	124
13.3	Sestavení nákladů investičních variant	124
13.3.1	Podlaha na terénu	124
13.3.2	Obvodové zdivo (vnější stěny)	124
13.3.3	Výplně dveřních a okenních otvorů	126
13.3.4	Stropní konstrukce nad 2.NP	126
13.3.5	Modelování investičních variant	127
13.4	Shrnutí požadavků kladených na potenciální investiční varianty	127
13.4.1	Požadavky legislativní a tepelně-technické	127
13.4.2	Požadavky technické a technologické	128
13.4.3	Požadavky ekonomické	128
13.5	Stanovení celkových nákladů akceptovatelných investičních variant	128
13.6	Modelování akceptovatelných investičních variant	130
13.6.1	Sestavení základních akceptovatelných investičních variant	130
13.6.2	Optimalizace akceptovatelných investičních variant	131
13.7	Simulace akceptovatelných investičních variant	138
13.8	Shrnutí výsledků modelované úlohy	139
<b>14</b>	<b>Aplikace dosažených výsledků, diskuse</b>	<b>141</b>
<b>15</b>	<b>Závěry</b>	<b>143</b>
15.1	Dosažení cíle práce, potvrzení / vyvrácení hypotézy	143
15.2	Shrnutí	143
16	Použitá literatura	145
17	Seznam příloh	149



## Seznam tabulek

- Tab. 1** Energetické klasifikační třídy dle vyhlášky č. 78/2013 Sb.
- Tab. 1a** Vývoj požadavku součinitele prostupu tepla  $U$  [ $W/m^2 \cdot K$ ]
- Tab. 2** Obecné požadavky kladené na modely a jejich tvůrce
- Tab. 3** Jednotlivé fáze tvorby simulačního modelu
- 
- Tab. 4** Tepelné odpory při přestupu tepla podle ČSN 73 0540-3 [ $W/m^2K$ ]
- Tab. 5** Navýšení součinitele prostupu tepla  $\Delta U_{tbk}$  vlivem tepelných mostů
- Tab. 6** Požadovaný součinitel prostupu tepla  $U_N$  [ $W/m^2 \cdot K$ ] podle ČSN 730540-2
- Tab. 7** Požadované a doporučené hodnoty součinitele prostupu tepla  $U_{em}$
- Tab. 8** Požadované a doporučené hodnoty lin. a bodového činitele prostupu tepla
- Tab. 9** Přirážka  $\Delta U_{em}$  k základní hodnotě součinitele prostupu tepla
- Tab. 10** Požadované hodnoty součinitele  $i_{LV,N}$
- Tab. 11** Doporučené hodnoty celkové intenzity výměny vzduchu  $n_{50,N}$
- Tab. 12** Požadované hodnoty poklesu výsledné teploty v místnosti v zimním období
- Tab. 13** Požadované hodnoty  $\Delta \theta_{ai,max}$  a  $\theta_{ai,max}$
- 
- Tab. 14** Energetické klasifikační třídy dle vyhlášky č. 78/2013 Sb.
- Tab. 15** Počet megasekund v měsíci, průměrná měsíční teplota přilehlého prostoru
- Tab. 16** Celková energie globálního slunečního záření
- Tab. 17** Tepelně-technické vlastnosti zeminy
- Tab. 18**  $U_{ekv}$  pro podlahu na zemině v závislosti na  $U$  [ $W/m^2 \cdot K$ ] podlahou
- Tab. 19** Hodnoty teplotního korekčního činitele  $b_u$
- Tab. 20** Hodnoty propustnosti slunečního záření v závislosti na druhu zasklení
- 
- Tab. 21** Technologické postupy při zlepšování tepelně-technických vlastností budov
- Tab. 22** Srovnání variant zlepšujících tepelně-technické vlastnosti plochých střech
- Tab. 23** Srovnání variant zlepšujících tepelně-technické vlastnosti plochých střech
- Tab. 24** Srovnání variant zlepšujících tepelně-technické vlastnosti stropů pod nevytápěnými prostory
- Tab. 25** Srovnání variant zlepšujících tepelně-technické vlastnosti stropů pod nevytápěnými prostory
- Tab. 26** Srovnání variant zlepšujících tepelně-technické podlah na zemině
- Tab. 27** Součinitel prostupu tepla podle druhu okna a způsobu zasklení
- Tab. 28** Srovnání variant renovace a výměny okenních a dveřních konstrukcí
- 
- Tab. 29a** Použití stavebních izolací z polystyrenu EPS – základní desky
- Tab. 29b** Použití stavebních izolací z EPS – desky s vylepšenými vlastnostmi
- Tab. 30** Použití stavebních izolací z kamenné vlny ROCKWOOL
- Tab. 31** Použití stavebních izolací z kamenné vlny ISOVER (ORSIL)
- Tab. 32** Použití stavebních izolací z kamenné vlny ISOVER (ORSIL)
- Tab. 33** Fyzikální vlastnosti a užití produktů CANABEST
- Tab. 34** Fyzikální vlastnosti a užití organických izolačních materiálů
- 
- Tab. 35** Příklad základních údajů o výplních okenních otvorů

**Tab. 36** Příklad skladeb obvodových konstrukcí

**Tab. 37** Obecné technologické postupy zlepšující tepelně-technické vlastnosti budov

**Tab. 38** Způsob sestavení nákladů pro ploché střechy jednoplášťové PLUS

**Tab. 39** Způsob sestavení nákladů pro ploché střechy jednoplášťové DUO

**Tab. 40** Způsob sestavení nákladů pro ploché střechy dvouplášťové

**Tab. 41** Způsob sestavení nákladů pro ploché střechy, SDK pohled

**Tab. 42** Způsob sestavení nákladů pro šikmé střechy vložním izolantu zesponu

**Tab. 43** Způsob sestavení nákladů pro šikmé střechy izolované nadkroevní izolací

**Tab. 44** Způsob sestavení nákladů pro šikmé střechy izolované podkroevní izolací

**Tab. 45** Způsob sestavení nákladů pro stropy izolované svrchu

**Tab. 46** Způsob sestavení nákladů pro stropy izolované zafoukáním

**Tab. 47** Způsob sestavení nákladů pro provětrávaných zateplovacích systémů

**Tab. 48** Způsob sestavení nákladů pro kontaktní zateplovacích systémů

**Tab. 49** Plošné rozměry konstrukcí obálky budovy reprezentanta

**Tab. 50** Vstupní parametry tepelně-technických výpočtů odečtené z projektové dokumentace

**Tab. 51** Vypočtené součinitele prostupu tepla  $U$  [ $W/m^2K$ ] konstrukcí obálky budovy reprezentanta

**Tab. 52** Srovnání hodnot součinitele prostupu tepla  $U$  [ $W/m^2K$ ]

**Tab. 53** Srovnání hodnot prostupu tepla obálkou budovy  $U_{em}$  [ $W/m^2K$ ]

**Tab. 54** Rekapitulace měrného tepelného toku prostupem HT [ $W/K$ ]

**Tab. 55** Výpočet měrného toku větráním  $H_v$  [ $W/K$ ]

**Tab. 56** Potřeba tepla na vytápění [ $kWh$ ]

**Tab. 57** Vlastnosti průhledných částí obálky budovy

**Tab. 58** Měrná potřeba tepla na vytápění

**Tab. 59** Celková roční měrná spotřeba energie EPA [ $kWh/m^2rok$ ] reprezentativního objektu

**Tab. 60** Stanovení energetické třídy reprezentativního objektu podle vyhlášky č. 148/2007 Sb.

**Tab. 61** Stanovení nákladů na vytápění reprezentativního objektu

**Tab. 62** Technologické postupy při zlepšování tepelně-technických vlastností obálek

**Tab. 63** Náklady ostatních konstrukcí KZS

**Tab. 64** Tepelně- technická a cenová charakteristika izolačních materiálů a konstrukcí KZS

**Tab. 65** Tepelně- technická a cenová charakteristika izolačních materiálů a konstrukcí

**Tab. 66** Legislativní požadavky na modelované investiční varianty

**Tab. 67** Celkové náklady akceptovatelných investičních variant

**Tab. 68** Technicko-ekonomické hodnocení investičních variant - výběr variant pro optimalizaci

**Tab. 69** Srovnání nákladů (směrných cena cen tržních) na hlavní izolační materiál (izolant)

**Tab. 70** Celkové náklady optimalizovaných investičních variant – tržní ceny

**Tab. 71** IRR variant s kalkulovanou tržní cenou

**Tab. 72** IRR variant s kalkulovanou tržní cenou a přiznanou dotací

**Tab. 73** NPV a IRR variant s kalkulovanou tržní cenou při využití cizích zdrojů

**Tab. 74** Stanovení nákladů na vytápění reprezentativního objektu

**Tab. 75** IRR variant s kalkulovanou tržní cenou při rozdílném způsobu vytápění

**Tab. 76** Vstupní data pro simulaci celkových investičních nákladů

**Tab. 77** Simulované hodnoty ekonomických parametrů NPV a IRR

## Seznam obrázků

- Obr. 1** Princip výpočtu dodané energie
- Obr. 2** Schéma energetické bilance
- Obr. 3** Schematický přehled tepelných ztrát budovy
- Obr. 4** Schematický nákres prostupu tepla přes nevytápěné
  
- Obr. 5** Obecná skladba PLUS střechy a DUO střechy
- Obr. 6** Detail skladby PLUS střechy u atiky
- Obr. 7** Možnosti rekonstrukce šikmé střechy
- Obr. 8** Obecná skladba izolace šikmé střechy mezi krokvení
- Obr. 9** Skladba nadkrokevního systému ISOVER
- Obr. 10** Obecná skladba podkrokevní tepelné izolace
- Obr. 11** Trámový strop s nafoukanou tepelnou izolací
- Obr. 12** Obecná skladba podhledu stropu
- Obr. 13** Detail založení KZS u soklového zdiva
- Obr. 14** Detail založení KZS v návaznosti na stropní konstrukci
- Obr. 15** Detail založení KZS v návaznosti na stropní konstrukci
- Obr. 16** Detail založení KZS v návaznosti na stropní konstrukci
- Obr. 17** Detail založení KZS v návaznosti na stropní konstrukci
- Obr. 18** Detail původního podlahového souvrství a podlahové souvrství s nasypanou tepelnou izolací
- Obr. 19** Detail původního podlahového souvrství a podlahové souvrství s nasypanou tepelnou izolací
  
- Obr. 20** Rozdělení tepelných izolací podle výrobních surovin
  
- Obr. 21.** Schematické zobrazení půdorysu včetně soustavy rozměrů
  
- Obr.22** Reprezentativní objekt (jihovýchodní pohled)
- Obr.23** Reprezentativní objekt (severovýchodní pohled)

## Seznam použitých zkratk

CO <sub>2</sub>	oxid uhličitý
ČSN	Česká státní norma
ČSN EN ISO	implementovaná Evropská technická norma
č. p.	číslo popisné
DB	dveře (označení konstrukce reprezentativního objektu)
DIN	Technická norma Spolkové republiky Německo
EHS	Evropské hospodářské společenství
ENB	Energetická náročnost budov
EPS	expandovaný polystyren
ES	Evropské Společenství
EU	Evropská Unie
EX	exteriér
IN	interiér
IRR	Vnitřní výnosové procento
KZS	kontaktní zateplovací systém
NP	nadzemní podlaží
NPV	Čistá současná hodnota
OZ	otvor okenní (označení konstrukce reprezentativního objektu)
PENB	Průkaz energetické náročnosti budov
PDL	podlaha (označení konstrukce reprezentativního objektu)
PIR	typ polyuretanové pěny (tepelný izolant)
PUR	typ polyuretanové pěny (tepelný izolant)
PVC	polyvinylchlorid
PZS	provětrávaný zateplovací systém
Sb.	sbírka zákonů České republiky
SDK	sádrokarton
SO	obvodová stěna (označení konstrukce reprezentativního objektu)
STR	stropní konstrukce (označení konstrukce reprezentativního objektu)
TNI	Technické normalizační informace
TUV	teplá užitková voda
TSKP	Třídění stavebních konstrukcí a prací
XPS	extrudovaný polystyren

## 1 ÚVOD

Vliv provozu budov na spotřebu energie a na životní prostředí je mimořádný, potřeba energie pro provoz budov je v zemích Evropského společenství vyšší než 40% z celkové spotřeby energií [82].

Investování do zlepšování tepelně-technických vlastností budov není proto pouze nutností z hlediska úspor energií potřebných pro vytápění, ale také nutností celospolečenskou.

Snaha snižovat energetickou náročnost v této oblasti je žádoucí. V současné době téměř nepředvídatelného kolísání ceny energií a obav z vyčerpání některých zdrojů je snižování energetické náročnosti nevyhnutelné, a to jak pro společnost jako celek, tak i pro jednotlivce.

Jedním z požadavků na budoucí výstavbu, a zejména na rekonstrukce výstavby již realizované, je i požadavek na dostatečnou tepelně-technickou ochranu zejména v souvislosti ze Směrnicí Evropského parlamentu a Rady 2010/31/ES o energetické náročnosti budov ze dne 19. května 2010. Směrnice mimo jiné stanoví společný rámec výpočtových metod energetické náročnosti budov. Definovány jsou také minimální požadavky na energetickou náročnost budov při zachování nákladově optimální úrovně [82] [dále prakticky rozvinuto 12].

V České republice existuje rozsáhlá legislativa upravující požadavky na tepelnou ochranu budov a již tradičně propracované technické normy, aplikující závazné či doporučené hodnoty tepelně-technických vlastností budov. Po prostudování relevantních vstupních údajů je investor, po konzultaci s projektantem a dodavatelem, schopen přijmout a realizovat zvolená opatření vedoucí ke zlepšení tepelně-technických vlastností objektu.

Investor (vlastník budovy) je uskutečněním opatření vedoucích ke zlepšení tepelně-technických vlastností budovy postaven před zásadní rozhodnutí. Zpravidla porovnává několik variant téhož projektu, se změnami rozsahu úprav, parametrů použitých materiálů a srovnání jednotlivých variant na základě jejich návratností. Rozhoduje se však mnohde pouze podle svých aktuálních finančních možností, s rizikem méně efektivní investice a bez přihlídnutí k následným nákladům životního cyklu objektu.

Při investičním rozhodování musí být investor obeznámen nejen s dlouhodobými přínosy projektu, ale i s jeho náklady a s možnostmi dotačních podpor vztahujících se ke zlepšování tepelně-technických vlastností budov, které mohou investiční rozhodnutí ovlivnit.

Investice do zlepšení tepelně-technických vlastností budov je pro vlastníka z finančního hlediska velice zatěžující. Investiční náklady, pokud se vlastník neomezí na dílčí úpravy, ale naopak zvolí variantu komplexního zateplení obálky objektu, jsou velice vysoké a nezřídka vyžadují pokrytí z cizích zdrojů, což investici dále prodražuje. Návratnost investice je naproti tomu zajištěna energetickými úsporami, které se liší v souvislosti s přijatými opatřeními.

Z těchto důvodů je nutné hledat nejen optimální individuální řešení problému, ale pokusit se problém řešit univerzálnějšími metodami, které si kladou za cíl optimalizovat náklady spojené s realizací projektu a snižovat tak náklady životního cyklu objektu.

## 2 VYMEZENÍ CÍLŮ DISERTAČNÍ PRÁCE A PŘEDPOKLÁDANÝCH VÝSTUPŮ (HYPOTÉZA)

Cílem disertační práce je zpracování, modelování a simulace jednotlivých investičních variant souvisejících se zlepšováním tepelně-technických vlastností budov a nalezení – v ideálním případě – varianty nákladově optimální.

Hlavním výstupem práce je vytvoření ucelené metodiky (modelové a simulační úlohy) využitelné pro definování všech potenciálních investičních variant projektů zlepšujících tepelně-technické vlastnosti objektu. Výsledkem modelování bude vyhodnocení investičních variant na základě požadovaných kritérií a případné rozhodnutí se pro takovou z nich, která při minimalizaci investičních nákladů a nákladů životního cyklu přinese maximální užitek v podobě úspor energie potřebné pro vytápění.

Pro zpracování modelové úlohy je nutné vymežit vhodného reprezentanta, budovu, na které budou modelovány investiční varianty. Výběr reprezentanta bude probíhat pomocí předem nastavených kritérií, přičemž jedním z rozhodujících kritérií bude možnost multiplikace ideální investiční varianty na další budovy. Vhodným typem reprezentanta je objekt individuálního bydlení. Objekt, jehož obálku lze vhodně upravit a dodatečně zlepšit její tepelně-technické vlastnosti a navíc změnit zdroj tepla pro vytápění.

Vybraný reprezentant bude podroben zkoumání a hodnocení současného stavu z hlediska tepelně-technických vlastností, z nichž bude odvozena nulová investiční varianta včetně výpočtu spotřeby tepla pro vytápění objektu.

Dalším krokem bude modelování investičních variant pracujících s proměnnými tloušťkami tepelně-izolačních prvků, proměnou kvalitou okenních výplní, změnami materiálů či technologií a podobně. Pro každou investiční variantu budou určeny stejné ukazatele jako u varianty nulové, a tyto budou hodnoceny zejména z hlediska technicko-ekonomického. Určujícím parametrem každé investiční varianty budou její celkové náklady včetně určení a započtení případných dotací podle jednotlivých dotačních programů.

Následné srovnání variant proběhne na základě vyhodnocení celkových přínosů v oblasti zlepšení tepelně-technických vlastností budovy na jedné straně, a nákladů investiční varianty na straně druhé. Vysoce objektivní parametrem bude stanovení a srovnání celkové roční potřeby tepla na vytápění na jeden metr čtverečný plochy budovy.

V takto vytvořeném modelu najde uživatel komplexní pomůcku pro svá případná investiční rozhodnutí, bude se moci rozhodnout na základě vypočtených parametrů pro variantu nejefektivnější – nákladově optimální.

Disertační práce si klade za cíl potvrzení/vyvrácení následující hypotézy:

**Investování do zlepšování tepelně-technických vlastností objektů je z hlediska investičních nákladů a následných nákladů životního cyklu ekonomicky efektivní. Pro objekty individuálního bydlení starší dvaceti let lze nalézt nákladově optimální investiční variantu.**

Z potvrzování/vyvrácení definované hypotézy jsou předem vyloučeny objekty, které splňují současné požadavky tepelné ochrany budov a objekty, které jsou z posuzování vyňaty ve smyslu platných legislativních a technických předpisů uvedených dále v disertační práci. U zmíněných objektů k potvrzení hypotézy nedojde.

Hraničním obdobím pro potvrzení/vyvrácení hypotézy je rok 1992, ve kterém došlo k markantnímu zpřísnění požadavků tepelné ochrany budov. Zlepšování tepelně-technických vlastností konstrukcí obálek budov navíc není relevantní před koncem předpokládané životnosti těchto konstrukcí, jež lze stanovit v délce dvaceti pěti až třiceti let [45].

### 3 VÝCHODISKA DISERTAČNÍ PRÁCE

#### 3.1 Východiska legislativní

Výchozím bodem pro návrh modelování opatření zlepšující tepelně-technické vlastnosti budov jsou legislativní předpisy a technické normy. Existující předpisy České republiky vycházejí a plně respektují předpisy celoevropské.

Určujícím dokumentem Evropské Unie v oblasti tepelné ochrany budov je Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2010/31/ES ze dne 19. května 2010.

Cílem směrnice je jednak sblížení tepelně-technických požadavků na budovy v jednotlivých členských zemích EU, sjednocování výpočtových metod v závislosti na klimatických podmínkách, a také podpora dalších možností snižování energetické náročnosti budov.

Směrnice dále určuje postupy výpočtů energetické náročnosti s přihlédnutím k národním normám, vymezuje také rozdíl v požadavcích na stávající objekty a novostavby.

Zásadním přínosem Směrnice je závazek zajištění výstavby budov s téměř nulovou spotřebou energie do roku 2020 (všechny budovy), resp. 2018 (budovy ve vlastnictví orgánů veřejné moci).

Dodatečně vydaný doprovodný dokument [83] k Směrnici dále definuje nákladově optimální řešení budovy jako takové, které odpovídá minimu součtové křivky investičních a provozních nákladů. Výpočtové hodnocení se provádí pro období 30 let (budovy obytné) nebo 20 let (budovy komerční a ostatní).

Zákonnými normami upravujícími tepelnou ochranu budov a nakládání s energiemi jsou v České republice zejména:

- zákon č. 183/2006 Sb., o územním plánování a stavebním řádu,
- zákon č. 406/2000 Sb., o hospodaření energií,
- ČSN 73 0540 Tepelná ochrana budov,
- ČSN EN ISO 13790 Výpočet potřeby tepla na vytápění

##### 3.1.1 Zákon č. 406/2000 Sb., o hospodaření energií

Zákon 406/2000 Sb., o hospodaření energií [84] navazuje na předpisy Evropských společenství a stanovuje opatření pro zvyšování hospodárnosti užití energie, povinnosti fyzických a právnických osob při nakládání s energií a pravidla pro tvorbu Státní energetické koncepce, Územní energetické koncepce, a Státního programu na podporu úspor energie a využití obnovitelných zdrojů energie.

Z hlediska tepelné ochrany budov definuje energetickou náročnost existujících staveb a projektů nových staveb nebo jejich změn jako množství energie skutečně spotřebované, respektive jako vypočtené množství energie pro splnění požadavků na standardizované užívání budovy, zejména na vytápění a přípravu teplé vody.

V rámci energetické náročnosti budov zákon nařizuje stavebníkům a vlastníkům zajistit splnění požadavků na energetickou náročnost budov, které stanovuje prováděcí právní předpis (vyhláška č. 78/2013 Sb., o energetické náročnosti budov), a také splnění požadavků stanovených příslušnými národními technickými normami (ČSN 73 0540 Tepelná ochrana budov, ve znění změny z roku 2005 a doplňku z roku 2011).

Splnění požadavků energetické náročnosti budov dokládá s platností od 1. 4. 2013 stavebník, či vlastník průkazem energetické náročnosti budovy, který se stává nedílnou součástí dokumentace k projektům objektů:

- novostaveb,
- při větších změnách objektů s celkovou podlahovou plochou nad 1000 m<sup>2</sup>,

- při prodeji či pronájmu budov, v případech, kdy pro tyto budovy platí body výše uvedené.

Průkaz energetické náročnosti budov je povinné umístit na viditelné místo v budovách přístupných veřejnosti a s celkovou podlahovou plochou nad 1000 m<sup>2</sup> [84].

### 3.1.2 Vyhláška č. 78/2013 Sb., o energetické náročnosti budov

Vyhláška č. 78/2013 Sb., o energetické náročnosti budov [86] stanovuje nákladově optimální úroveň požadavků na energetickou náročnost budovy pro nové budovy, větší změny dokončených budov, jiné než větší změny dokončených budov a pro budovy s téměř nulovou spotřebou energie, výpočtovou metodu stanovení energetické náročnosti budov a definuje referenční budovu, obsah průkazu energetické náročnosti budov a způsob jeho zpracování.

Podle vyhlášky jsou energetické požadavky na budovy splněny v případě, pokud je energetická náročnost budovy nižší než energetická náročnost budovy referenční. Což je zajištěno v případě, pokud je energetická náročnost budovy stanovená pomocí měrné spotřeby energie EPA [kWh/m<sup>2</sup>·a] a průměrného součinitele prostupu tepla  $U_{em}$  [W/m<sup>2</sup>·K] maximálně rovna horní hranici klasifikační třídy „C“ podle tabulky 1.

**Tab. 1** Energetické klasifikační třídy dle vyhlášky č. 78/2013 Sb. [86]

Klasifikační třída	Hodnota pro horní hranici klasifikační třídy		Slovní vyjádření klasifikační třídy
	Energie	$U_{em}$	
A	0,5 x $E_R$	0,65 x $E_R$	Mimořádně úsporná
B	0,75 x $E_R$	0,85 x $E_R$	Velmi úsporná
C	$E_R$		Úsporná
D	1,5 x $E_R$		Méně úsporná
E	2 x $E_R$		Nehospodárná
F	2,5 x $E_R$		Velmi nehospodárná
G	Více než 2,5 x $E_R$		Mimořádně nehospodárná

### 3.1.3 ČSN 73 0540 Tepelná ochrana budov

Problematika tepelné ochrany budov v prostředí České republiky se v současné době opírá o národní technickou normu ČSN 730540 Tepelná ochrana budov [70-73], která stanovuje tepelně technické požadavky pro navrhování budov s požadovaným stavem vnitřního prostředí při jejich užívání, které podle stavebního zákona zajišťují hospodárné splnění základního požadavku na úsporu energie a tepelnou ochranu. ČSN 730540 je závazná pro novostavby a změny budov:

- obytných,
- občanských (školské, administrativní, veřejně správní, zdravotnické),
- jiných (převažující návrhová vnitřní teplota je v intervalu 18 – 22 °C).

Všeobecně tato norma platí pro veškeré novostavby s převažující návrhovou vnitřní teplotou 20° Celsia. Norma naopak neplatí pro budovy převážně velkoplošně otevřené, nafukovací haly, stany, mobilní buňky, skleníky, stájové objekty, chladírny a mrazírny a pro stavby, kde není požadován stav vnitřního prostředí. Neplatí také pro budovy památkově chráněné nebo stávající budovy uvnitř památkových rezervací.

Podle normy ČSN 73 0540 je zásadní navrhovat taková řešení budov, aby byla při zachování investičních nákladů co možná nejvíce snížena celková energetická náročnost budovy a zároveň byly minimalizovány dopady na životní prostředí. Přičemž dodržení tepelně-technických požadavků zajišťuje zejména prevenci tepelně technických vad a poruch budov,



tepelnou pohodu uživatelů, požadovaný stav vnitřního prostředí pro užívání a technologické procesy a stavební předpoklady pro nízkou energetickou náročnost budov [70-73].

Postupné zpříšňování požadavků je podle [24] jedním z předpokladů pro zvyšování energetické efektivity v globálním měřítku. Vývoj základního tepelně-technického požadavku  $U$  [ $W/m^2 \cdot K$ ], součinitele prostupu tepla, je uveden v tabulce 1a. Z tabulky je patrné radikální přehodnocení součinitele prostupu tepla v roce 1992.

**Tab. 1a** Vývoj požadavku součinitele prostupu tepla  $U$  [ $W/m^2 \cdot K$ ] [41]

Konstrukce	Vydání normy	ČSN 73 0540					ČSN 73 0540-2					
		~Březen 1955	Prosinec 1962	Prosinec 1964	Březen 1977	Duben 1992	Květen 1994	Listopad 2002	Listopad 2005	Duben 2007	Prosinec 2011 (požadované)	Prosinec 2011 (doporučené)
Plochá střecha, střecha do 45°	Lehká		0,545	0,545			0,276	0,240				
	Těžká	1,163	0,900	0,900	0,508	<b>0,316</b>	0,316	0,300	0,240	0,240	<b>0,240</b>	0,160
Vnější stěna	Lehká						0,405	0,300	0,300	0,300		0,200
	Těžká	<b>1,396</b>	<b>1,467</b>	<b>1,467</b>	<b>0,894</b>	<b>0,461</b>	<b>0,461</b>	<b>0,380</b>	<b>0,380</b>	<b>0,380</b>	<b>0,300</b>	<b>0,250</b>
Strop pod nevytáp. půdou	Lehká							0,240				
	Těžká	1,163	0,905	0,905	0,901	<b>0,339</b>	0,308	0,300	0,300	0,300	<b>0,300</b>	0,200
Podlaha přilehlá k zemině		-	1,108	1,108	1,091	<b>0,600</b>	0,462	0,380	0,380	0,380	<b>0,450</b>	0,300
Okna vnější	Běžná								1,700	1,700	<b>1,500</b>	1,200
	Šikmá	4,652	-	-	3,700	<b>2,700</b>	2,900	1,800	1,500	1,500	<b>1,400</b>	1,100
Dveře vnější	bez zád. se zád.					<b>4,300</b>	3,200	1,800	1,700	1,700		
		-	-	-	4,760	<b>5,500</b>	5,500	3,500	3,500	3,500	<b>1,700</b>	1,200

### 3.2 Východiska odborná

Volba opatření zlepšujících tepelně-technické vlastnosti objektu není omezena pouze legislativními a technickými předpisy, které musí bezvýtku splňovat, ale i následnými technickými omezeními, která vyplývají z volby kombinace vhodných technologických postupů a izolačních materiálů. Správná volba postupů je závislá na jejich dokonalém poznání a odborném posouzení jejich vhodnosti v jednotlivých modelovaných variantách.

Efektivita vybrané varianty (variant) je zaručena přiřazením nákladů přepočtených na měrnou jednotku a zjištěných na základě použité technologie a izolantu.

Celkové náklady členěné podle konstrukcí obálky budovy lze stanovit pomocí směrných cen dostupných cenových soustav a porovnat s výslednou úsporou provozních nákladů, zejména nákladů na vytápění, a v rámci předpokládaného životního cyklu budovy převést na finanční toky podle obecně platných ekonomických pravidel.

Mimo definovaného legislativního prostředí a legislativních požadavků se práce opírá i o přehled dosavadních poznatků ve všech odborných oblastech dotýkajících se řešeného problému.

V současné době je úloha hledání optimální investiční varianty zlepšující tepelně-technické vlastnosti budov do značné míry podceňována. Podrobně lze pomocí autorizovaných výpočtových softwarů stanovit stávající tepelně-technické vlastnosti objektu a vyhodnotit energetickou náročnost. K nejpoužívanějším v České republice patří PROTECH,

ENERGIE 2014 a NKN (Národní kalkulační nástroj)<sup>1</sup>. Potenciální investiční varianty však pomocí uvedených softwarů modelovat nelze, taktéž neexistuje věrohodné propojení s očekávanými investičními náklady variant. Prováděné výpočty proto mohou sloužit pouze jako vstupní parametry modelování. Nadmíru zajímavým je poté srovnání vypočítaných hodnot potřeby energie na vytápění a skutečně spotřeby zjištěné měřením, která může být až dvojnásobná [32].

Výzkumné a vědecké práce využitelné pro modelování úloh zlepšující tepelně-technické vlastnosti budov sestávají z dílčích poznatků v obecných oblastech posuzování energetické účinnosti ve smyslu její celospolečenské obhajitelnosti [14]. Podrobně jsou zmapovány kvantitativní metody hodnocení energetické náročnosti stávajících budov, které jsou založeny na předběžném výpočtu, měřeních nebo kombinaci obého [54], ovšem taktéž bez propojení s počátečními investičními náklady a následnými finančními toky.

U novostaveb se uplatňují poznatky v oblasti zlepšení energetické efektivity prostřednictvím konstrukce obvodového pláště budovy, které poukazují na možnost 35-40% energetických úspor u totožných budov při optimalizaci poměrů konstrukcí obálky [36, srovnej 37], či nastavení optimálních tepelně-technických parametrů [34, 49].

Detailnějším pohledem na problematiku může být hledání nákladově efektivní hodnoty součinitele prostupu tepla  $U$ , která je pro stěny a stropní (střešní konstrukce) maximálně rovna  $0,28 \text{ [W/m}^2\cdot\text{K]}$ , pro podlahy  $0,37 \text{ [W/m}^2\cdot\text{K]}$  [12]. Nižší a tedy tepelně-technicky výhodnější hodnoty součinitele již zcela nekompensují poměr investičních nákladů a úspor na vytápění.

Optimální hodnoty součinitele prostupu tepla tedy nejsou hodnoty nejnižší (klesající s tloušťkou izolantu), ale hodnoty odpovídající přibližně 120 až 150 mm tloušťky tepelného izolantu při  $\lambda$  součiniteli tepelné vodivosti  $\lambda \text{ [W/m}\cdot\text{K]}$  přibližně  $0,037 - 0,032$  [12].

S využíváním pokročilých izolačních materiálů se zlepšenými tepelně-izolačními schopnostmi (například vakuové panely) lze přikročit k dřívě téměř neřešitelným úpravám obálek budov. S velkým očekáváním lze sledovat vývoj recyklovaných a plně recyklovatelných izolačních materiálů, například využití zbytkového odpadu při výrobě elastomerů [3], či využití kartonových obalů a podobně. Obecným problémem stavěným nad potenciální úspory energie pro vytápění je množství energie potřebné pro výrobu izolačních materiálů (tzv. primární energie), které může být nezřídka zatěžujícím faktorem při celkovém energetickém hodnocení budovy [8 srovnej 27].

Problematika životnosti jednotlivých konstrukčních prvků, funkčních dílů, a nákladů spojených s životním cyklem budov je dlouhodobě řešena Ústavem stavební ekonomiky a řízení Fakulty stavební VUT a v práci je taktéž zohledněna [17, 19].

Citované výstupy dalších vědeckých a výzkumných prací jsou uváděny průběžně v textu.

### 3.3 Struktura disertační práce

Současný stav řešené problematiky a výchozí předpoklady pro řešení problému jsou zpracovány v kapitolách 4 až 10. Metodický postup a teoretická východiska pro řešení problému jsou shrnuta v kapitole 11.

Výsledky modelování a simulace na konkrétním příkladu včetně dále aplikovaných závěrů jsou zpracovány v kapitolách 12 a 13. Práci uzavírá diskuse výsledků a celkové shrnutí.

---

<sup>1</sup> Další dostupné informace jsou dostupné na domovských stránkách jednotlivých software: <http://www.protech.cz/>; <http://kcad.cz/cz/stavebni-fyzika/tepelna-technika/energie/>; <http://nkn.fsv.cvut.cz/>

## 4 MODELOVÁNÍ A SIMULACE

U zrodu každého projektu je vize, myšlenka nebo prostá potřeba. Potřeba vytvořit něco nového, neopakovatelného, či potřeba uspokojit jiné (nejlépe lidské, společenské) potřeby. A i když u zrodu projektu lze hovořit o jisté euforii z tvorby, nelze zapomínat, že se každý projekt, a zejména projekt ekonomický, rodí do specifického a konkurenčního prostředí.

Úspěšnost projektu je proto odvislá od znalosti prostředí, do kterého projekt vzniká. U projektů ekonomicko-technických jde především o znalost ekonomických principů specifických pro danou oblast a technických norem, předpisů, či zvyklostí.

V současné době nejsou důležitá ekonomická rozhodnutí (jimiž je i uskutečňování projektu) myslitelná ani bez důkladné analýzy základních ekonomických ukazatelů (a vztahů mezi nimi). Ovšem nejen znalost ekonomických ukazatelů, ale i dalších, zejména technických, vstupních údajů, parametrů a vývojových trendů je pro úspěšné zvládnutí projektu neméně důležitá.

Jestliže lze tyto, pro projekt zásadní, informace kvalitně zpracovat ještě před realizací projektu ve formě souboru možných situací, tedy situací modelových, pak je úspěšnost projektu téměř jistá. Dokud však není možné vstupní data, parametry a cíle projektu analyzovat, nelze vytvořit ani optimální a realitě odpovídající modelové situace.

Z tohoto hlediska se stává předinvestiční fáze pro následný život projektu klíčovou. Jestliže se právě v této fázi projektu podaří postihnout veškerá myslitelná očekávání či rizika, můžeme předpokládat v dalších fázích projektu (investiční a provozní) naplnění požadavků stanovených u jeho zrodu.

V ideálním případě tedy dokáže kvalitní model odhalit případná možná rizika projektu ve všech jeho následných fázích. Znalost takto definovaných rizik napomáhá uživateli modelu lépe se rozhodnout v nastalé situaci a adekvátně na ni reagovat.

Modelování a simulace tedy v konečném důsledku rozhoduje o bytí a nebytí projektu.

### 4.1 Model

I když jsou pojmy model a modelování nezdědka pojímány zcela různě a modely mohou sloužit k zcela rozdílným účelům, modelem se rozumí zjednodušené (abstraktní, idealizující) zobrazení studovaného (a jinak nepopsatelného) systému pomocí verbálních pravidel, matematických rovnic, obrázků či grafů.

Samotné slovo model vychází ze stavebnictví a původně označovalo míru, podle které byl zobrazován zamýšlený objekt.

V případě modelování složitějších ekonomicko-technických problémů je řešitel problému většinou odkázán na použití počítačového modelu. Počítačový model vychází z modelu mentálního, vytvořeného v mysli tvůrce.

### 4.2 Mentální model

Lidské (mentální modely) sestávají z komplexní a multidimensionální směsice obrázků a zkušeností a mají některé velké výhody. Jsou flexibilní, dokáží pojmout značné množství informací neomezujících se pouze na číselná data a jsou také adaptovatelné na nové situace (okamžitě modifikovatelné s příchodem nové informace). Mentálními modely se rozumí filtry, na jejichž základě lze interpretovat zkušenosti nebo měnit plány v souvislosti s výběrem z několika nabízejících se variant.

Mentální modely však mají i nedostatky. Nejsou přenositelné mezi jedinci (to znamená, že okolí nemusí zcela rozumět jejich konstrukci stejně tak. Tato vlastnost mentálních modelů

snižuje jejich možnost exaktního uplatnění, navíc jsou mentální modely velice omezené co do počtu zahrnutých aspektů, což má za důsledek častou chybnou interpretaci. Z psychologických výzkumů vyplývá, že jedinec je schopen zpracovat pouze 7 různorodých proměnných najednou. V případě dynamických úkolů jsou to proměnné pouze 3. [26] To znamená, že rozhodování pomocí mentálních modelů je velice primitivní a není pro řešení problematiku vhodné.

### 4.3 Počítačový model

Počítačové modely poskytují výrazné vylepšení nedostatků modelů mentálních zejména v těchto oblastech [26]:

- počítačové modely jsou explicitní a snadno srozumitelné, jejich předpoklady jsou popsány a umožňují jednoduchou kontrolu,
- spolehlivě počítají logické důsledky předpokladů modelu,
- jsou komplexní a mohou propojovat mnoho aspektů najednou.

Přes to, že uvedené výhody nejsou praxí vždy stoprocentně zužitkovány, jsou modely počítačové jedním z nejlepších nástrojů, který lze využít k porozumění komplexním systémům a předvídání jejich chování.

### 4.4 Simulace

Simulovat (z latinského *simulare*) znamená předstírat, imitovat či napodobovat. Simulaci lze definovat jako numerickou metodu studia pravděpodobnostních dynamických systémů pomocí experimentování s počítačovým modelem [7].

Simulace (ve významu zachycení chování projektu) je tedy propojením poznatků teorie pravděpodobnosti, statistiky, operačního výzkumu, teorie systémů a informatiky. Simulace slouží k řešení nejen teoretických problémů vědy a techniky, je ale také využitelná pro řešení konkrétních úloh. V rámci řešení složitých systémů často metoda jediná možná, která může být využita pro [7]:

- studium chování složitého reálného systému,
- analýzu citlivosti řešení při změně parametrů modelu,
- analýzu projektovaného systému,
- nahrazení reálného experimentu, který nelze uskutečnit, experimentem na počítači.

Technologie simulace začala být sporadicky užívána v 90. letech 20. století spolu s rozvojem nezbytného softwaru. V současnosti je simulace nedílnou a standardní součástí uskutečňovaných projektů; v nabídce všech velkých konzultačních společností lze nalézt položku „Obchodní simulace“ [26].

Účelem simulace projektu je napodobit chování reálného systému tak, aby tento mohl být následně podroben zkoumání. Přičemž lze předpokládat, že neznámé parametry nelze vypočítat pomocí vzorců, ale alespoň se jim přiblížit právě pomocí napodobování reálného systému s pomocí počítače. Následný simulační model (vytvořený většinou pomocí počítačového programu) při svém chodu napodobuje podstatné stránky modelovaného systému. Základem při tvorbě simulačního modelu je pochopení vztahů a vazeb modelovaného projektu.

Nezřídka se za simulaci obecně (ovšem nesprávně) označuje analýza citlivosti či predikce budoucího vývoje. Oproti tomu se simulací úzce souvisí metoda Monte Carlo.

#### 4.4.1 Metoda Monte Carlo

Metoda Monte Carlo je založena na numerickém řešení pravděpodobnostních i deterministických úloh pomocí mnohokrát opakovaných náhodných pokusů. Při této metodě je pro experimentování sestrojena pravděpodobnostní úloha, která má shodné řešení s původní úlohou. Řešení získané metodou Monte Carlo má tedy samozřejmě pravděpodobnostní charakter.

Rozdíl mezi simulací a metodou Monte Carlo není přesně definován, v některých případech jsou tyto metody považovány za totožné nebo se striktně nerozlišují. Jako použitelné se jeví pravidlo, podle kterého, pokud je čas (dynamika) podstatnou součástí studovaného systému, jedná se o simulaci, v opačném případě jde o metodu Monte Carlo.

#### 4.4.2 Využití simulace a metody Monte Carlo

V ekonomické realitě se často vyskytují složité pravděpodobnostní dynamické systémy, které jsou analytickými postupy téměř neřešitelné. Využití simulace a metody Monte Carlo je proto široké a různorodé. Simulace je jednou z nejpoužívanějších metod optimalizace, a mezi oblastí aplikace například patří [7]:

- řízení rozsáhlých projektů,
- finanční plánování a řízení rizik,
- modelování dopadů hospodářské politiky,
- optimalizace výrobních systémů,
- řízení zásobovacích procesů,
- on-line plánování,
- dopravní systémy.

Simulace metodou Monte Carlo nepředstavuje samostatnou ekonomickou disciplínu, jde pouze o metodický postup využitelný i mimo ekonomické vědy.

#### 4.5 Požadavky kladené na ekonomicko-technické modely

Simulační model se v konečné podobě stává počítačovým programem, proto je důležitou stránkou simulace její algoritmizace. Simulační model musí být schopen zachytit [55]:

- strukturu modelovaného systému,
- jeho dynamiku,
- jeho pravděpodobnostní charakter.

Ekonomické systémy patří ke složitým dynamickým soustavám. Cílem tvorby modelu je navrhnout model co nejjednodušší, a to takový, který bude s postačující přesností reprezentovat chování zkoumaného skutečného systému.

Jednotlivé konkrétní požadavky na modely jsou odvislé od cílů, které jsou předem stanoveny, proto jsou konkrétní modely vždy určeny k řešení konkrétních úloh. Odborné teorie či empirický výzkum sice usnadňují výběr vhodného modelu, ale ani ten nejlepší model se nemusí osvědčit, zatímco objektivně horší modely mohou být pro řešení konkrétní úlohy užitečnější.

Dalším požadavkem kladeným na model může být jeho multiplikované použití, to znamená možnost využívat model opakovaně u podobných úloh. Takovýto požadavek je však s největší pravděpodobností v konečném důsledku nereálný, pokud nejde o zcela identické nebo jen drobně pozměněné situace.

Od modelu je zcela jistě nutné požadovat i jeho jednoduchou „údržbu“, tedy možnost provádění dílčích změn nastavených parametrů nebo jejich doplňování a zpřesňování.

Hodnocení kvality vytvořeného modelu podle stanovených požadavků je velice náročné. Kvalitu modelu lze hodnotit nejen z hlediska cílů, kvůli kterým byl konstruován, ale i ve vztahu

k existujícím teoriím a empirickým zkušenostem. Model lze také hodnotit podle přesnosti a spolehlivosti získaného odhadu, což je také samozřejmě jedním z na něj kladených požadavků [10, 25].

Dalším aspektem kvality modelu je kvalita tvůrce modelu. Jestliže sám nemá představu o budoucí funkci modelu nebo o prostředí, do kterého model vzniká, pak nelze o nezdaru při tvorbě modelu pochybovat.

Tvůrce modelu musí tedy vycházet ze dvou, respektive tří předpokladů pro úspěšné zvládnutí tvorby modelu:

- dokonalá znalost požadavků kladených na model a jeho možností využití,
- dokonalá znalost vnějšího prostředí (vstupů, parametrů a vztahů mezi nimi),
- schopnost ovládat software vhodný pro tvorbu modelu.

Obecné požadavky kladené na modely a jejich tvůrce shrnuje tabulka 2.

**Tab. 2** Obecné požadavky kladené na modely a jejich tvůrce [autor, s využitím 9, 55]

Požadavky kladené na modely	Požadavky kladené na tvůrce modelů
Jednoduchost	Znalost cílů a možností modelu
Srozumitelnost	Znalost vnějšího prostředí (odbornost)
Spolehlivost	Schopnost model vytvořit v softwaru
Přesnost	
Komplexnost	
Multiplikovatelnost	
Možnost dodatečných úprav a oprav	

#### 4.6 Vstupní parametry modelů

Vstupními parametry modelů v oblasti ekonomiky jsou zejména známé (v historii sledované) a neznámé ekonomické veličiny. Ekonomické veličiny mohou být vyjádřeny ne jediným číslem, ale mohou být také vyjádřeny časovými řadami a jako takové podléhají určitým vlastnostem, které dovolují odhadnout jejich budoucí vývoj.

Technickými vstupními parametry mohou být normované nebo empirické veličiny omezující možné modelované skutečnosti na základě jednotlivě kladených požadavků, tímto dochází k eliminaci počtu alternativních řešení pouze na taková, která plně vyhovují zadaným kritériím.

Obecně je pro modelování a vkládání vstupních parametrů rozhodující znalost jejich parametrů, vazby mezi nimi a jejich kompletní a vhodné použití.

#### 4.7 Ladění modelů

Při tvorbě jakéhokoliv simulačního modelu je třeba dodržovat pravidla jednak vnější, spojená se systémem či prostředím, do kterého je model uváděn (blíže specifikovaná v předcházejících kapitolách), ale i vnitřní. Což znamená respektovat pravidla softwaru, ve kterém je simulační model vytvářen.

Během tvorby modelu se však může stát, že nebyly některé vztahy nebo souvislosti do modelu zahrnuty; v tomto případě nás na některá opomenutí upozorní sám simulační program, ovšem veškeré ostatní chyby je nutné zachytit a opravit nebo tak zvaně odladit.

Dříve, než je možné ze získaných výsledků vyvozovat nějaké závěry, je nutné přezkoumat správnost zadání modelu a logické opodstatnění jednotlivých vazeb. Pro samotné

ladění modelu je vhodné vyzkoušet základní simulaci s, pokud možno, jasným a ověřitelným závěrem a na průběhu této ověřit správnost výsledku. Tímto postupem odstraníme z modelu případné hrubé chyby. Je však možné, že některé nedostatky modelu mohou být skryté a popsáním způsobem neodhalitelné.

Dalším upozorněním na chyby v modelu mohou být samotné výsledky jednotlivých simulací. Pokud je například výsledkem simulování průběh některého ekonomického ukazatele (Cash Flow, NPV, náklady) a je známý přibližný, řádový výsledek, a výsledek je od tohoto předpokladu diametrálně odlišný, je možné počítat s chybou v zadání modelu.

U větších a složitějších modelů může být odhalování takovýchto problémů složité a časově náročné, zvláště tehdy, kdy nelze s určitostí tvrdit, zda se jedná o špatné zadání či o skutečný reálně existující problém, který je modelem zachycen. I z tohoto důvodu je přesnost při tvorbě modelů nezbytná.

Je nanejvýš pravděpodobné, že čím bude případná chyba v modelu skrytější, tím obtížnější bude její hledání. Proto je při ladění modelu důležité spouštět simulaci opakovaně a s různými zadáními. Takovéto opakování zvětšuje pravděpodobnost nalezení a odstranění chyby v modelové simulaci. Přičemž je nutné zdůraznit, že sám tvůrce modelu musí mít představu o možných dosahovaných výsledcích.

#### **4.8 Navrhování simulačních experimentů a analýza výsledků**

Při plánování a tvorbě simulačních experimentů je zásadní úvaha, zda je simulace vhodnou metodou pro řešení zadaného problému. Důležitou je z tohoto hlediska i ekonomická rozvaha, ve které je nutné porovnat na jedné straně:

- náklady na sběr informací,
- náklady na tvorbu modelu,
- náklady na zpracování výsledků,

oproti:

- výnosům z přínosu a výsledku experimentu,
- přínosům z nových poznatků o systému.

V případě realizování projektu simulačními metodami nastávají fáze procesu modelování (určení problému, stanovení cílů, vymezení systému, jeho struktury a vzájemných vztahů mezi prvky), běžnější je však situace, kdy jsou struktura systému a vazby mezi jeho prvky známy a problém spočívá v nedostupnosti analytického řešení. Může nastat i situace, kdy struktura systému není zcela objasněna a část modelu se stává „černou skříňkou“, pro kterou jsou řešitelé známy pouze vstupy a výstupy. Jestliže však, na základě simulace sloužící k ověřování hypotéz zjistíme, že struktura černé skříňky produkuje očekávané výstupy, je model považován za věrohodný [1, 7].

#### **4.9 Analýza výsledků**

Nejdůležitější částí simulačního procesu je analýza a interpretace jeho výsledků. Tato část však bývá tvůrci modelů velmi často podceňována. Což se děje zejména při tvorbě počítačového modelu, kterému je věnována převážná většina potřebného času.

Výsledky simulací lze interpretovat s přihlédnutím k zadání, které může být dlouhodobé nebo konečné, přičemž platí: pokud se v modelu vyskytují náhodné veličiny, jsou i výsledky modelu náhodnými veličinami. Výsledkem je potom buď bodový, nebo intervalový odhad (tento by měl mít přednost). Avšak v praxi jsou se stanovením intervalových odhadů spojeny problémy, zejména co se týče autokorelace pozorování [7].<sup>2</sup>

<sup>2</sup> Typickým příkladem je stanovení průměrné čekací doby. Jestliže entita čeká určitý čas, logicky také následující entita stráví ve frontě podobný čas. (Minimálně do doby vyřízení první žádosti.)

## 4.10 Simulace s konečným horizontem

U simulací s konečným horizontem předpokládáme, že známe výchozí stav systému a pravidlo ukončení simulace. Simulační běh je ukončen hraničním časem, ale simulace samotná může být ukončena i (například) jakoukoli událostí v systému.

### 4.10.1 Simulace dlouhodobého chování systému

Otázka dostatečné délky simulace je naproti simulaci s konečným horizontem spojena s problémem vlivu počátečních podmínek na konečný stav systému. Obecně platí, že čím delší je simulační chod, tím menší roli hraje počáteční stav.<sup>3</sup> Přirozeným řešením této situace je vynechání počátečních pozorování, přičemž je ovšem problematické určit, která pozorování byly počáteční. Z těchto důvodů je nutné přiznat, že simulace není pouze exaktní vědou, nýbrž též umění založené na intuitivní zkušenosti.

### 4.10.2 Srovnání systémů a optimalizace

Simulační modelování nemusí být vždy pojímáno jako metoda pro studium jednoho daného systému s jedinou možnou variantou řešení, v praktickém užití modelování lze naopak předpokládat, že model bude sloužit především jako nástroj pro výběr a určení optimální varianty řešeného (modelovaného) problému. „Nejlepší“ variantou se přitom rozumí varianta optimální z hlediska zvoleného kritéria (vstupního parametru, výstupů), přičemž je nutno uvažovat stochastický charakter výstupních proměnných simulačních modelů, v důsledku toho nelze žádnou z variant označit za stoprocentně nejlepší, místo toho lze tvrdit, že vybraná varianta je nejlepší (optimální) s danou pravděpodobností.

Cílem optimalizace je pomocí experimentování s modelem na počítači najít variantu, která maximalizuje (minimalizuje) hodnotu vstupní proměnné. Složitější případ nastává, pokud je výsledkem současná optimalizace více výstupních proměnných. Zde lze při řešení aplikovat metody vícekritériální optimalizace či vícekritériálního rozhodování.

Při rozhodování o formě simulačního experimentu je rozhodujícím zejména celkový počet možných variant (obecně dvě až nekonečno). Jelikož je však výstupní proměnnou náhodná veličina, požaduje většina metod realizovat pro každou z variant dostatečný počet experimentů tak, aby bylo možné provést odhad hodnoty vstupní proměnné. Počet experimentů však může být s přibývajícím počtem parametrů neúnosně náročný,<sup>4</sup> proto je při plánování simulací zásadní pokusit se o redukci počtu variant a to těmito způsoby [7]:

- použitím racionálního kritéria při výběru simulovaných variant, neboť lze prozkoumat pouze omezený počet variant,
- hledáním možností redukce počtu vstupních proměnných, tyto rozdělit na důležité a méně důležité, a méně důležité – pokud možno – vyřadit,
- hledáním možností redukce počtu nabývaných hodnot proměnných, například je možné vyřadit nepravděpodobné kombinace dvou faktorů,
- pokusit se přeformulovat spojitě proměnné na proměnné diskrétní, jinak je počet variant automaticky nekonečný.

<sup>3</sup> Tento problém je citelný například v teoriích obnovy: pokud uvažujeme instalaci jakýchkoli zařízení, předpokládáme také dobu životnosti těchto zařízení. Po dokončení instalace se občas některé zařízení porouchá a je vyměněno (poruch je samozřejmě minimum). Postupně se však počet poruch zvětšuje, až se stabilizuje kolem určité hodnoty (střední hodnoty doby životnosti zařízení). Kdybychom se po delším časovém úseku pokoušeli zjistit průměrný věk zařízení, byly by tato hodnota zcela nezávislá na počátečním stavu.

<sup>4</sup> Na příklad: můžeme předpokládat, že v průběhu optimalizace systému lze měnit celkem osm proměnných, které mohou nabývat čtyř různých hodnot. V tomto případě existuje celkem 60 536 kombinací (variant). [7]



## 4.11 Shrnutí

Procesy modelování a simulace jsou velice náročné. Z hlediska odbornosti vyžadují spolupráci několika odborníků: počítačového odborníka schopného vytvořit počítačový model, matematika schopného odhalit příslušný matematický aparát a v neposlední řadě člověka znalého specifik oboru, pro který je model vytvářen.

Tvorba modelu a ověřování jeho bezchybnosti je také náročné na čas strávený laděním modelu a analýzou výsledků (grafické shrnutí kroků tvorby modelu je uvedeno v tabulce 3). Prvním krokem k vytvoření modelu je zřejmě potřeba získat o plánovaném projektu co nejvíce informací z hlediska pozdějšího chování systému, díky modelu lze pružně reagovat na případné budoucí události. Pokud jsou předem známy, bude jednodušší přijímat rozhodnutí vedoucí k nápravě skutečností, které mohou nastat.

Pokud převáží argumenty pro tvorbu modelu, nastává další fáze při jeho tvorbě, v této fázi je model vymezen. Jestliže je popsána dynamika, struktura i pravděpodobnostní charakter, lze aplikovat některý ze základních matematických postupů [4].

Po splnění obecných požadavků na model lze přikročit k jeho prvotnímu spuštění, které umožňuje zachytit případné chyby. Pokud se podaří chyby odstranit a model opětovně spustit bezchybně, lze zahájit simulační experimenty, které jsou cílem a výstupem modelovaného systému.

Uskutečněné simulační experimenty je však třeba kvalitně analyzovat a interpretovat, přičemž lze předpokládat, že získané výstupy se kryjí s požadavky kladenými na model ve fázích jeho přípravy, pokud tomu tak není a výstupní informace nevyovídají dostatečně o modelovaném systému, je nutné model přepracovat.

Jestliže model poskytuje dostatek informací, lze v těchto fázích (nebo již ve fázích přípravy modelu) začít hodnotit jednotlivé vstupní proměnné a přidělovat jim váhy podle jejich významu a důležitosti.

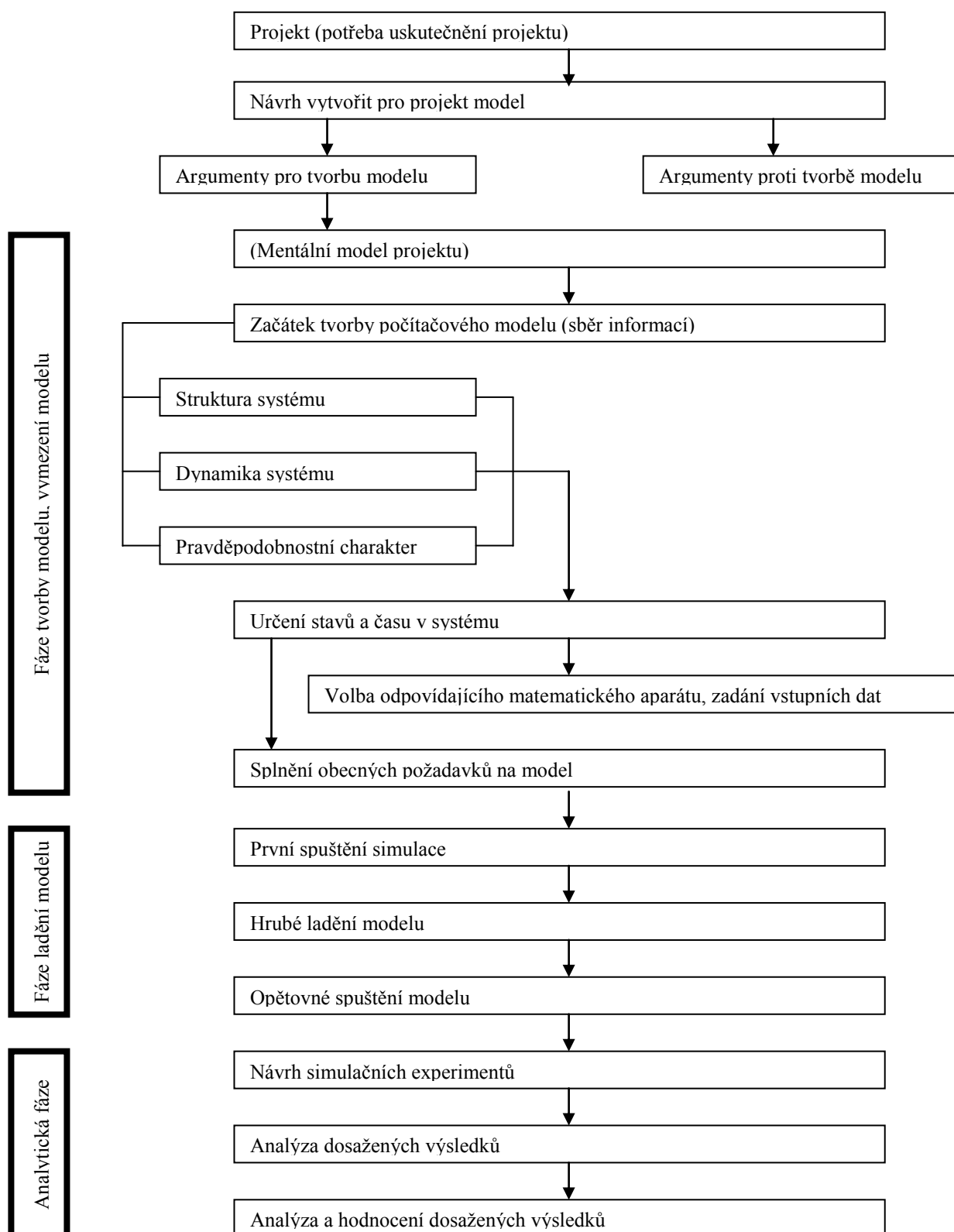
Stejně tak je nutné hodnotit podle stanovených kritérií výstupní varianty podle provedené simulace a vybírat z nich ty relativně nejlepší, které později můžeme uvést v život, a které budou naznačovat průběh budoucího projektu, což je cílem modelování a simulace projektu.

Modelování a simulace je výbornou pomůckou pro zvládnutí všech aspektů projektu, pomůckou pro plánování hladkého průběhu i rizik spojených s realizací a fungováním projektu. Model a následná simulace nás mohou upozornit na případné nedostatky projektu v době, kdy projekt plánujeme, což nám usnadní rozhodování o změnách; rozhodování, na které není vyvíjen tlak ubývajícího času.

V případě, že je model skutečně kvalitní a kompletní, dokáže odpovědět na otázky kladené uživatelem a vymezí také cestu k maximalizaci užiteků při minimálním riziku.

Jednotlivé fáze tvorby modelu jsou graficky shtnuty v tabulce číslo 3.

Tab. 3 Jednotlivé fáze tvorby simulačního modelu [autor, s využitím 4, 7, 9]



## 5 VLASTNOSTI STAVEBNÍCH KONSTRUKCÍ

Základní požadavky na budovu jsou definovány jejím prvoplánovým posláním, totiž poskytnout svému uživateli pocit jistoty před nepřízní počasí a také bezpečí. Vhodné a zdraví nezávadné prostředí interiéru je zajišťováno zejména tepelnou pohodou, které je dosahováno přirozeně (větráním) nebo uměle (vytápěním či chlazením). Tepelnou pohodu lze uměle zajistit pouze dodáním či přeměnou energie v teplo či chlad. Přeměna energie však vyžaduje investici do jejího vytvoření a dodání, energie samovolně nevzniká.

Požadavky na energetickou náročnost budov jsou historicky determinovány zejména místem a časem realizace budovy; s nutností zajistit v budově tepelnou pohodu se lidstvo potýká od nepaměti, stejně tak i s možnostmi energii ušetřit.

V novověkém období je úspora energií určována zejména závislostí rozsáhlých aglomerací na dodávce energií, vyčerpatelností některých zdrojů a cenovou nejistotou (snahou uspořit peněžní zdroje).

Potřeba energie a energetická náročnost budov je přímo ovlivněna zejména velikostí a způsobem užívání budovy a také jejich technickými vlastnostmi. Konstrukce podléhající požadavkům na tepelně-technické vlastnosti objektů jsou soustřeďovány kolem obálky budovy na rozhraní mezi vytápěnými a nevytápěnými prostory. Obálkou budovy se rozumí všechny konstrukce na systémové hranici celé budovy, které jsou vystaveny venkovnímu prostředí. Konstrukce obálky budov lze rozdělit na:

- střechy (šikmé, ploché),
- stropní konstrukce oddělující vytápěné a nevytápěné prostory,
- obvodové stěny (lehké a těžké, přiléhající částečně nebo celkově k vytápěnému prostoru, nepřiléhající k vytápěnému prostoru),
- podlahy (přilehlé k zemině),
- okenní, dveřní a jiné výplně otvorů (výplně otvorů střešní, výplně otvorů ve stěnách).

Obecné požadavky na tepelnou ochranu budov jsou závazně zakotveny ve dvou základních předpisech:

- v zákoně č. 186/2006 Sb., o územním plánování a stavebním řádu (stavební zákon) a jeho prováděcí vyhlášce č. 137/1998 Sb., o obecně technických požadavcích na výstavbu (ve znění pozdějších předpisů),
- v zákoně č. 406/2006 Sb., o hospodaření energií a jeho prováděcí vyhlášce č. 78/2013 Sb., o energetické náročnosti budov.

Konkrétní technické požadavky pro navrhování, které podle § 28 prováděcí vyhlášky č. 137/1998 Sb. stavebního zákona [85] zajišťují hospodárné splnění základního požadavku na úsporu energie a tepelnou ochranu stanovuje česká technická norma ČSN 73 0540 Tepelná ochrana budov tak, aby byly zaručeny požadavky na [71-74]:

- tepelnou pohodu uživatelů,
- požadované tepelně technické vlastnosti konstrukcí,
- stav vnitřního prostředí pro technologické činnosti a pro chov zvířat,
- nízkou energetickou náročnost při provozu stavby.

Norma je závazná a v plném rozsahu platná pro nové budovy. Pro stavební úpravy, udržovací práce, změny v užívání budov a jiné změny dokončených budov je vyžadováno hodnocení jednotlivých dotčených konstrukcí [71-74].

## 5.1 Pokyny pro navrhování konstrukcí dle ČSN 73 0540

### 5.1.1 Obecné zásady navrhování budov a konstrukcí

Teoretické i praktické zásady navrhování konstrukcí a budov z hlediska tepelné ochrany budov uvádí národní technická norma ČSN 73 0540.

Jedním z cílů navrhování budov a jejich částí je splnění podmínek utvářejících co nejkvalitnější vnitřní prostředí při zachování přiměřeně nízké zátěže životního prostředí. Budovy je třeba navrhovat tak, aby byla dodržena zásada snadné údržby, výměny a opravy prvků s kratší životností, a to takovým způsobem, který je materiálově a energeticky nenáročný.

Výsledné vlastnosti budovy lze nejlépe ovlivnit v přípravné fázi projektu při vytváření celkové koncepce. Budovy je nutné navrhovat tak, aby zajišťovaly tepelnou ochranu v souladu s legislativními předpisy a na ně navazujícími normovými hodnotami. Rozhodující jsou v tomto směru výsledné energetické vlastnosti budov jako celku při dodržení ostatních požadavků na jednotlivé konstrukce.

Při vytváření celkové koncepce budovy a při následném zpodrobňujícím řešení detailů je třeba důsledně zohledňovat potřebu nízké energetické náročnosti, kterou lze u novostaveb ovlivnit zejména:

- volbou pozemku a osazením budovy na něm,
- orientací ke světovým stranám (s ohledem na dopad slunečního záření,
- tvarovým řešením (kompaktností tvaru, členitostí povrchů),
- vyloučením nebo omezením působení koncepčních tepelných mostů,
- vnitřním uspořádáním s ohledem na soulad vytápěcích režimů,
- velikostí vytápěných a nepřímo vytápěných podlahových ploch,
- velikostí prosklených ploch na jednotlivých fasádách,
- očekávanými vnitřními tepelnými zisky podle charakteru provozu [46].

Při zlepšování tepelně technických vlastností stávajících budov je třeba připravit jejich komplexní energetickou obnovu s předpokladem, že budova bude mít po změně životnost srovnatelnou s novostavbou. Při návrhu nových konstrukcí, které mají utvářet novou, ucelenou, část stávající budovy je nutno postupovat jako u novostaveb.

Pro návrh potřebných úprav stávajících konstrukcí v rámci původní budovy je nutno vycházet z aktuálních tepelně technických vlastností (odborně odhadnutých nebo zjištěných experimentálně) a stanovit úroveň nových požadavků minimálně odpovídajících požadavkům ČSN 73 0540.

Zásahy do konstrukcí ve stávajících budovách vedou nezdědka ke změnám parametrů vnitřního prostředí (zvýšení vlhkosti vzduchu vnitřních prostor způsobené dokonalejší těsností vyměňených oken). V takovém případě je nutné zlepšit vlastnosti konstrukcí, které jsou vyvolány změnami přímo ovlivňované (dodatečná tepelná izolace zjištěných tepelných mostů) nebo současně změnit provozní režim budovy (přechod k nucenému větrání) [41].

Vytvoření celistvého tepelně izolačního obalu budovy s minimem slabých míst je obvykle správným tepelně technickým návrhem při zlepšování tepelně technických vlastností budov. Nejobvyklejší a nejvýhodnější je umístění tepelné izolace při vnějším povrchu nosné vrstvy směrem ke chladné straně konstrukce v zimním období.

U všech konstrukcí se upřednostňuje takové řešení, při kterém nedochází k oslabování celistvosti tepelně izolačních vrstev. Pokud konstrukce sestávají z materiálů velmi nasákových

nebo zvláště citlivých na působení vlhkosti (materiály organického původu) musí být tyto navrženy tak, aby v nich nedocházelo ke kondenzaci vodních par.

Parozábranné vrstvy musí být navrženy a provedeny tak, aby byla zaručena jejich neporušenost po celou dobu jejich životnosti.

### **Obvodové stěny**

U obvodových konstrukcí z tvárnic (tvarovek a bloků) jednovrstvého zdiva je vhodné omezit negativní působení styčných a ložných spár použitím tepelně izolačních malt, či tenkovrstvého lepidla u velmi přesných zdících prvků. Při použití dodatečné vnější tepelně izolační vrstvy je požadováno uplatnění uceleného certifikovaného systému a dodržení technologického postupu podle pokynů výrobce.

Výsledné tepelně izolační schopnosti jednovrstvého zdiva jsou velmi závislé na kvalitě provedení, kdy se nepříznivě projeví i drobné odchylky v tloušťce ložné spáry.

Při aplikaci nasákavých materiálu je nutné zajistit v návaznosti na terén ochranné vrstvy tak, aby nemohlo dojít k vnikání vlhkosti do konstrukce.

### **Střešní konstrukce**

Nově prováděná střešní souvrství je vhodné převzít z ověřených systémových řešení. Šikmé střechy nad vytápěnými prostory musí být tepelně izolovány tak, aby hlavní izolační vrstva navazovala na izolační vrstvu svislých konstrukcí bez přerušení. Tepelnou izolaci šikmých střech je možné situovat pod, mezi, či nad krokve, nebo v kombinaci.

Konstrukce tepelně izolačních podhledů je nutné posuzovat včetně vrstev nad tepelnou izolací s důrazem na způsob propojení vzduchové vrstvy nad podhledem s vnějším prostředím.

### **Okna, dveře a prosklené plochy**

K rozhodujícím prvkům tepelně technické kvality budov patří správná koncepce řešení oken, dveří a prosklených ploch. Při jejich návrhu je třeba brát v úvahu několik navzájem si odporujících požadavků [31 srovnej 41]:

- velikost tepelné ztráty (určená součinitelem prostupu tepla),
- velikost solárních zisků (určených celkovou energetickou propustností),
- požadavek na prosvětlení a oslunění místností,
- požadavky estetické,
- požadavky výměny vzduchu a větrání,
- požární požadavky.

Velikost a kvalitu prosklených ploch je doporučeno volit v závislosti na orientaci ke světovým stranám a dalším skutečnostem ovlivňujícím pasivní využívání solárních zisků, při uvážení možnosti přehřívání místností v přechodných a letním období.

Okna na fasádách neosluněných se doporučuje volit tak, aby v přilehlých místnostech byly pouze splněny požadavky na denní osvětlení (cca 15% podlahové plochy). Na fasádách prosluněných je možné volit okna větší, riziko přehřívání je nutné ověřit, pokud je plocha

prosklených částí pro jednotlivé přilehlé místnosti větší než jedna čtvrtina jejich podlahových ploch.

Stínící protisluneční prvky zabraňující nadměrnému přehřívání místností je vhodné umísťovat na vnější stranu prosklených ploch (méně účinné jsou stínící prvky umísťované mezi skly, stínící prvky na vnitřních stranách jsou účinné nejméně) a je vhodné je kombinovat s pevnými stavebními prvky (přesah střechy, římsy a markýzy).

Výplně otvorů by měly být osazovány do obvodových stěn v rovině navazující na tepelně izolační vrstvu nebo musí tepelně izolační vrstva překrývat rámy výplní otvorů o 30 až 40 mm. Osazovací spáry musí zajišťovat vzduchotěsnost a vodotěsnost.

Střešní okna musí být zabudována tak, aby byla zajištěna návaznost na střešní krytinu, nenarušenou parozábranu i pojistnou hydroizolace.

## Stropy a podlahy

Dřevěné stropní a podlahové konstrukce není vhodné trvale zakrývat nášlapnými vrstvami z vysoce parotěsných materiálů (PVC, pryžové podlahoviny). Tepelnou jímavost podlah nejvíce ovlivňují použité nášlapné vrstvy. Vliv níž položených vrstev klesá výrazně s rostoucí vzdáleností od vrstvy nášlapné.

Vodorovné konstrukce s funkcí podlah nad venkovním a nevytápěným prostředím (suterény, garáže) musí splňovat požadavky z hlediska součinitele prostupu tepla a poklesu dotykové teploty podlahové konstrukce.

## 5.2 Požadavky tepelné ochrany budov dle ČSN 73 0540

Technická norma ČSN 73 0540 Tepelná ochrana budov je závazná pro všechny budovy s požadavkem pro navrhování a ověřování stavu vnitřního prostředí při užívání, přičemž budova musí být navržena a provedena tak, aby spotřeba energie na její vytápění, větrání, popřípadě klimatizaci byla co nejnižší, přičemž jsou zaručeny požadavky na:

- tepelnou pohodu uživatelů,
- požadované tepelně-technické vlastnosti konstrukcí,
- stav vnitřního prostředí pro technologické činnosti a pro chov zvířat, nízkou energetickou náročnost při provozu stavby.

Norma platí pro nové budovy, pro stavební úpravy a udržovací práce a pro změny v užívání budov a jiné změny dokončených budov. Norma se například nevztahuje na budovy velkoplošně otevřené, nafukovací haly, stany a mobilní buňky.

Předmětem normy je hodnocení požadovaných vlastností zohledňujících šíření tepla, vlhkosti a vzduchu konstrukcemi, místnostmi a budovami a energetickou náročnost budov [definováno v 71-74]:

- součinitel prostupu tepla  $U$ ,
- prostup tepla obálkou budovy
- lineární a bodový součinitel prostupu tepla  $\Psi_k$  a  $\chi_j$
- nejnižší vnitřní povrchová teplota  $\theta_{si}$ , min
- pokles dotykové teploty podlahy  $\Delta\theta_{10}$
- kondenzace vodní páry v konstrukci
- průvzdušnost funkčních spár výplní otvorů
- průvzdušnost obálky budovy
- výměna vzduchu v místnostech
- tepelná stabilita místnosti v zimním období

- tepelná stabilita místnosti v letním období.

Dodržení těchto vlastností je požadováno po dobu ekonomicky přiměřené životnosti konstrukcí, přičemž významným aspektem při navrhování budovy je vzájemná vyváženost posuzovaných vlastností.

### 5.2.1 Součinitel prostupu tepla U

Součinitel prostupu tepla U [W/m<sup>2</sup>·K] je nejdůležitější veličinou v oblasti tepelné techniky budov. Hodnotí tepelný tok jednotlivými konstrukcemi a charakterizuje jejich izolační schopnost. Je definován pro konstantní teploty vzduchu v nenarušených přilehlých prostředích. Na základě nastavené úrovně součinitele prostupu tepla lze navrhovat konstrukce objektů s požadovanými, doporučenými, či nízkoenergetickými až pasivními tepelně-technickými vlastnostmi.

Součinitel prostupu tepla plošné konstrukce bez systematických tepelných mostů lze stanovit

$$U_{id} = 1/(R_{si} + R + R_{se}), \quad [W/m^2 \cdot K] \quad (1)$$

kde  $R_{si}$  [m<sup>2</sup>·K/W] a  $R_{se}$  [m<sup>2</sup>·K/W] jsou tepelné odpory při přestupu tepla na vnitřní a vnější straně (podle tabulky 4) a  $R$  [m<sup>2</sup>·K/W] je tepelný odpor vrstvy konstrukce, který lze určit

$$R = \sum d / \lambda, \quad [m^2 \cdot K/W] \quad (2)$$

kde  $d$  je tloušťka vrstvy konstrukce [m] a  $\lambda$  součinitel tepelné vodivosti [W/m·K]. Celková hodnota tepelného je určena dílčími tepelnými odpory jednotlivých vrstev, které jsou účinně chráněny před účinky vlhkosti (u střeš všechny vrstvy pod hydroizolací, u podlah na zemině všechny vrstvy nad hydroizolací).

**Tab. 4** Tepelné odpory při přestupu tepla podle ČSN 73 0540-3 [W/m<sup>2</sup>K] [41, 71-74]

Povrch	Účel výpočtu	Konstrukce / povrch	Tep. odpor při přestupu tepla
			$R_{si}, R_{se}$ [m <sup>2</sup> ·K/W]
Vnější	Součinitel prostupu tepla U, Povrchové teploty	Jednoplášťová	0,04
		Dvoupplášťová	Shodné s $R_{si}$
Zemina		Styk se zeminou	0,00
Vnitřní	Součinitel prostupu tepla U, Tepelné toky	Stěna (horizontální tepelný tok)	0,13
		Střecha (tepelný tok vzhůru)	0,10
		Podlaha (tepelný tok dolů)	0,17
	Povrchové teploty	Výplně otvorů	0,13
		Ostatní konstrukce	0,25

Tepelné odpory při přestupu tepla zohledňují skutečnost dvojrozměrného a trojrozměrného šíření tepla z ustáleného prostředí do prostředí na druhé straně konstrukce. Pro většinu normových výpočtů se předpokládají neměnné.

Součinitel tepelné vodivosti  $\lambda$  udává schopnost daného materiálu vést teplo. Z fyzikálního hlediska jde o materiálovou konstantu stanovenou na základě přesně stanovených podmínek (nastavení teploty a relativní vlhkosti).

Součinitel prostupu tepla  $U_{id}$  v ideální skladbě konstrukce je dále třeba nutné upravit o vliv zohledňující tepelné mosty podle vztahu

$$U = U_{id} + \Delta U_{tbk}, \quad [W/m^2 \cdot K] \quad (3)$$

kde  $\Delta U_{tbk}$  představuje navýšení součinitele prostupu tepla o souhrnný vliv tepelných mostů v hodnocené konstrukci, který se stanovuje přibližně odborným odhadem podle tabulky 5.

**Tab. 5** Navýšení součinitele prostupu tepla  $\Delta U_{tbk}$  vlivem tepelných mostů [41, 71-74]

Zastoupení tepelných mostů v konstrukci	Orientační hodnoty
	$\Delta U_{tbk}$ [W/m <sup>2</sup> ·K]
Konstrukce téměř bez tepelných mostů (důsledně optimalizovaná)	0,02 (a méně)
Konstrukce s mírnými tepelnými mosty (opakující se detaily)	0,05
Konstrukce s běžnými tepelnými mosty (běžná úroveň PD)	0,1
Konstrukce s výraznými tepelnými mosty (nízká úroveň PD)	0,20 (a více)

Přesnější výsledek lze získat s využitím katalogu charakteristických tepelných mostů v opakovaných (typových) konstrukcích, přičemž lineární a bodové činitele tepelných mostů byly stanoveny řešením tepelných polí. Přesnou hodnotu  $\Delta U_{tbk}$  lze vypočítat na základě znalosti podrobné projektové dokumentace a konkrétních činitelů známých lineárních tepelných mostů  $\Psi_k$  o délce  $l_k$  v konstrukci o ploše  $A$  a činitelů bodových tepelných mostů  $\chi_j$  ze vztahu

$$\Delta U_{tbk} = (\sum \Psi_k \cdot l_k + \sum \chi_j) / A. \quad [W/m^2 \cdot K] \quad (4)$$

### Požadované hodnoty součinitele prostupu tepla $U_N$

Každá nově budovaná či rekonstruovaná konstrukce obálky budovy musí splňovat požadavek na minimální hodnotu součinitele prostupu tepla  $U$  [W/m<sup>2</sup>K] podle vztahu

$$U \leq U_N, \quad [W/m^2 \cdot K] \quad (5)$$

ktej je všeobecně platný pro konstrukce v běžných objektech s převažující vnitřní návrhovou teplotou  $\theta_{in}$  v rozmezí od 18 do 22°C včetně a s relativní vlhkostí  $\varphi_i$  do maximálně 60%. V případě splnění této podmínky je možné při stanovování požadované minimální hodnoty součinitele prostupu využít tabelované doporučené a požadované hodnoty podle ČSN 730540-2 uvedené v tabulce 6.



**Tab. 6** Požadovaný součinitel prostupu tepla  $U_N$  [ $W/m^2 \cdot K$ ] podle ČSN 730540-2 [71]

Popis konstrukce	Požadované	Doporučené
	hodn. $U_N$ [ $W/m^2 \cdot K$ ]	hodn. $U_N$ [ $W/m^2 \cdot K$ ]
• Střecha plochá a šikmá se sklonem do 45° včetně • Strop s podlahou nad venkovním prostorem	0,24	0,16
• Strop pod nevytápěnou půdou (se střechou bez tepelné izolace) • Stěna vnější vytápěná (vnější vrstvy od vytápění)	0,30	0,20
• Stěna vnější a stěna k nevytápěné půdě (se střechou bez tep. izolace) • Podlaha a stěna přilehlá k zemině (ve vzdálenosti menší než 1 m od rozhraní zeminy a vnějšího vzduchu) • Střecha strmá se sklonem nad 45° (Lehká / těžká konstrukce)	0,30/0,38	0,20/0,25
• Podlaha a stěna vytápěného prostoru přilehlá k zemině (ve vzdálenosti větší než 1 m od rozhraní zeminy a vnějšího vzduchu)	0,45	0,30
• Strop a stěna vnitřní z vytápěného k nevytápěnému prostoru	0,60	0,40
• Strop a stěna vnitřní z vytápěného k částečně vytápěnému prostoru • Strop a stěna vnější z částečně vytápěného prostoru do exteriéru • Podlaha a stěna částečně vytápěného prostoru přilehlá k zemině (ve vzdálenosti menší než 1 m od rozhraní zeminy a vnějšího vzduchu)	0,75	0,50
• Podlaha a stěna částečně vytápěného prostoru přilehlá k zemině (ve vzdálenosti větší než 1 m od rozhraní zeminy a vnějšího vzduchu)	0,85	0,60
• Stěna mezi sousedními budovami • Strop mezi prostory s rozdílem teplot do 10 °C včetně	1,05	0,70
• Stěna mezi prostory s rozdílem teplot do 10 °C včetně	1,30	0,90
• Strop vnitřní mezi prostory s rozdílem teplot do 5 °C včetně	2,20	1,45
• Stěna vnitřní mezi prostory s rozdílem teplot do 5 °C včetně	2,70	1,80
• Okno, dveře a jiná výplň otvoru ve vnější stěně a strmé střeše z vytápěného prostoru do vnějšího prostředí	1,70	1,20
• Okno, dveře a jiná výplň otvoru ve stěně a strmé střeše z vytápěného do částečně vytápěného prostoru nebo z částečně vytápěného prostoru do exteriéru (včetně rámu)	3,50	2,30
• Střešní okno, světlík či jiná šikmá výplň otvoru se sklonem do 45° z vytápěného prostoru do exteriéru	1,50	1,10
• Střešní okno, světlík či jiná šikmá výplň otvoru se sklonem do 45° z vytápěného do částečně vytápěného prostoru nebo z částečně vytápěného prostoru do exteriéru (včetně rámu)	2,60	1,70

Při stavebních úpravách, udržovacích pracích, změnách v užívání budov a jiných změnách dokončených budov je možné na základě zpracovaného energetického auditu podle předpisu o energetických auditech<sup>5</sup> prokázat, že splnění požadavku na součinitel prostupu tepla je z hlediska technického, environmentálního nebo ekonomického neproveditelné s ohledem na další využívání a životnost objektu. V těchto případech lze překročit hodnotu  $U_N$  nejvýše tak, aby nedocházelo k vadám a poruchám při užívání.

<sup>5</sup> Zákon č. 406/2006 Sb., o hospodaření energií a jeho vyhláška č. 78/2013 Sb., kterou se vydávají podrobnosti náležitostí energetického auditu

## 5.2.2 Prostup tepla obálkou budovy $U_{em}$

Prostup tepla obálkou budovy lze využít při návrhu vhodné geometrie budovy, k optimalizaci plošného zastoupení jednotlivých konstrukcí u nových budov. Při stavebních úpravách lze prostup tepla obálkou budovy využít pro optimalizaci skladby tepelných vazeb mezi konstrukcemi.

Prostup tepla obálkou budovy se hodnotí pomocí průměrného součinitele prostupu tepla  $U_{em}$  jako

$$U_{em} = H_T / A, \quad [W/m^2 \cdot K] \quad (6)$$

kde  $H_T$  vyjadřuje měrnou ztrátu prostupem tepla  $[W/K]$  a  $A$   $[m^2]$  plochu obálky budovy. Požadované a doporučené hodnoty  $U_{em}$  podle ČSN 730540-2 jsou uvedeny v tabulce 7.

S pomocí průměrného součinitele tepla lze velice dobře pochopit celkové vlastnosti obálky budovy jako vstupní údaj pro komplexní hodnocení energetické náročnosti budov.

**Tab. 7** Požadované a doporučené hodnoty průměrného součinitele prostupu tepla  $U_{em}$  [71]

Objemový faktor tvaru budovy $A / V$ $[m^2/m^3]$	Průměrný součinitel prostupu tepla $U_{em}$	
	Požadované hodnoty $U_{em,rq}$ $[W/m^2 \cdot K]$	Doporučené hodnoty $U_{em,rc}$ $[W/m^2 \cdot K]$
0,2	1,05	0,79
0,3	0,80	0,60
0,4	0,68	0,51
0,5	0,60	0,45
0,6	0,55	0,41
0,7	0,51	0,39
0,8	0,49	0,37
0,9	0,47	0,35
1,0	0,45	0,34

## 5.2.3 Lineární a bodový součinitel prostupu tepla $\Psi_k$ a $\chi_i$

Lineární a bodový součinitel tepla vyjadřuje rozdíl mezi výpočtem prostupu tepla přibližným způsobem bez uvažování negativních vlivů tepelných vazeb a přesným výpočtem s uvažováním tepelných vazeb mezi konstrukcemi. Lineární tepelné vazby zohledňují přechod mezi konstrukcemi obálky budovy s rozdílnými tepelně-technickými vlastnostmi.

Lineární a bodový součinitel prostupu tepla musí splňovat podmínku podle vztahu

$$\Psi_k \leq \Psi_{k,N}, \quad [W/m \cdot K] \quad (7)$$

$$\chi_i \leq \chi_{i,N}, \quad [W/K] \quad (8)$$

kde požadované hodnoty uvádí tabulka 8.

Podmínky pro lineární a bodové tepelné vazby v jednotlivých návaznostech vnějších stěn jsou splnitelné pro běžné detaily spojů konstrukcí, naopak požadavky na lineární činitele prostupu tepla návazností výplní otvorů jsou poměrně přísné a zajišťují tak nezhoršení tepelně-technických vlastností budovy po zabudování výplní otvorů.

**Tab. 8** Požadované a doporučené hodnoty lineárního a bodového činitele prostupu tepla [43, 44, 71]

Typ lineární tepelné vazby	Požadované hodn. $\Psi_{k,N}$	Doporučené hodn. $\Psi_{k,N}$
	[W/m·K]	[W/m·K]
Vnější stěna navazující na vnější konstrukci s výjimkou výplně otvoru, např. na základ, strop nad nevytápěným prostorem, jinou vnější stěnu, lodžii, či balkon, markýzu či arkýř, vnitřní stěnu a strop a jiné	0,60	0,20
Vnější stěna navazující na výplň otvoru, např. na okno, dveře, vrata a část prosklené stěny v parapetu, bočním osvětlení a v nadpraží	0,10	0,03
Střeška navazující na výplň otvoru, např. střešní okno, světlík, poklop	0,30	0,10

Typ bodové tepelné vazby	Požadované hodn. $\chi_{i,N}$	Doporučené hodn. $\chi_{i,N}$
	[W/K]	[W/K]
Průnik tyčové konstrukce (sloupy, nosníky, konzoly) vnější stěnou, podhledem nebo střechou	0,90	0,30

Průměrné zvýšení součinitele prostupu tepla vlivem tepelných vazeb mezi konstrukcemi v rámci budovy  $\Delta U_{em}$  lze přibližně (bez náročných výpočtů a vlivů jednotlivých lineárních a bodových tepelných vazeb) stanovit ze vztahu

$$\Delta U_{em} \approx 0,1, \quad [W/m^2 \cdot K] \quad (9)$$

avšak pouze pro tradiční budovy, jejichž hodnoty součinitele prostupu tepla jednotlivými konstrukcemi nabývají hodnot okolo  $U = 1 [W/m^2 \cdot K]$ . Tento postup není vhodný pro výrazně izolované budovy.

Velmi přibližně lze celkový průměrný vliv tepelných vazeb mezi konstrukcemi stanovit zvýšením hodnoty součinitele prostupu tepla přírážkou podle tabulky 9.

**Tab. 9** Přírážka  $\Delta U_{em}$  k základní hodnotě součinitele prostupu tepla [43, 44, 71]

Charakter konstrukce	$\Delta U_{em}$ [W/m <sup>2</sup> ·K]	Komentář
Konstrukce zcela bez tepelných mostů	0,00	Zcela souvislá izolační vrstva, bez přítomnosti prostupujících kotevnic a dalších prvků
Konstrukce téměř bez tepelných mostů	0,02	Doporučený předpoklad projektu, nejčastější případ
Konstrukce s mírnými tepelnými mosty	0,05	Konstrukce zpravidla nevhodné pro nízkoenergetické a pasivní domy
Konstrukce s běžnými tepelnými mosty	0,10	Konstrukce nevhodné pro nízkoenergetické a pasivní domy
Konstrukce s výraznými tepelnými mosty	0,20	Konstrukce nevhodné pro domy pro bydlení

### 5.2.4 Nejnižší vnitřní povrchová teplota

Nejnižší vnitřní povrchová teplota se obvykle stanovuje pro kritické detaily stavebních konstrukcí a výplň otvorů, kterými jsou tepelné mosty a tepelné vazby mezi konstrukcemi tak,

aby bylo zabráněno riziku povrchové kondenzace u výplní otvorů a růstu plísní u konstrukcí ostatních.

### 5.2.5 Pokles dotykové teploty podlahy $\Delta\theta_{10}$

Pokles dotykové teploty je jedním z požadavků vyjadřujících tepelnou pohodu v budovách. Při styku nechráněné části lidského těla s chladnější stavební konstrukcí dochází ke snižování jeho povrchové teploty a tím ke změně tepelné pohody člověka.

K doteku člověka s konstrukcí dochází zejména u podlah při našlápnutí nechráněného chodidla na povrch podlahy. Splnění požadavku poklesu dotykové teploty podlahy je nutné u všech podlah obytných místností s výjimkou podlah s celoplošnou nášlapnou vrstvou z textilií a u podlah s povrchovou teplotou trvale vyšší než 26°C.

### 5.2.6 Kondenzace vodní páry v konstrukci

Pro zajištění ochrany zdraví a pro vyloučení rizik spojených s možností kondenzace vodní páry vně budov a konstrukcí je nutné ověření tepelně vlhkostního chování konstrukce v extrémních zimních podmínkách. Stavební konstrukce, u kterých by zkondenzovaná vodní pára uvnitř konstrukce mohla ohrozit její požadovanou funkci (dřevostavby a jiné konstrukce na bázi dřeva), nesmí dojít ke kondenzaci vodní páry uvnitř konstrukce

$$G_{k,N} = 0. \quad [\text{kg/m}^2 \cdot \text{a}] \quad (10)$$

Pro stavební konstrukce, u kterých kondenzace vodní páry uvnitř neohrozí jejich požadované funkce se požaduje omezení ročního množství zkondenzované vodní páry podle vztahu

$$G_k \leq G_{k,N}, \quad [\text{kg/m}^2 \cdot \text{a}] \quad (11)$$

kde  $G_{k,N}$  je maximální možná kondenzace vodní páry v konstrukci  $[\text{kg/m}^2 \cdot \text{a}]$ , přičemž pro jednoplášťovou střechu, konstrukci se zabudovanými dřevěnými prvky, konstrukci s vnějším kontaktním zateplovacím systémem, vnějším obkladem nebo jinou obvodovou konstrukci s difúzně málo propustnými vnějšími povrchovými vrstvami je

$$G_{k,N} = 0,10, \quad [\text{kg/m}^2 \cdot \text{a}] \quad (12)$$

pro ostatní stavební konstrukce je

$$G_{k,N} = 0,50. \quad [\text{kg/m}^2 \cdot \text{a}] \quad (13)$$

Pokud je při stavebně technickém průzkumu stávajících konstrukcí zjištěna zvýšená vlhkost – jedná se zpravidla o vlhkost způsobenou především akumulací zkondenzované vlhkosti za dobu existence konstrukce, o vlhkost zateklou porušením hydroizolačních vrstev střešního pláště, o atmosférickou vlhkost pronikající nedokonalými povrchovými úpravami stěn nebo o vztlínající vlhkost z podzákladí –, je možné ji jednoduchým způsobem ve výpočtu zohlednit.

Uvažovat počáteční vlhkost je přípustné pouze v případě, kdy dojde k odstranění příčin jejich vzniku vhodnou sanací. Pouze v případech, kdy nehrozí doplňování zvýšené vlhkosti a kdy lze předpokládat, že dojde k postupnému vysychání.

## 5.2.7 Průvzdušnost funkčních spár výplní otvorů

Šíření vzduchu výrazně ovlivňuje nejen tepelné chování budovy jako celku, ale také tepelně vlhkostní režim jednotlivých konstrukcí obálky budovy. K výměně vzduchu v budově dochází dvěma způsoby:

- větráním (řízeně a záměrně zásahy ze strany uživatelů budovy,
- filtrací (samovolně bez zásahů a možnosti regulace infiltrací a exfiltrací vzduchu).

Smyslem větrání je zajistit dostatečnou kvalitu vzduchu uvnitř budovy. Množství větraného vzduchu by mělo vycházet z hygienických a technologických požadavků na provoz budovy, přičemž tepelné ztráty způsobené větráním by měly být co nejnižší.

S ohledem na souvislost mezi energetickou náročností budov a hygienickými požadavky jsou definovány požadavky na šíření vzduchu konstrukcemi a budovou.

Výměna vzduchu v budově je podmíněna existencí otvorů v obálce budovy, kterými může proudit vzduch a rozdílem tlaku vzduchu mezi vnitřním a vnějším prostředím. Otvory v obálce budovy jsou navrhovány záměrně (jako součást větracího systému: okna, větrací klapky, systém větracího potrubí) nebo nechtěně (druhotné netěsnosti vzniklé chybným návrhem při návrhu a výstavbě budovy).

Přítomnost nesystémových netěsností obálky budovy by měla být v průběhu návrhu a realizaci maximálně eliminována, jelikož s sebou nese řadu negativních důsledků:

- snížení účinnosti větracího systému,
- zvýšenou tepelnou ztrátu budovy,
- zvýšenou zátěž životního prostředí (větší potřeba energie na vytápění),
- zvýšené riziko kondenzace vně konstrukce,
- snížení životnosti konstrukce způsobené degradačními procesy v okolí netěsností,
- snížení kvality vnitřního mikroklimatu,
- zhoršení akustických vlastností konstrukce.

Smyslem požadavku je zajistit nízkou průvzdušnost (schopnost určitého prvku propouštět vzduch, pokud je vystaven tlakovému rozdílu) výplní otvorů, zejména spáry mezi rámem a otvíravými částmi výplně (funkční spárou) jako jedné z netěsností obálky budovy. Součinitel spárové průvzdušnosti funkčních spár výplní otvorů  $i_{LV}$ , [ $m^3/s \cdot m \cdot Pa^{0,67}$ ] musí splňovat podmínku

$$i_{LV} \leq i_{LV,N}, \quad [m^3/s \cdot m \cdot Pa^{0,67}] \quad (14)$$

kde  $i_{LV,N}$  je požadovaná hodnota součinitele spárové průvzdušnosti stanovená z tab. 10.

**Tab. 10** Požadované hodnoty součinitele  $i_{LV,N}$  [71]

Funkční spára ve výplni otvoru	Požadovaná hodnota $i_{LV,N}$	
	Budova s větráním přirozeným	Budova s větráním nuceným
	[ $m^3/s \cdot m \cdot Pa^{0,67}$ ]	
Vstupní dveře do zádveří při celkové výšce budovy do 8 m včetně	$1,60 \cdot 10^{-4}$	$0,87 \cdot 10^{-4}$
Ostatní vstupní dveře do budovy, dveře oddělující ucelené části	$0,87 \cdot 10^{-4}$	$0,30 \cdot 10^{-4}$
Ostatní výplně otvorů	- do 8 m včetně	$0,10 \cdot 10^{-4}$
	- nad 8 m, do 20 m včetně	
	- nad 20 m, do 30 m včetně	
	- nad 30 m včetně	
Lehlý obvodový plášť včetně oken a dveří	$0,05 \cdot 10^{-4}$	$0,05 \cdot 10^{-4}$

Součinitel spárové průvzdušnosti  $i_{LV}$  [ $m^3/s \cdot m \cdot Pa^{0,67}$ ] spár a netěsností v konstrukcích a mezi konstrukcemi navzájem, kromě funkčních spár vyplní otvorů, musí být v celém průběhu užívání budovy téměř nulový, tj. musí být nižší než nejistota zkušební metody pro jeho stanovení.

Průvzdušnost dílčích netěsností je vhodné prokázat před dokončením budovy tak, aby bylo možné netěsnosti odstranit.

### 5.2.8 Průvzdušnost obálky budovy

Celková průvzdušnost obálky budovy je schopnost obálky budovy propouštět vzduch v případě, že je budova vystavena tlakovému rozdílu. Celková průvzdušnost je dána kombinovaným efektem jednotlivých netěsností a vyjadřuje se pomocí intenzity výměny vzduchu  $n_{50}$  [1/h] v budově při tlakovém rozdílu 50 Pa

$$n_{50} = V_{50}/V, \quad [1/h] \quad (15)$$

kde  $V_{50}$  je objemový tok vzduchu při referenčním tlakovém rozdílu 50 Pa [ $m^3/h$ ] a  $V$  je objem vnitřního vzduchu měřené budovy [ $m^3$ ]. Doporučené hodnoty  $n_{50}$  jsou uvedeny v tabulce 11.

**Tab. 11** Doporučené hodnoty celkové intenzity výměny vzduchu  $n_{50,N}$  [71]

Způsob větrání v budově	$n_{50,N}$
	[1/h]
Přirozené nebo kombinované	4,50
Nucené	1,50
Nucené se zpětným získáváním tepla	1,00
Nucené se zpětným získáváním tepla v budovách se zvláště nízkou potřebou tepla na vytápění (pasivní domy)	0,60

Splněním doporučených hodnot  $n_{50}$  (omezení proudění vzduchu netěsnostmi obálky budovy) je zajišťována úspora energie a tepelná ochrana budovy.

Celková průvzdušnost budovy se prokazuje pomocí zařízení (Blower-Door), na základě tzv. Blower-Door testu přímo při výstavbě a v takové fázi rozestavenosti budovy, aby bylo možné dodatečně odstranit netěsnosti v obálce budovy.

### 5.2.9 Výměna vzduchu v místnostech

Výměna vzduchu v místnostech se hodnotí pomocí výpočtem stanovené intenzity přirozené výměny vzduchu bez započtení funkce větracího nebo klimatizačního zařízení  $n$  [1/h] pro zimní návrhové podmínky. Doporučuje se, aby průvzdušnost místností, kde se užije nuceného větrání nebo klimatizace, byla velmi malá.

V souladu s navrženými parametry je třeba zajistit dostatek čerstvého vzduchu v celé pobytové zóně budovy.

### 5.2.10 Tepelná stabilita místnosti v zimním období

Tepelná stabilita místnosti v zimním období se hodnotí pomocí sledování vychladání hodnocené kritické místnosti na konci topné přestávky (chladnutí při přerušovaném vytápění nebo havarijní chladnutí při poruše). Vychladnutí se vyjadřuje pomocí poklesu výsledné teploty v místnosti. Kritická místnost musí na konci doby chladnutí vykazovat pokles teploty podle vztahu

$$\Delta\theta_v(t) \leq \Delta\theta_{v,N}(t), \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (16)$$

kde  $\Delta\theta_{v,N}(t)$  je požadovaná hodnota poklesu výsledné teploty v místnosti v zimním období, ve  $[^{\circ}\text{C}]$  stanovená z tabulky 12.

Tabelované hodnoty požadavku vycházejí z hygienických kritérií (pobytová místnost s osobami v průběhu topné přestávky), z technologických předpisů (stavby pro skladování) a také z požadavků na optimální průběh přerušovaného vytápění z hlediska dodávané energie.

**Tab. 12** Požadované hodnoty poklesu výsledné teploty v místnosti v zimním období [71]

Druh místnosti (prostoru)	Pokles výsledné teploty v místnosti v zimním období
	[ $^{\circ}\text{C}$ ]
S pobytem lidí po přerušení vytápění - při vytápění radiátory, sálavými panely a teplovzdušně - při vytápění kamny a podlahovém vytápění	
	3
	4
Bez pobytu lidí po přerušení vytápění - při přerušení vytápění topnou přestávkou - budova masivní - budova lehká	
	6
	8

Požadavky na pokles teploty v místnosti v zimním období nejsou navázány na žádnou konkrétní dobu přerušení vytápění (chladnutí místnosti) a lze je proto užít dvojím způsobem:

- při známé a pevně stanovené délce topné přestávky,
- při variabilní délce topné přestávky pro stanovení její maximální délky.

### 5.2.11 Tepelná stabilita místnosti v letním období

Splnění požadavku kladeného na tepelnou stabilitu místnosti v letním období zajišťuje udržení teploty vnitřního vzduchu v přípustných mezích a lze jej vyjádřit dvěma odlišnými postupy jako:

- nejvyšší denní vzestup teploty vzduchu v místnosti v letním období  $\Delta\theta_{ai,max}$

$$\Delta\theta_{ai,max} \leq \Delta\theta_{ai,max,N} \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (17)$$

- nejvyšší denní teplotu vzduchu v místnosti v letním období  $\theta_{ai,max}$

$$\theta_{ai,max} \leq \theta_{ai,max,N}, \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (18)$$

kde  $\Delta\theta_{ai,max,N}$  ( $\theta_{ai,max,N}$ ) je požadovaná hodnota nejvyššího denního vzestup teploty vzduchu v místnosti v letním období (nejvyšší denní teplota vzduchu v místnosti v letním období) v °C. Požadované hodnoty jsou uvedeny v tabulce 13.

**Tab. 13** Požadované hodnoty  $\Delta\theta_{ai,max}$  a  $\theta_{ai,max}$  [71]

Druh budovy	Nejvyšší denní vzestup teploty vzduchu v místnosti v letním období	Nejvyšší denní teplota vzduchu v místnosti v letním období
	$\Delta\theta_{ai,max,N}$ [°C]	$\theta_{ai,max,N}$ [°C]
Nevýrobní	5,00	27,00
Ostatní s vnitřním zdrojem tepla - do 25 W/m <sup>3</sup> včetně - nad 25 w/m <sup>3</sup>	7,50	29,50
	9,50	31,50

Poznámka: Vztahy (1) až (18) použité v této kapitole vychází z ČSN 73 0540 [70-73] a z komentáře k normě [41].



## 6 ENERGETICKÁ NÁROČNOST BUDOV

Energetickou náročností budov (ENB) se rozumí vypočtené nebo změřené množství energie nutné pro pokrytí potřeby energie spojené s typickým užíváním budovy, což zahrnuje energii používanou na vytápění, chlazení, přípravu teplé vody, mechanické větrání, úpravu relativní vlhkosti vnitřního vzduchu, osvětlení a další pomocné energie [86].

Výpočet ENB se provádí na základě evropské směrnice 2010/31/ES ze dne 19. května 2010 o energetické náročnosti budov, respektive národní prováděcí vyhlášky č. 78/2013 Sb., o energetické náročnosti budov zákona č. 406/2000 Sb., o hospodaření energií. Celková roční měrná spotřeba energie EPA se pak stanoví ze vztahu

$$EPA = 277,8 \cdot (EP/A_{\text{gross}}) = 277,8 \cdot (Q_{\text{fuel}}/A_{\text{gross}}), \quad [\text{kWh/m}^2 \cdot \text{a}] \quad (19)$$

kde EP ( $Q_{\text{fuel}}$ ) je celková roční dodaná energie [GJ/rok] a  $A_{\text{gross}}$  je celková podlahová plocha budovy [m<sup>2</sup>]. Celková roční dodaná energie (tj. energetická náročnost budovy EP) se stanovuje z obecného vztahu

$$EP = Q_{\text{fuel}} = EP_H + EP_C + EP_F + EP_W + EP_L - EP_{PV}, \quad [\text{GJ/rok}] \quad (20)$$

kde  $EP_H$  je roční dodaná energie na vytápění [GJ],  $EP_C$  je roční dodaná energie na chlazení,  $EP_F$  je roční dodaná energie na mechanické větrání a úpravu relativní vlhkosti vnitřního vzduchu,  $EP_W$  je roční dodaná energie na přípravu teplé vody,  $EP_L$  je roční dodaná energie na osvětlení,  $EP_{PV}$  je roční produkce elektřiny fotovoltaickými články.

Vyhláškou č. 78/2013 Sb. jsou dále určovány třídy energetické náročnosti hodnocených budov, přičemž hodnotou referenční je hodnota v rozmezí sloupce C (kompletní přehled tříd energetické náročnosti je zpracován v tabulce 14). Tabulka tříd energetické náročnosti budov slouží zároveň pro zpracování průkazu energetické náročnosti budov.

**Tab. 14** Energetické klasifikační třídy dle vyhlášky č. 78/2013 Sb [86]

Klasifikační třída	Hodnota pro horní hranici klasifikační třídy		Slovní vyjádření klasifikační třídy
	Energie	U <sub>em</sub>	
A	0,5 x E <sub>R</sub>	0,65 x E <sub>R</sub>	Mimořádně úsporná
B	0,75 x E <sub>R</sub>	0,85 x E <sub>R</sub>	Velmi úsporná
C	E <sub>R</sub>		Úsporná
D	1,5 x E <sub>R</sub>		Méně úsporná
E	2 x E <sub>R</sub>		Nehospodárná
F	2,5 x E <sub>R</sub>		Velmi nehospodárná
G			Mimořádně nehospodárná

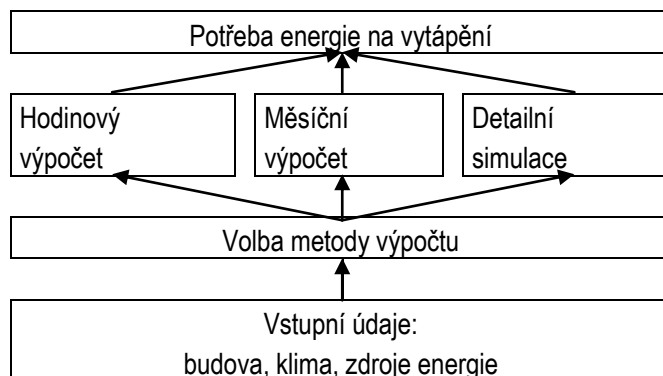
Energetické požadavky na budovy stanovené zákonem č. 406/2000 Sb. jsou splněny v případě, pokud je energetická náročnost budovy nižší než maximální přípustná energetická náročnost budovy referenční [86].

Dodanou energií EP ( $Q_{\text{fuel}}$ ) se rozumí energie potřebná pro pokrytí potřeb užitečné energie  $Q_{\text{dem}}$  pro zajištění vytápění, chlazení, větrání, osvětlení a přípravu teplé vody v předepsaném množství a kvalitě.

Dodaná energie EP ( $Q_{\text{fuel}}$ ) zahrnuje účinnosti technických zařízení použitých v energetických systémech budovy, ztráty vzniklé v těchto systémech, pomocnou energii a respektuje využitelné zisky. Potřeba užitečné energie, tj. energie dodávané energetickými systémy budovy k poskytování požadovaných služeb, jako udržování v budově předepsané

vnitřní teploty, osvětlení nebo větrání, se stanovuje při standardizovaném způsobu užití budovy a pro normové klimatické podmínky.

Celková dodaná energie je stanovena jako součet jednotlivých spotřeb energií pro každou zónu za příslušný časový interval.



Obr. 1 Princip výpočtu dodané energie

Energie vyrobená v objektu pomocí využití obnovitelných zdrojů je od výsledné spotřeby energie objektu odečítána, výslednou spotřebu dodané energie do objektu snižuje.

Ve výpočtu stanovení potřeby energie na vytápění a chlazení jsou zohledněny vlastnosti konstrukcí obvodového pláště, okrajové vnější a vnitřní podmínky, tepelné zisky vznikající při spotřebě elektrické energie na osvětlení, pasivní solární zisky, vnitřní zisky od uživatelů budovy a spotřebičů aj.

Výpočet spotřeby energie vyjadřuje výši energie potřebnou ke krytí relevantní potřeby energie. Zahrnuje tak účinnost zdroje přeměny energie  $\eta_{gen}$ , ztráty vzniklé při rozvodu energie rozvodnou soustavou do místa spotřeby  $\eta_{distr}$  (úroveň izolace rozvodné sítě), účinnost systémů sdílení energie, vliv rekuperace, vliv cirkulačního vzduchu na snížení výkonu ohřívače ve vzduchotechnické jednotce a jiné vstupy snižující či zvyšující účinnost systémů (míru účinnosti emisního systému  $\eta_{gen}$ ). Tedy míru potřeby dílčích energií.

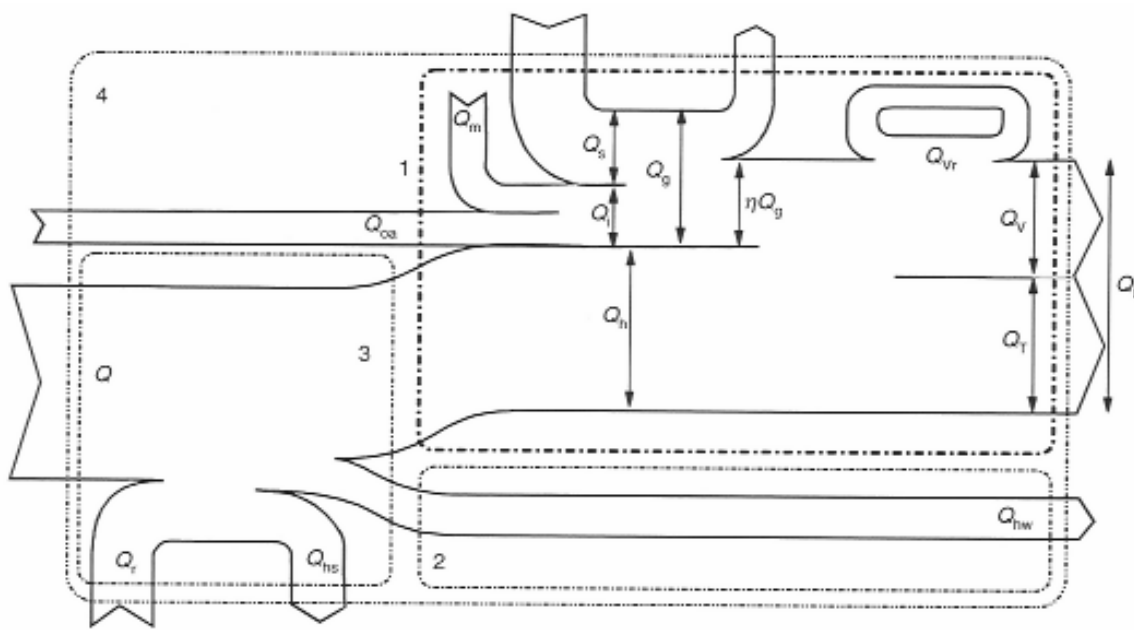
Pro každý jednotlivý dílčí řetězec dodávky energie (na vytápění, přípravu teplé vody) může být obecně každá dílčí potřeba energie vyjádřena jako

$$Q_{fuel} = Q_{dem} / (\eta_{em} \cdot \eta_{distr} \cdot \eta_{gen}), \quad [GJ/rok] \quad (21)$$

## 6.1 Energetická bilance budov

Energetická bilance budov charakterizuje energetické děje (toky) v budovách podmíněné rozdíly mezi požadovaným stavem vnitřního prostředí budovy (vytápěným prostorem) a sousedními prostory nevytápěnými. Bilance zahrnuje jak tepelnou ztrátu (prostupem tepla a v důsledku výměny vzduchu), tak tepelné zisky (od slunečního záření pronikajícího prosklenými plochami, metabolického tepla osob, domácích spotřebičů a podobně).

Přehledné bilanční schéma (obrázek 2) je pomůckou pro pochopení základních souvislostí rozhodujících dějů v budovách působících jako jeden celek – zóna, která je ohraničena konstrukcemi na své systémové hranici – obálce.



**Obr. 2** Schéma energetické bilance. (Číslem 1 je označena budova, 2 ohřev vody, 3otopná soustava se zdrojem tepla, 4 celek.) [47]

Bilanční schéma zahrnuje ztrátu prostupem tepla  $Q_T$  a výměnou vzduchu  $Q_V$ , které musí být kompenzovány dodanou energií. Dodaná energie se skládá z vnitřních tepelných zisků  $Q_G$ : od osob  $Q_m$ , spotřebičů  $Q_{oa}$  a proměnlivých solárních zisků  $Q_S$ . Zbylá část energie musí být dodána pomocí otopné soustavy  $Q_h$ . Otopná soustava také často přispívá k ohřevu teplé užitkové vody  $Q_{hw}$ .

Na vstupu do objektu je třeba dodat dostatečné množství energie  $Q$ , které pokryje nejen tepelné ztráty prostupem a větráním, ale také ztráty způsobené technického přenosového systému.

Celkovou energetickou bilanci je možné sestavit pro krátký časový úsek, pro jednotlivé měsíce, či pro celý rok.

## 6.2 Potřeba tepla na vytápění

Potřeba tepla na vytápění charakterizuje množství potřebné energie dodávané pro pokrytí tepelných ztrát objektu způsobených v důsledku rozdílných teplot vně a uvnitř objektu.

Roční potřeba tepla na vytápění je definovaná jako součet měsíčních dílčích potřeb energie (záporných tepelných toků) zmenšených o kladné tepelné toky (tepelné zisky) upravené o účinnost jejich využití

$$Q_{dem, H} = Q_L - (\eta \cdot Q_G), \quad [MJ] \quad (22)$$

kde  $Q_L$  je celkový záporný tepelný tok (tepelná ztráta) tvořený celkovým tepelným tokem prostupem tepla  $Q_T$  a celkovým tepelným tokem větráním  $Q_V$  podle vztahu

$$Q_L = Q_T + Q_V, \quad [MJ] \quad (23)$$

$Q_G$  je celkový tepelný zisk stanovený jako součet vnitřních tepelných zisků za dané výpočtové období  $Q_i$  a tepelných solárních zisků  $Q_s$ :

$$Q_G = Q_i + Q_s \quad [\text{MJ}] \quad (24)$$

V celkové energetické bilanci jsou zohledněny vnitřní tepelné zisky produkované zdroji přímo ve vytápěné či chlazené zóně a zdroji v neklimatizovaných přilehlých zónách. Tepelné zisky produkované v neklimatizované zóně vedou k navýšení vnitřní teploty v přiléhající zóně a zaslouží se tímto o snížení prostupu tepla přes nevytápěnou zónu (popřípadě o zvýšení tepelné zátěže chlazeného prostoru).

### 6.2.1 Celkový tepelný tok prostupem tepla

Postup stanovení potřeby energie na vytápění vychází z intervalového výpočtu s intervalem výpočtu jednoho měsíce. Použitím měsíční intervalové metody je dosažen dostatečně přesných výsledků vypočtené potřeby energie na vytápění pro výpočtové období jednoho roku. Možné nepřesnosti jsou eliminovány ročním výpočtovým obdobím pro stanovení potřeby energie. Měsíční intervalová metoda je metodou kvazistacionární, metodou, která uvažuje v každém výpočtovém intervalu stálé okrajové podmínky.

Celkový tepelný tok prostupem pro každý měsíc roku se stanoví ze vztahu

$$Q_T = \sum_i \{H_{T,i} \cdot (\theta_i - \theta_{e,i})\} \cdot t, \quad [\text{MJ}] \quad (25)$$

$Q_T$  celkový tepelný tok prostupem tepla [MJ],

$H_{T,i}$  měrný tepelný tok prostupem tepla konstrukcí  $i$  přilehlé k prostoru(ům), prostředí nebo zóně(ám) s teplotou  $\theta_{e,i}$  [W/K],

$\theta_i$  vnitřní výpočtová teplota v budově nebo v zóně budovy [°C],

$\theta_{e,i}$  teplota přilehlého prostoru, prostředí nebo zóny ke konstrukci  $i$  [°C], s použitím hodnot podle tabulky 12,

$t$  trvání výpočtového období [Ms], s použitím hodnot podle tabulky 15.

**Tab. 15** Počet megasekund v měsíci[Ms], průměrná měsíční teplota přilehlého prostoru [81]

Měsíc	Počet dní	t		$\theta_{e,i}$	Měsíc	Počet dní	t		$\theta_{e,i}$
		[hod]	[Ms]	[°C]			[hod]	[Ms]	[°C]
Leden	31	744	2,6784	-1,0	Červenec	31	744	2,6784	18,2
Únor	28	672	2,4192	1,0	Srpen	31	744	2,6784	18,8
Březen	31	744	2,6784	4,0	Září	30	720	2,5920	13,8
Duben	30	720	2,5920	9,0	Říjen	31	744	2,6784	9,4
Květen	31	744	2,6784	14,6	Listopad	30	720	2,5920	4,0
Červen	30	720	2,5920	17,0	Prosinec	31	744	2,6784	-0,5

### 6.2.2 Celkový tepelný tok větráním

Obdobným způsobem jako celkový tepelný tok prostupem se stanoví i celkový tepelný tok větráním:

$$Q_V = \sum_i \{H_{V,i} \cdot (\theta_i - \theta_{e,i})\} \cdot t, \quad [\text{MJ}] \quad (26)$$

$Q_V$  celkový tepelný tok větráním [MJ],

- $H_{v,i}$  měrný tepelný tok větráním konstrukcí i k přilehlému prostoru(ům), prostředí nebo zóně(ám) s teplotou  $\theta_{s,i}$  [W/K],  
 $\theta_i$  vnitřní výpočtová teplota v budově nebo v zóně budovy [°C],  
 $\theta_{e,i}$  výpočtová venkovní teplota proudu vzduchu konstrukcí i vstupujícího do budovy nebo do zóny budovy větráním nebo infiltrací [°C],  
 $t$  trvání výpočtového období, hodnoty stanoveny podle tabulky 12 [Ms].

### 6.3 Měrné tepelné ztráty a tepelné zisky budov

Před výpočtem měrné ztráty prostupem tepla se musí jednoznačně stanovit vytápěný prostor posuzované budovy. Hranicemi vytápěného prostoru (systémové hranice) jsou uvažované stavební konstrukce obálky budovy. Ke stanovení ploch konstrukcí se využívají vnější rozměry.

Systémová hranice je vedena pod podlahou na terénu, vnější svislé rozměry se měří až ke spodní rovině souvrství podlahy, za niž se považuje vnější strana nejnižší vrstvy započítatelné do tepelného odporu konstrukce. Zpravidla je to rovina nad hydroizolací. Obdobně je systémová hranice stanovena i pro stropní (střešní) konstrukci oddělující vytápěný a nevytápěný prostor. Zde je hranice vedena po vnější hraně vnější vrstvy započítatelné do tepelného odporu konstrukce (záklap, tepelná izolace). Příklad stanovení systémové hranice vytápěného prostoru je uveden v příloze číslo 1 a kapitole 7 (Projektová dokumentace pro stanovení tepelně-technických vlastností budov).

Objem budovy  $V$  [m<sup>3</sup>] se stanoví na základě vnějších rozměrů. Od obestavěného prostoru se liší nezahrnutím prvků vně systémové hranice (přechýlující konstrukce, balkony, atiky).

Vzduchový objem se stanoví po jednotlivých podlažích tak, že se podlahová plocha podlaží vynásobí odpovídající světlou výškou.

Podlahová plocha je uvažována jako celková vnitřní plocha včetně půdorysných průmětů stěn a přiček. Výpočet tepelné ztráty budovy je prováděn takzvanou obálkovou metodou.

Klimatické okrajové podmínky se uvažují jednotně podle tabulky 15 (průměrná měsíční teplota přilehlého prostoru a podle tabulky 16 (celková energie globálního slunečního záření).

Tab. 16 Celková energie globálního slunečního záření [81]

Měsíc	Celková energie globálního slunečního záření				
	[kWh/m <sup>2</sup> ]				
	Sever	Jih	Východ	Západ	Horizont
Leden	7	50	15	20	23
Únor	13	56	26	28	40
Březen	23	82	51	53	79
Duben	32	95	74	72	118
Květen	47	97	104	93	161
Červen	52	87	115	88	166
Červenec	47	93	100	93	162
Srpen	38	100	88	88	143
Září	24	95	60	64	96
Říjen	17	75	34	48	57
Listopad	9	36	14	18	24
Prosinec	6	29	11	12	17

### 6.3.1 Celková měrná tepelná ztráta budovy (celkový měrný tepelný tok)

Celkovou měrnou tepelnou ztrátou budovy  $H$  [W/K] lze rozdělit na ztráty prostupem tepla  $H_T$  a ztráty výměnou vzduchu  $H_V$  podle vztahu

$$H = H_T + H_V. \quad [\text{W/K}] \quad (27)$$

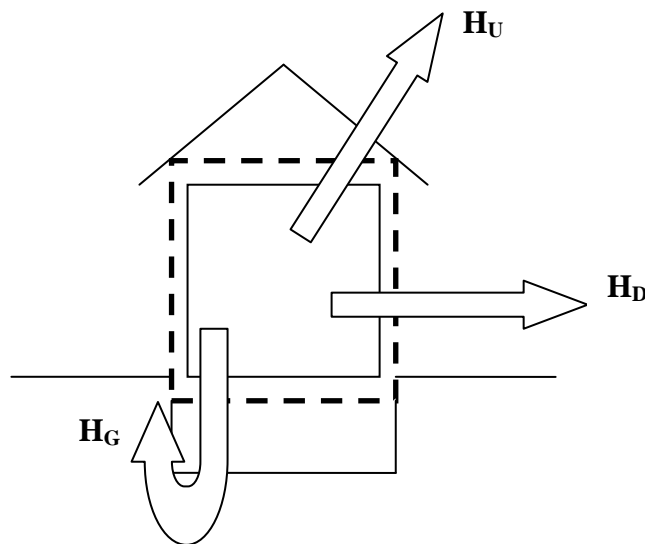
### 6.3.2 Měrný tepelný tok prostupem tepla

Prostup tepla konstrukcemi probíhá přímo, pokud jsou v kontaktu s venkovním vzduchem, nebo nepřímo, pokud je mezi exteriérem a vytápěnými prostory prostor nevytápěný. Tepelné ztráty prostupem tepla vznikají kolem systémové hranice vytápěných a nevytápěných prostor, na obálce budovy.

Tepelné ztráty prostupem tepla jsou závislé na tepelné propustnosti mezi vytápěným a vnějším prostředím. Měrná ztráta prostupem tepla (měrný tepelný tok prostupem tepla mezi vytápěným (chlazeným) prostorem a vnějším prostředím obálkou budovy)  $H_T$  se stanoví jako součet tepelné propustnosti obvodového pláště  $H_D$ , ustálenou tepelnou propustnost přes zeminu  $H_G$  a měrnou ztrátu prostupem tepla přes nevytápěné prostory  $H_U$ :

$$H_T = H_D + H_G + H_U. \quad [\text{W/K}] \quad (28)$$

Schematické vyjádření tepelných ztrát budovy je uvedeno na obrázku 3. Systémová hranice chráněného (vytápěného) prostoru je zvýrazněna).



Obr. 3 Schematický přehled tepelných ztrát budovy [46]

### 6.3.3 Přímý vstup tepla konstrukcemi

Nejmarkantnější tepelné ztráty jsou způsobeny přímým prostupem tepla do vnějšího prostředí  $H_D$ . Jsou přímo závislé na velikostech ploch  $A$  [m<sup>2</sup>] konstrukcí obvodového pláště (průsvitných i neprůsvitných) a jejich tepelně-technických vlastnostech  $U$  [W/m<sup>2</sup>·K]. Tepelné ztráty prostupem tepla jsou dále negativně ovlivněny působením lineárních a bodových tepelných vazeb podle vztahu:

$$H_D = \sum_i A_i \cdot U_i + \sum_k l_k \cdot \Psi_k + \sum_j \chi_j \quad [\text{W/K}] \quad (29)$$

nebo podle vztahu:

$$H_D = \sum_i A_i \cdot (U_i + \Delta U_{em}), \quad [\text{W/K}] \quad (30)$$

ve kterém je vliv lineárních a bodových tepelných vazeb vyjádřen pomocí přírážky  $\Delta U_{em}$  podle vztahu (9).

#### 6.3.4 Prostup tepla zeminou

Prostup tepla přes konstrukce přilehlé k zemině a zeminou obklopující budovu  $H_G$  postihuje tepelný tok z interiéru do exteriéru přes základové konstrukce a přilehlou zeminu podle konkrétního uspořádání:

- podlahová deska na zemině,
- vytápěné podzemní podlaží s podlahovou deskou pod úrovní zeminy
- nevytápěné podzemní podlaží.

Vypočte se podle soustavy vztahů

$$H_G = A \cdot U \cdot b, \quad [\text{W/K}] \quad (31)$$

kde  $A$  je plocha objektu [ $\text{m}^2$ ],  $U$  je součinitel tepelné vodivosti podlahové konstrukce [ $\text{W/m}^2 \cdot \text{K}$ ] a  $b$  je redukční činitel vypočítaný jako

$$b = U_{ekv} / U. \quad [-] \quad (32)$$

Ekvivalentní součinitel prostupu tepla stavební částí  $U_{ekv}$  se stanovuje podle typologie podlahy:

- u podlah neizolovaných nebo mírně izolovaných jako:

$$U_{ekv} = \lambda / (0,475 \cdot B' + d_t) \quad [\text{W/m}^2 \cdot \text{K}] \quad (33)$$

- u podlah kvalitně izolovaných jako:

$$U_{ekv} = \{(2 \cdot \lambda) / (\pi \cdot B') + d_t\} \cdot \{\ln [(\pi \cdot B') / d_t] + 1\}. \quad [\text{W/m}^2 \cdot \text{K}] \quad (34)$$

kde  $d_t$  je

$$d_t = (w + \lambda) \cdot (R_{si} + R_f + R_{se}) \quad [\text{W/K}] \quad (35)$$

kde

- $R_f$  je tepelný odpor podlahové konstrukce [ $\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$ ],
- $R_{si}$  tepelný odpor vnitřní při přestupu tepla podle tabulky 1 [ $\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$ ],
- $R_{se}$  tepelný odpor vnitřní při přestupu tepla podle tabulky 1 [ $\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$ ],
- $w$  tloušťka obvodové stěny [ $\text{m}$ ],
- $B'$  charakteristický parametr (rozměr) podlahy [ $\text{W/K}$ ],
- $\lambda$  tepelná vodivost zeminy [ $\text{W/m.K}$ ] stanovený podle tabulky 17.

Tab. 17 Tepelně-technické vlastnosti zeminy [77]

Kategorie	Popis	Tepelná vodivost
		$\lambda$ [W/m.K]
1	Hlíny a jíly	1,5
2	Štěrky a písky	2
3	Stejnorodá skála	3,5

Zjednodušený výpočet, využívající tabelované hodnoty korekčního součinitele podle konstrukčního uspořádání a výškového vztahu mezi suterénní stěnou a okolní zeminou lze využít pouze pro výpočet u objektů nedostatečně izolovaných a nesplňujících podmínky pro nízkoenergetické a pasivní domy.

$U_{\text{equiv}}$  se stanoví v závislosti na ploše podlahové konstrukce, jejím součiniteli prostupu tepla a charakteristického parametru  $B'$  podle vztahu

$$B' = A / (0,5 \cdot P), \quad [m] \quad (36)$$

kde  $A$  je podlahová plocha budovy a  $P$  její obvod.

Pro podlahové desky na zemině lze  $U_{\text{equiv}}$  určit pomocí interpolačního vzorce podle tabulky 18. Charakteristický rozměr podlahy  $B'$  je užíván ve výpočtu pro zohlednění prostorového chování tepelného toku v zemině. V případě nekonečně dlouhé podlahy je  $B'$  rovno šířce podlahy, pro čtvercovou podlahu je  $B'$  rovno polovině délky jedné strany.

Tab. 18  $U_{\text{ekv}}$  pro podlahu na zemině v závislosti na součiniteli prostupu tepla podlahou [78]

B	$U_{\text{ekv}}$				
	U podlahy				
	bez izol.	2	1	0,5	0,25
[m]	[W/m <sup>2</sup> ·K]				
2	1,30	0,77	0,55	0,33	0,17
4	0,88	0,59	0,45	0,30	0,17
6	0,68	0,48	0,38	0,27	0,17
8	0,55	0,41	0,33	0,25	0,16
10	0,47	0,36	0,30	0,23	0,15
12	0,41	0,32	0,27	0,21	0,14
14	0,37	0,29	0,24	0,19	0,14
16	0,33	0,26	0,22	0,18	0,13
18	0,31	0,24	0,21	0,17	0,12
20	0,28	0,22	0,19	0,16	0,12

### 6.3.5 Prostup tepla přes nevytápěné prostory

Snížený měrný tepelný tok přes nevytápěné prostory do nebo z exteriéru je zohledněn prostřednictvím redukčního činitele pro nevytápěné prostory podobně jako u prostupu tepla zeminou:

$$H_U = A \cdot U \cdot b. \quad [W/K] \quad (37)$$

Redukční činitel pro nevytápěné prostory zohledňuje odlišnost teploty nevytápěného prostoru od teploty venkovního prostředí.



Výpočet měrného tepelného toku prostupem přes nevytápěné zóny je obdobný výpočtu měrného tepelného toku přímým prostupem, měrný tepelný tok přímým prostupem je však vynásoben odpovídající hodnotou redukčního činitele podle vztahu (32) (hodnota  $b$  snižuje měrný tepelný tok přímým prostupem a je tedy menší nebo rovna 1, v případě přímého prostupu tepla mezi interiérem a exteriérem je  $b = 1$ ). Hodnoty součinitele prostupu tepla  $U$  mohou být ve výpočtu opět korigovány přírážkami na nesystémové tepelné mosty a vazby.

Měrný tepelný tok přes nevytápěný prostor se určí jako

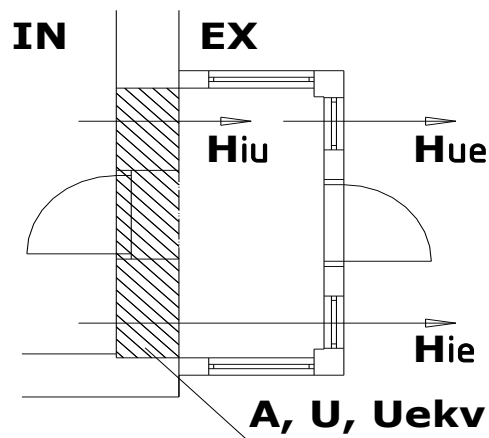
$$H_{ie} = (H_{iu} \cdot H_{ue}) / (H_{iu} + H_{ue}), \quad [\text{W/K}] \quad (38)$$

kde  $H_{iu}$  představuje měrný tepelný tok z vytápěného do nevytápěného prostoru a  $H_{ue}$  měrný tepelný tok z nevytápěného prostoru do okolí.

Ekvivalentní součinitel prostupu tepla stavební částí  $U_{ekv}$  se stanovuje podle vztahu

$$U_{ekv} = H_{ie} / A. \quad [\text{W/m}^2 \cdot \text{K}] \quad (39)$$

Schematický náčrtek prostupu způsobu značení měrných tepelných toků přes nevytápěný prostor je uveden na obrázku 4.



**Obr. 4** Schematický náčrtek prostupu tepla přes nevytápěné prostory [46]

Základní hodnoty redukčního činitele (pouze orientační a neověřené výpočtem) jsou uvedeny v tabulce 19.

**Tab. 19** Hodnoty teplotního korekčního činitele  $b_u$  [77]

Nevytápěný prostor	$b_u$
	[-]
<b>Prostor</b>	
- s jednou venkovní stěnou	0,4
- nejméně s 2 venkovními stěnami bez venkovních dveří	0,5
- nejméně s 2 venkovními stěnami s venkovními dveřmi (např. předsíně, haly, garáže)	0,6
- se 3 venkovními stěnami (např. venkovní schodiště)	0,8
<b>Podzemní podlaží</b>	
- bez oken/venkovních dveří	0,5
- s okny/venkovními dveřmi	0,8
<b>Podkroví</b>	
- vysoká výměna vzduchu v podkroví (krytina bez bednění)	1
- jiné tepelně neizolované střechy	0,9
- tepelně izolované střechy	0,7
Volně větrané komunikační prostory	1
Stropní konstrukce s podlahou nad vzduchovou mezerou	0,8

### 6.3.6 Měrný tepelný tok větráním

Měrný tepelný tok větráním  $H_V$  [W/K] se stanoví fyzikálních vlastností vzduchu jako součet infiltrace, přirozeného a nuceného větrání pro každou zónu budovy. Není-li instalována větrací soustava, předpokládá se, že přiváděný vzduch má tepelné vlastnosti venkovního vzduchu. Tepelná ztráta je úměrná rozdílu teplot vnitřní výpočtové teploty a venkovní teploty a stanoví se podle vztahu

$$H_V = (b \cdot f_{\text{vent}} \cdot \rho_a \cdot c_a \cdot V_V) + V_X, \quad [\text{W/K}] \quad (40)$$

kde je:

- $b$  redukční činitel pro nevytápěné prostory [-]. Činitel se určuje pouze v případech, pokud je zóna provětrávána vzduchem z přilehlé neklimatizované zóny,
- $f_{\text{vent}}$  opravný součinitel pro případ, že výměna vzduchu probíhá, jen pokud je budova užívána [-],
- $\rho_a$  hustota vzduchu [ $\text{kg/m}^3$ ],  
(pro vnitřní návrhovou teplotu  $20^\circ\text{C}$  je  $\rho_a$   $1,188 \text{ kg/m}^3$ ),
- $c_a$  měrná tepelná kapacita vzduchu [ $\text{Wh/kg}\cdot\text{K}$ ]  
(pro vnitřní návrhovou teplotu  $20^\circ\text{C}$  je  $c_a$   $0,2805 \text{ kg/m}^3$ )
- $V_V$  objemový tok vzduchu v klimatizovaném prostoru [ $\text{m}^3/\text{s}$ ],
- $V_X$  přídavný tok pláštěm budovy [ $\text{m}^3/\text{s}$ ],

Pro tepelnou kapacitu vzduchu ( $\rho_a \cdot c_a$ ) lze do výpočtů měrného toku větráním dosazovat hodnotu  $1200 \text{ J/m}^3\cdot\text{K}$ , což odpovídá  $0,333 \text{ Wh/kg}\cdot\text{K}$ . Množství přiváděného čerstvého vzduchu musí odpovídat hygienickým a dalším požadavkům v závislosti na účelu využívání místností a jejich obsazenosti. Pro rodinné domy lze  $V_V$  uvažovat v závislosti na počtu osob jako  $17,5 \text{ m}^3/\text{s/osoba}$ .

### 6.3.7 Vnitřní tepelné zisky

Vnitřní tepelné zisky  $Q_i$  obsahují veškeré teplo, které je produkováno ve vytápěném prostoru veškerými vnitřními zdroji, které nepatří k otopné soustavě. Jedná se zejména o:

- metabolické zisky od uživatelů,
- spotřebu energie spotřebičů a osvětlovacích zařízení.

Pro výpočet podle je vhodné použít průměrných měsíčních nebo sezónních hodnot, přičemž se vnitřní tepelné zisky vypočítají vztahem

$$Q_i = [\Phi_{ih} + (1 - b) \cdot \Phi_{iu}] \cdot t = \Phi_i \cdot A_{\text{gross}} \cdot t, \quad [\text{Wh}] \quad (41)$$

kde je:

- $\Phi_{ih}$  je průměrný výkon vnitřních tepelných zisků ve vytápěných prostorech [W],  
 $\Phi_{iu}$  průměrný výkon vnitřních tepelných zisků v nevytápěných prostorech [W],  
 $\Phi_i$  průměrný výkon vnitřních tepelných zisků [W],  
 $b$  redukční součinitel,  
 $A_{\text{gross}}$  celková podlahová plocha [m<sup>2</sup>],  
 $t$  časový úsek [h].

Pro stále užívané budovy, například bytové, lze stanovit hodnotu vnitřních tepelných zisků  $\Phi_i = 4$ . Jedná se o denní hodnotu při užití 24h/den. Pro budovy užívané jen přes den, například administrativní, je nutné stanovit přesné časové úseky užití a průměrný výkon vnitřních tepelných zisků vyjádřit podle nich.

### 6.3.8 Tepelné solární zisky

Solární zisky závisí na slunečním záření, které je obvykle v dané lokalitě k dispozici (respektive na shodných okrajových podmínkách, na celkové energii globálního slunečního záření). Dále z orientace sběrných ploch, trvalého stínění a charakteristik solární propustnosti a pohltivosti sběrných ploch. Za sběrné plochy se považuje zasklení, vnitřní stěny a podlahy zimních zahrad a stěn za transparentními kryty a transparentními izolacemi a neprůsvitné plochy vystavené slunečnímu záření.

Pro daný časový úsek se solární tepelný zisk pro jednotlivé průsvitné části obálky budovy vypočte podle vztahu

$$Q_s = A_s \cdot I_s, \quad [\text{W}] \quad (42)$$

Kde  $A_s$  [m<sup>2</sup>] je účinná sběrná plocha a  $I_s$  [W/m<sup>2</sup>] je celkové množství energie globálního slunečního záření na jednotku orientovaného povrchu převzaté z tabulky 16. Účinná sběrná plocha vychází ze skladebné plochy průsvitné konstrukce  $A$  [m<sup>2</sup>] podle vztahu

$$A_s = A \cdot F_s \cdot F_C \cdot F_F \cdot g, \quad [\text{m}^2] \quad (43)$$

kde je:

- $A$  celková plocha zaskleného prvku (plocha okna a dveří) [m<sup>2</sup>],  
 $F_s$  korekční činitel stínění [-],  
 $F_C$  korekční činitel clonění (prvky protisluneční ochrany) [-],  
 $F_F$  korekční činitel rámu [-]

- (podíl průsvitné plochy a celkové plochy zaskleného prvku, pokud nejsou uvedeny přesné údaje o ploše rámu, uvažuje 30%),  
 g celková propustnost slunečního záření [-].

Hodnota korekčního činitele stínění, hodnota korekčního činitele clonění a celkové propustnosti slunečního záření zasklení se uvažuje jen při trvalém stínění a trvalé sluneční ochraně. Pro výpočet je rozhodující výpočet plochy rámu průsvitné plochy a jeho poměr k celkové ploše (korekční součinitel rámu  $F_F$ ).

Prostup energie závisí také na druhu zasklení, podle kterého je odvozena celková propustnost slunečního záření  $g$  (podrobně v tabulce 20).

**Tab. 20** Hodnoty celkové propustnosti slunečního záření v závislosti na druhu zasklení [31]

Transparentní stavební díl - druh zasklení	$g$ [-]
Jednoduché zasklení	0,85
Čiré dvojsklo	0,75
Dvojsklo se selektivní vrstvou	0,67
Trojsklo	0,60
Trojsklo se dvěma selektivními vrstvami	0,50
Zasklení s ochranou proti slunečnímu záření	0,20 - 0,50
Dvojité okno	0,75

### 6.3.9 Stupeň využití tepelných zisků

Stupeň využití tepelných zisků  $\eta$  je redukčním činitelem tepelných zisků. Zavádí se do ustálené energetické bilance (22) tak, aby mohla být zohledněna přídavná tepelná ztráta, která může nastat v případech, kdy tepelný zisk převyší vypočtenou tepelnou ztrátu. Vypočítá se podle vztahu

$$\eta = (1 - \gamma^a) / (1 - \gamma^{a+1}), \quad [-] \quad (44)$$

kde je:

$\gamma$  poměr celkových tepelných zisků  $Q_g$  a celkových tepelných ztrát  $Q_L$  [MJ],

$a$  číselný parametr závislý na časové konstantě  $\tau_H$  [-]:

$$a = a_0 + (\tau_H / \tau_{0,H}) \quad [-] \quad (45)$$

kde je:

$a_0$  referenční číselný parametr [-],

$\tau_H$  časová konstanta budovy nebo zóny budov [hod],

$\tau_{0,H}$  referenční časová konstanta [hod].

Referenční číselný parametr a referenční časová konstanta lze určit na základě způsobu vytápění. U budov s nepřerušovaným vytápěním (obytné budovy, hotely, a podobně je  $a_0 = 1$ ,  $\tau_{0,H} = 15$ . U ostatních budov je  $a_0 = 0,8$ ,  $\tau_{0,H} = 70$ .

Časovou konstantu budovy charakterizující vnitřní tepelnou setrvačnost lze vypočítat pomocí vztahu

$$\tau_H = C / H, \quad [\text{hod}] \quad (46)$$

Kde  $C$  [Wh/K] představuje účinnou vnitřní tepelnou kapacitu budovy zjednodušeně určenou:

- $C = 50 \cdot V_C$  pro budovy těžké (budovy s hmotnými vnitřními díly),
- $C = 15 \cdot V_C$  pro budovy lehké (dřevostavby bez hmotných vnitřních dílců),

kde  $V_C$  je obestavěný objem vytápěných zón [ $\text{m}^3$ ]

Poznámka: Vztahy (18) až (46) použité v této kapitole vychází z ČSN EN ISO [49, 50, 74-81], tepelné chování budov a tepelné chování oken, dveří a okenic. Využity jsou také učební texty ČVUT Z. Svobody „Stavebně energetické vlastnosti budov“, „Okrajové podmínky pro tepelně-technické výpočty“ a „Součinitel prostupu tepla“.

## 7 TECHNOLOGICKÉ POSTUPY PŘI PROVÁDĚNÍ KONSTRUKCÍ ZLEPŠUJÍCÍCH TEPELNĚ-TECHNICKÉ VLASTNOSTÍ OBÁLKY BUDOV

Hlavním aspektem při modelování projektových variant zlepšujících tepelně-technické vlastnosti objektu je technické a ekonomické vyvážení všech navrhovaných konstrukcí. Znalost dílčích částí skladby a technologií stavebních konstrukcí prováděných na obálce budovy je jedním z kritérií úspěšnosti projektu.

Volba technologických postupů při provádění konstrukcí zlepšujících tepelně-technické vlastnosti objektů je vstupním předpokladem k započetí technické části předinvestiční fáze projektu. Volba technologických postupů vychází ze znalosti charakteristiky objektu a jeho vlastností, z normativních požadavků a z požadavků investora. Volbu technologických postupů lze rozdělit do následujících kroků:

- rozčlenění obálky budovy podle konstrukce,
- určení stávajících tepelně-technických vlastností budovy,
- přiřazení technologických postupů.

Každé části obálky je podle jejího stávajícího konstrukčního charakteru nutné přiřadit nejvhodnější z použitelných technologických postupů zajišťujících zlepšení tepelně-technických vlastností na úroveň požadovanou platnými legislativními předpisy a technickými normami podle kapitoly 3.

Následné podrobné navazující členění vychází z rozdílnosti používaných technologií a materiálů. Reflektuje pokrytí veškerých technologických možností aplikovatelných v návaznosti na určený objekt. Toto rozdělení je nutno vytvořit tak, aby byl umožněn výběr technologie pro každou dílčí část obálky budovy zvlášť. Podrobné členění nejpoužívanějších technologií a na ně navazujících materiálů je zpracováno v tabulce 21.

Při samotném investičním rozhodování a modelování jednotlivých investičních variant je nutné určit ty části obálky budovy, jejichž tepelně-technické vlastnosti je nutné upravit, do jaké míry je toto možné a za jakých technických předpokladů. Aby byla plánovaná investice efektivní, je obecně nutné dodržet technickou a technologickou vyváženost na všech upravovaných částech obálky budovy.

Výběr technologií je omezen zejména charakterem objektu, jeho technickým stavem a stávajícími tepelně-technickými vlastnostmi. Zvolená řešení musí být co nejšetrnější, při dosažení pokud možno nejlepších výsledků.

Důležitou součástí úvah při volbě technologií jsou také náklady spojené s konstrukcemi, které přímo nesouvisí s konstrukcemi zlepšujícími vlastnosti tepelně-technické. Jedná se zejména o bourací práce, dodatečné izolace proti vlhkosti a vodě, úprava fasád a prvků na fasádách, ovlivnění napojování jednotlivých konstrukcí (napojení krovu na obvodové zdivo).

Při volbě technologií je nutné přijímat taková řešení, která s sebou přinesou co možná nejmenší zásahy do konstrukcí stávajících za předpokladu splnění nejen tepelně-technických požadavků.

Důležité je také posouzení změn ve vnitřním prostředí. Starší objekty, jejichž konstrukce jsou zpravidla vysoce prodyšné (aerace okenních otvorů a další netěsnosti) se rázem změni v téměř vzduchotěsné. Z tohoto hlediska je nutné zajistit přísun dostatečného množství čerstvému vzduchu a zabránit tak kondenzaci par na površích vnitřních konstrukcí.

**Tab. 21** Technologické postupy při zlepšování tepelně-technických vlastností obálek budov [autor]

Část konstrukce obálky budovy	Rozlišení	Tepelná izolace dle technologie	Materiál tepelné izolace	Příklad specifikace tepelné izolace
Střechy	Ploché	Vložená Foukaná SDK podhled	Polystyrén Celuza Minerální vata	EPS 70S
		Kombinace jednotlivých řešení		
	Šikmé	Vložená SDK podhled	Polystyrén Minerální vata	EPS 50Z
		Kombinace jednotlivých řešení		
Stropy		Vložená Foukaná SDK podhled	Polystyrén Celuza Minerální vata	EPS 70S
		Kombinace jednotlivých řešení		
Stěny		KZS	Polystyrén	EPS 70F EPS 100F Desky na bázi PS XPS
			Minerální vata	Vlákná kolmo Vlákná vodorovně
		PZS	Polystyrén	EPS 70F EPS 100F Desky na bázi PS XPS
			Minerální vata	Vlákná kolmo Vlákná vodorovně
Podlahy			Polystyrén Minerální vata Podkladní vrstva	EPS 100S Pěnové sklo
Výplně otvorů	Okna		Dřevěná Plastová Hliníková Kombinace mat.	
			Renovace	
	Dveře		Dřevěná Plastová Hliníková Kombinace mat.	
			Renovace	

## 7.1 Střešní konstrukce

### 7.1.1 Ploché střechy

Rekonstrukce a opravy plochých střešů jsou v mnoha případech technicky velmi náročnou záležitostí. Výběr vhodné technologie je ovlivněn provedením a stavem stávajícího střešního pláště a uvažovaným využitím objektu. Jestliže stávající střešní plášť nevyhovuje požadavkům technické normy ČSN 73 0540 (podle tabulky 6), je bezpodmínečně nutné přistoupit k jeho úpravě, spočívající v dodatečném přidání tepelné izolace a nové hydroizolační vrstvy.

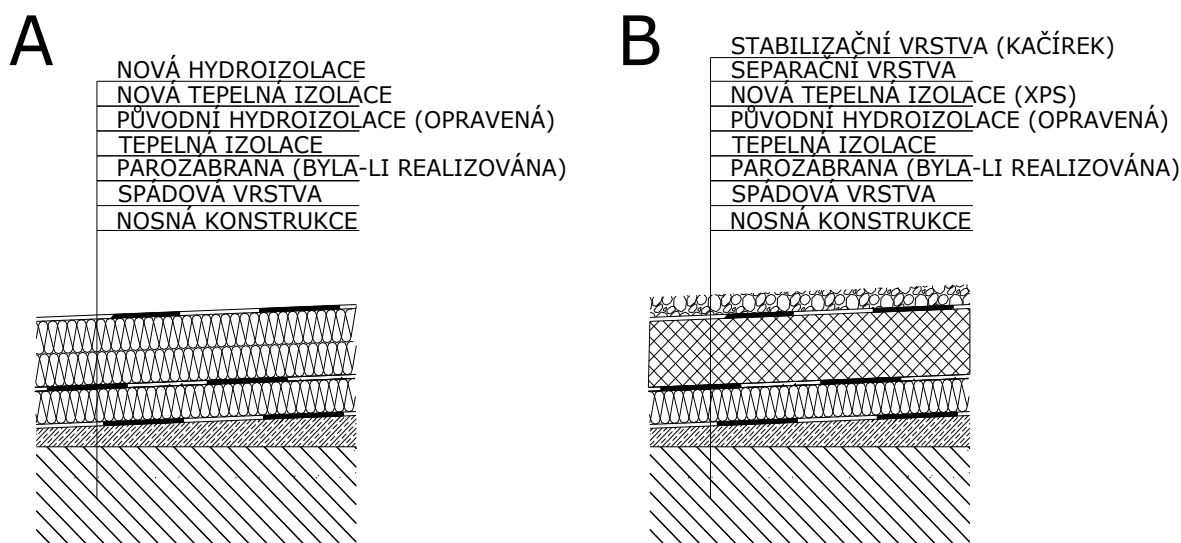
## Jednoplášťové ploché střechy

Při rekonstrukcích jednoplášťových střech se uplatňují dvě varianty při současném ponechání původního souvrství střešního pláště: PLUS střecha nebo DUO střecha. Výběr vhodné varianty ovlivňuje zejména únosné přetížení nosné konstrukce, výška atik, sklon střechy a způsob jejího odvodnění.

Výběr vhodného izolačního materiálu je odvislý nejen podle jeho izolačních schopností, ale i na hmotnost a často i na rovinnosti podkladu. V případech nerovného povrchu se například uplatní tepelné izolace z minerální vlny lépe, než tuhé desky z pěnového polystyrenu.

V některých případech se může uplatnit i zvětšení sklonu povrchu střechy použitím tepelně-izolačních spádových klínů.

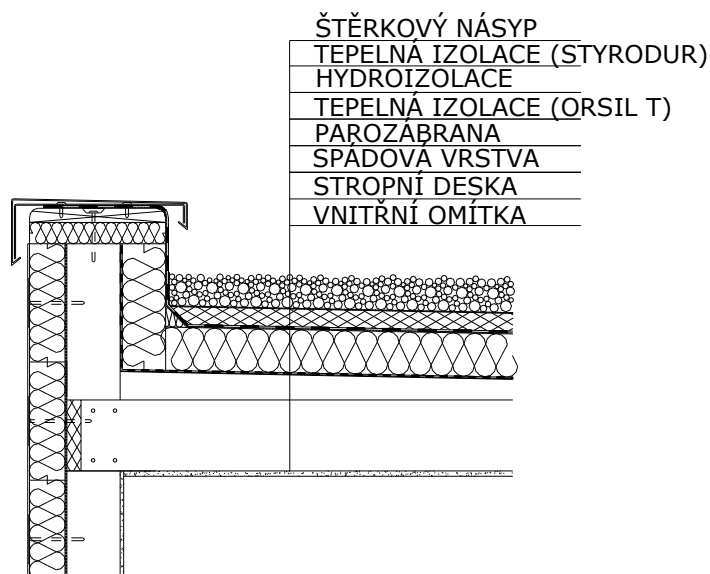
Výběr vhodné povlakové izolace do značné míry ovlivňuje možnost nebo nemožnost jejího mechanického kotvení do stávajícího souvrství, případně možnost přetížení. Pokud do stávajícího souvrství nelze nové vrstvy mechanicky kotvit, je nutné na opravenou stávající vodotěsnou izolaci nalepit tepelně-izolační dílce (zpravidla kaširované dílce EPS a natavený vrchní asfaltový pás) a vytvořit tzv. PLUS střechu s obecnou skladbou dle obrázku 5.



Obr. 5 Obecná skladba PLUS střechy a DUO střechy [6, 11, 15]

V případech, kdy je možné využít extrudovaného polystyrenu (XPS), lze vytvořit tzv. DUO střechu s obecnou skladbou podle obrázku 5. Jedná se o dodatečnou tepelnou izolaci přetíženou například vrstvou kačírku nebo betonové dlažby. Nezbytnou podmínkou pro vytvoření DUO střechy je minimální sklon ke všem odvodňovacím prvkům minimálně 1,5% a dostatečná únosnost nosných prvků. Omezením použití DUO střechy může být i malá výška atiky a způsob odvodnění pomocí podokapních žlabů z důvodu možného sesuvu izolační a přitěžovací vrstvy.





**Obr. 6** Detail skladby PLUS střechy u atiky [15, 57]

### Dvouplášťové ploché střechy

Rekonstrukce stávajících dvouplášťových střech je technicky i ekonomicky náročná, oprava jednotlivých částí je možná na základě podrobného zjištění stavu a provedení nezbytných tepelně-technických výpočtů.

Oprava horního pláště se provádí na základě zjištění, že na jeho spodním povrchu dochází ke kondenzaci vodní páry a je proto nezbytné zvýšit jeho tepelný odpor a tím i teplotu. Dodatečná izolace horního pláště však nemá přímou návaznost na snížení součinitele prostupu tepla dolního pláště a nevznikají díky ní žádné úspory při vytápění.

Dodatečnou tepelnou izolaci dolního pláště je možné realizovat pouze při rozebrání horního pláště. Stejně jako úpravy vnitřního povrchu obvodových stěn. Tato varianta je jednoznačně technicky, provozně i ekonomicky nejnáročnější.

Další z možností, jak dosáhnou zlepšení tepelně-technických vlastností dvouplášťové větrané ploché střechy je její přeměna na dvouplášťovou nevětranou střechu izolací horního pláště podobně jako u střech jednoplášťových včetně zaslepení větracích otvorů (například dodatečnou izolací obvodových stěn). U této varianty je nezbytné zamezit kondenzaci vodní páry vně větrané mezery, proto je nutné uvažovat novou tepelně-izolační vrstvu s tepelným odporem minimálně ve výši 1,5 násobku tepelného odporu původní izolační vrstvy. Což může mít za následek neúnosné zvětšení tloušťky horního pláště.

## Tepelně-izolované podhledy

Dodatečnou tepelnou izolaci na spodním povrchu dolního pláště – v interiéru je možné provádět pomocí podhledů s dřevěnou nebo ocelovou nosnou konstrukcí. Vždy je třeba dbát na kvalitní a spolehlivé provedení parotěsné vrstvy.

Z technického hlediska však nejde o ideální řešení z důvodu možné kondenzace vlhkosti a zatékání kondenzátu. Provedení a snížení podhledů je omezeno i výslednou světlou výškou místností.

Další možností při zlepšování tepelně-technických vlastností je kombinace jednotlivých možností s tepelně-izolovanými podhledy s ohledem na kombinaci přínosů a nevýhod zvolených metod.

## Srovnání

Srovnání použitelných technologických postupů není vzhledem k rozdílnosti stávajících konstrukcí dost dobře možné. U plochých střech jednoplášťových se použití vybrané technologie odráží od stávajících podmínek (sklon střešních rovin, způsob odvodnění, výška atiky).

**Tab. 22** Srovnání variant zlepšujících tepelně-technické vlastnosti plochých střech [23, autor]

Investiční varianta	
Výhody	Nevýhody
<b>Jednoplášťová střecha PLUS</b>	
+ použití u nerovných podkladů	- nutnost mechanického kotvení
+ použití u nízkého sklonu střešních rovin	- nutnost přetížení při okrajích
+ minimální přetížení nosných prvků	- možnost vlhnutí tepelné izolace
<b>Jednoplášťová střecha DUO</b>	
+ jednoduchá montáž	- vysoké přetížení nosných prvků
+ absence mechanického kotvení	- použití pouze u rovných podkladů
+ tepelná izolace odolná proti kondenzátu	- minimální požadovaný sklon 1,5%
	- riziko při odvodnění k podokapním žlabům
<b>Dvouplášťová střecha - izolace dolního pláště</b>	
+ zachování větrané vzduchové mezery	- nutnost rozebrání horního pláště
+ možnost kontroly funkčnosti souvrství	- izolace omezena velikostí vzduchové mezery
+ v tepelné izolaci nedochází ke kondenzaci	- vznikající provozní omezení
<b>Dvouplášťová střecha - izolace horního pláště</b>	
+ zachování horního pláště	- možnost kondenzace vodních par v kci
	- absence větrané vzduchové mezery
Dále výhody i nevýhody obdobné jako u jednoplášťových střech PLUS A DUO	
<b>Tepelně-izolované podhledy</b>	
+ poměrně jednoduché řešení	- možnost kondenzace vodních par v kci
+ nenarušení střešního pláště	- spolehlivé provedení parotěsné vrstvy
	- snížení světlé výšky místnosti

U střech dvouplášťových je tomu obdobně, lze volit mezi dodatečným izolováním dolního pláště za cenu rozebrání celého horního pláště nebo izolovat horní plášť při současném zaslepení větracích otvorů a riziku kondenzace vně konstrukce.

Specifickou možností je tepelná izolace podhledu vně objektu, tato varianta je z hlediska možného porušení konstrukcí v důsledku kondenzování vodních par nejrizikovější. Srovnání jednotlivých variant (zejména po technické stránce) je zpracováno v tabulce 22.

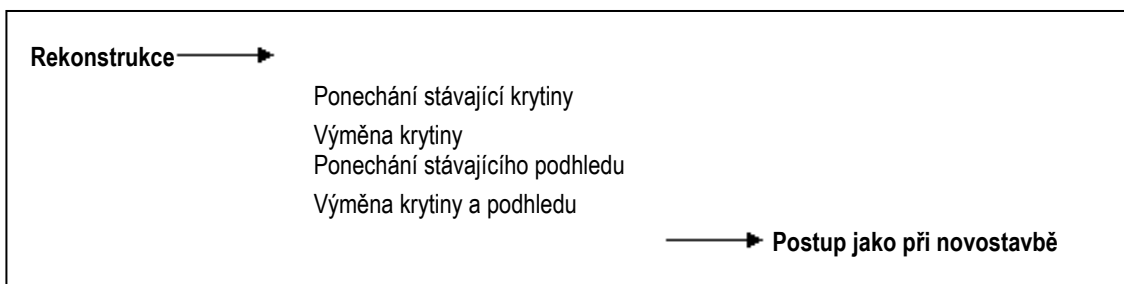
### 7.1.2 Šikmé střechy

Šikmá střecha je stavební konstrukcí nad chráněným (vnitřním) prostředím, vystavená přímému působení atmosférických vlivů. Sestává z nosné střešní konstrukce, jednoho nebo několika střešních plášťů oddělených vzduchovými vrstvami a doplňkových konstrukcí a prvků.

V přípravné fázi rekonstrukce šikmé střechy je nutné zjistit, zda dřevo krovových prvků není napadeno škůdci a případně jej z části vyměnit a ošetřit. Krokve starších krovů mají často malý rozestup, ale i malý průřez, proto je před započítím prací nezbytné ověřit statickou a nosnou funkci krovu. Pokud je z těchto důvodů nutné zesílení krokví, lze je zohlednit i z pohledu tepelně-technického: potřebná tloušťka izolační vrstvy většinou překračuje výšku stávajících krokví.

Rozhodující pro volbu umístění dodatečné izolace jsou výška krokví a jejich stav, stav krytiny včetně podstřeší a stav obkladu krokví. Podle toho, která z těchto částí vyžaduje obnovu, se izolační materiál vkládá zevnitř nebo shora, přičemž izolační vrstvy mohou být situovány nad kroklemi, mezi kroklemi, podkroklemi a/nebo v kombinaci.

Zvláštním případem je vyplnění mezery mezi kroklemi (ohraňené krytinou a vnitřním obkladem) foukanou izolací. Toto řešení je přípustné pouze v případech, kdy bilanční výpočet prokáže, že se v takto upravené konstrukci nebude v celoročním úhrnu hromadit kondenzát.



Obr. 7 Možnosti rekonstrukce šikmé střechy

### Izolace mezi kroklemi

#### Izolace mezi kroklemi montovaná z vnitřní strany

V případě, kdy mají krokve dostatečnou výšku a krytina včetně podstřešní hydroizolace zůstává zachována, se dodatečná izolace provádí spodem. V těchto případech je nutné zajistit dodržení vzduchové mezery mezi vkládanou izolací a původní pojistnou hydroizolací z důvodu zajištění difuze par.

## Izolace mezi krokvemi montovaná z vnější strany

V případě, je-li obložení podkroví (podhled) v pořádku a naopak krytinu či (absentující) podstřešní hydroizolaci je třeba obnovit, uplatní se dodatečná montáž izolace z vnější strany. V rámci úprav je poté vytvořeno provětrávané podstřeší a pro izolaci se dá využít celá výška krokví.



Obr. 8 Obecná skladba izolace šikmé střechy mezi krokvemi [autor]

## Nafoukání izolační hmoty do stávajícího dutého prostoru

V případě, kdy není porušená krytina ani obložení podhledu, avšak chybí podstřeší, je možné izolační hmotou vyplnit dutý prostor mezi krokvemi. Toto provedení však izolační hmotu dostatečně nechrání od vlhkosti pronikající krytinou a může tak docházet k vlhnutí izolantu a tudíž ke ztrátě jeho izolačních schopností.

Pro foukanou izolaci se používá celulózových nebo bavlněných vloček, které se do dutých prostor odborně aplikují nafoukáním tak, že nevzniknou žádné skuliny ani spáry. Vhodným materiálem jsou také všechny měkké izolační rohože (bavlna, ovčí rouno). Izolační desky se z důvodu chybějící podstřešní izolace nepoužívají. Skladba s doplněnou izolací je patrná z obrázku 8.

V případě použití izolačních vloček je třeba dokonale utěsnit vyplňované dutiny tak, aby nedocházelo k úniku izolantu. Zvýšenou pozornost je třeba věnovat částem navazujícím na ostatní konstrukce, zejména na průběžné napojení na izolaci obvodových stěn.

## Izolace nad krokvemi

O dodatečné tepelné izolaci nad krokvemi lze uvažovat v případech, kdy [53]:

- je nutné rekonstruovat střešní krytinu a/nebo podstřeší,
- nosná konstrukce je v pořádku a snese dodatečné zatížení,
- zvýšení střešního souvrství je vzhledem k sousedním objektům přípustné,
- omezená výška podkroví neumožňuje izolaci pod krokvemi,

- estetická hodnota krovu (podkroví) má zůstat zachována.

Izolace nad krokviemi, vzhledem k dosažení požadovaným izolačním vlastnostem, se často provádí v kombinaci s izolací mezi krokviemi. Při rekonstrukci je třeba se zvýšenou pozorností dbát na kvalitní provedení parozábrany umístěné nad krokviemi, nad nově provedené bednění ze dřeva nebo na bázi dřeva.



**Obr. 9** Skladba nadkrokevního systému ISOVER [57]

Provádět izolaci nad krokviemi lze podle obecného schématu skladeb nebo s využitím systémových řešení výrobců izolačních materiálů (ROCKWOOL, ISOVER). Vhodným materiálem pro izolace v prostoru nad krokviemi jsou desky z minerálních vláken s vysokou pevností v tlaku přímo kotvené k původním krokvim. Systémové kotvení je třeba podrobit statickému výpočtu.

### Izolace pod krokviemi

Vložení izolačních desek pod krokve se využívá v případech, kdy je krytina včetně podstřešních vrstev v pořádku a krokve nemají dostatečnou výšku. Při malé výšce krokví a dostatečné světlé výšce podkroví je nejlépe izolaci mezi krokve vůbec nekládat a zřídit pouze jednu vrstvu pod krokviemi. Pokud je výška krokví malá a zároveň hrozí nadměrné zmenšení prostoru podkroví, lze využít kombinaci mezikrokevní a podkrokevní tepelné izolace.

Při zachování podstřeší je nutné zachovat provětrávanou vzduchovou mezeru v úrovni krokví, přičemž dodatečná instalace podstřešní pojistné hydroizolace mezi krokve se nedoporučuje z hlediska možného skapávání vlhkosti na tepelnou izolaci. U krokví nízkých je možné vytvořit podstřeší až pod nimi.

### Kombinace jednotlivých řešení

Z hlediska dosažení požadovaných či doporučených hodnot součinitele prostupu tepla nových konstrukcí je v některých případech (nedostatečná výška krokví, omezený prostor krovu) nutné přikročit ke kombinaci uvedených řešení. Kombinace jednotlivých řešení je obecně možná při dodržení technických požadavků na jednotlivé použité technologické

varianty a je omezena stavem jednotlivých stávajících konstrukčních prvků krovu a střešního pláště.



Obr. 10 Obecná skladba podkroevní tepelné izolace [57, 58]

## Srovnání

Způsob tepelného izolování šikmých střeš (podkroví) je závislý zejména na stavu konstrukce krovu, krytiny a podstřešních vrstev. Dalším určujícím faktorem při volbě technologie je dodržení tepelně-technických požadavků při současném dodržení stavebně-technických požadavků.

Při volbě technologického provedení izolace je nutné brát v potaz případné náklady na odstranění a/nebo doplnění některých střešních vrstev v závislosti na stupni jejich poškození. Volba technologie je zpravidla závislá právě na rozhodnutí a určení co možná nejšetrnějšího postupu.

Tab. 23 Srovnání variant zlepšujících tepelně-technické vlastnosti plochých střeš [23, autor]

Investiční varianta	
Výhody	Nevýhody
<b>Izolace mezi krokvi</b>	
+ prostorová úspora	- možná nedostatečná výška krokví
+ nezávislost na povětrnostních podmínkách	- požadovaná souvislá vrstva izolace
+ možnost provedení svépomocí	- požadovaná větraná mezera mezi podstřeším
+ krytina a podstřeší zůstávají zachovány	- tepelné mosty v místech krokví
+ možnost postupovat z ex nebo in strany	- předpoklad funkčního podstřeší
<b>Foukaná izolace do dutého prostoru</b>	
+ vyplnění celého prostoru mezi krokvi	- vyloučení hromadění kondenzátu
<b>Izolace nad krokvi</b>	
+ eliminace tepelných mostů při napojování	- změna napojení na střešní okna
+ dostatečná vrstva tepelné izolace	- závislost prací na povětrnostních podmínkách
+ výška podkroví zachována	- nutnost rozebrání krytiny a podstřeší
+ estetické hledisko	
+ nabídka systémových řešení	
+ zajištěna kvalita izolačního souvrství	
<b>Izolace pod krokvi</b>	
+ krytina a podstřeší zachovány	- zmenšení prostoru v podkroví

+ minimální tepelné mosty při napojování	- předpoklad funkčního podstřeší
+ nezávislost na povětrnostních podmínkách	

## 7.2 Stropní konstrukce pod nevytápěným podkrovím

Dodatečná aplikace tepelné izolace stropních konstrukcí se uplatňuje v případech, kdy využívání podkrovního prostoru pro bydlení není z nějakého důvodu plánováno (nevyhovující světlá výška, celková prostorová nedostatečnost).

I přes to, že podkroví není vytápěno, lze ve specifických případech uvažovat i jeho tepelné izolaci namísto izolace stropní konstrukce. Toto řešení se uplatní v případech, kdy je celková plocha podstřeší menší, než plocha částí budovy, které ohraničují vytápěné prostory (například schodišťové stěny, štítové stěny, atiky a podobně).

Stropy pod nevytápěnými podstřešními prostory musí být tepelně izolovány stejně kvalitně jako v případě izolace podstřeší: ve větraných podkrovních prostorách nezřídka dochází k poklesu teploty pod bod mrazu. Stropní konstrukce musí dále splňovat i nároky na vzduchotěsnost. Zatímco betonové stropy nebo stropy z dílců jsou vzduchotěsné sami o sobě, vzduchotěsnost trámových stropů je zajišťována pouze stávající vnitřní omítkou. Dostatečně jsou také vzduchotěsné sádkartonové podhledy, u těchto je však třeba prověřit vzduchotěsnost mezi jednotlivými deskami.

Dodatečnou izolaci je možné umístit buď:

- položením na stávající stropní konstrukci,
- u trámových stropů vložením nebo nafoukáním mezi trámy,
- připevněním pod stropní konstrukci.

### 7.2.1 Izolace stropu shora

V případech, kdy nedochází k pravidelnému využívání půdního prostoru a to ani pro skladování, lze u betonových i trámových stropů tepelnou izolaci dodatečně položit na horní stranu.

Izolační desky lze pokládat bez dalšího krytí nebo podle potřeby zakrýt dřevěnými prkny kladenými na sraz. Jako izolaci je vhodné použít paropropustné rohože nebo desky z minerální vaty nebo kamenné vlny, materiály s vyšším difúzním odporem (polystyren) vhodné nejsou. Zvolený izolační materiál je třeba klást bez mezer, aby se zabránilo tepelným mostům.

Skladba tepelné izolace se nesmí shora uzavírat jakoukoli folií, která by působila jako parozábrana a docházelo by tak ke kondenzaci v izolaci – vodním parám z interiéru, které prochází stropem, je nutno umožnit volný odchod.

Tepelná izolace může být kryta pojistnou izolací (paropropustnou vrstvou) ochraňující izolaci před náhodným zatečením srážkové vody střešním pláštěm. Obecně je však vhodnější aplikovat pojistnou izolaci pod střešní krytinu.

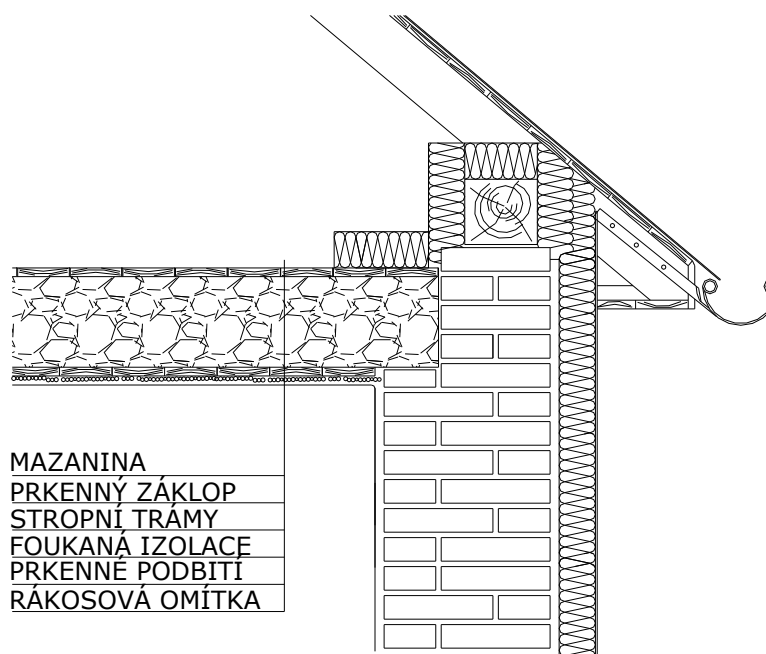
Při navyšování skladby stropu, v případech schodišťových výstupů, je nutné přizpůsobit například stávající výšky dveřních otvorů. Stěny prostupující stropní konstrukcí tvořící tepelné mosty je třeba obložit tepelnou izolací po stranách v minimální výšce 500 mm. Jestliže se strop napojuje na vnější zeď ve výšce okapu, měla by tepelná izolace stropu plynule přecházet v izolaci obvodových stěn.

## 7.2.2 Izolace mezi dřevěnými trámy

Poměrně jednoduchou a prostorově úspornou technologickou metodou vhodnou pro trémové stropní konstrukce je vkládání izolace do vzduchové dutiny. Vhodnými izolačními materiály jsou sytké hmoty, rohože, či pásy z minerální nebo kamenné vlny. Nevhodné jsou pevné desky, které nelze mezi trámy natěsnat.

Při neporušenosti horního i spodního povrchu je možné do dutin tepelnou izolaci (celulókové nebo bavlněné vločky) nafoukat předem připravenými otvory (obrázek 11). Jestliže dochází k renovaci pochozích vrstev, je nejjednodušší prostor mezi trámy vyplnit sytkým izolačním materiálem.

Při aplikaci izolace musí být zaručena vzduchotěsnost stávajícího pláště stropu. Konstrukci je nutné prověřit i z hlediska difuze par. Funkci parozábrany může částečně plnit vzduchotěsná vrstva (omítka), nad vlhkými prostory může být parotěsná vrstva nutná.



Obr. 11 Trémový strop s nafoukanou tepelnou izolací [autor, 21, 41]

Výška tepelně-izolační vrstvy je závislá na výšce stropních trámů, proto je třeba před zahájením prací provést kontrolní měření výšky vyplňované dutiny a výpočtem prověřit dostatečnou tepelně-izolační schopnost.

Stropní konstrukci, zejména nosnost podhledu a jeho připevnění je třeba posoudit v případech násypů s vyšší objemovou hmotností.

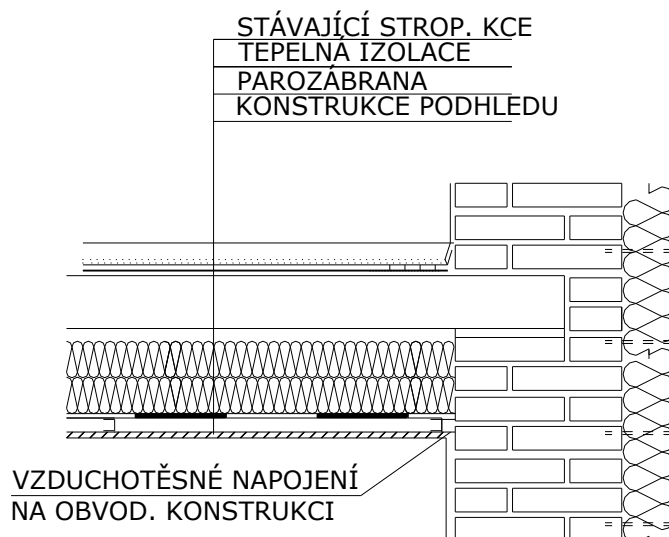
## 7.2.3 Izolace stropu zespodu

Dodatečnou tepelnou izolaci stropu aplikovanou zespodu lze použít v případech, kdy výsledná světlá výška místností nebude nižší, než světlá výška pro daný typ požadovaná. U stropních konstrukcí betonových lze lepit nebo připevňovat izolační desky přímo na očištěný povrch za podmínky provedení a zhodnocení bilanční analýzy difuze par. Izolační desky lze použít včetně povrchové úpravy nebo tuto aplikovat na podhled.



Stropní konstrukce, u kterých není zaručena dostatečná rovinnost spodního povrchu je možné vytvořit podhledovou konstrukci a tepelnou izolací vyplnit vzniklou mezeru. Provádí-li se tepelná izolace do podhledu je nezbytné při jejím spodním líci zřídit parozábranu nepropustně lepenou ve spojkách a případných prostupech a přetaženou a upevněnou k obvodové konstrukci.

Tepelné mosty spojené s izolováním stropu zespodu vznikají v místech obvodových stěn pronikajících nad izolaci.



Obr. 12 Obecná skladba podhledu stropu [autor, 21, 29, 41]

## Srovnání

Volba technologie dodatečné izolace stropních konstrukcí je podobně jako při izolování šikmých střech závislá na souvrství stropu a kvalitě či porušení jednotlivých nebo některých vrstev. Významnou roli při volbě technologie sehrává také způsob využití podkroví a světlá výška izolovaných místností. Omezujícím faktorem je také způsob řešení případných tepelných mostů a zajištění přijatelné difuze vodních par.

Technické řešení by mělo být pokud možno šetrné ke stávajícím konstrukcím a brát zřetel na jejich aktuální stav a další způsob využití. Vzhledem k požadavkům tepelné ochrany budov by mělo být zvoleno takové řešení, či kombinace řešení, které zajistí veškeré sledované požadavky.

**Tab. 24** Srovnání variant zlepšujících tepelně-technické vlastnosti stropů pod nevytápěnými prostory [23, autor]

Investiční varianta	
Výhody	Nevýhody
<b>Izolace stropu shora</b>	
+ nedochází k narušení obytného prostoru	- omezení využití podkroví
+ světlá výška vytápěných místností se nemění	- zvýšení nákladů při položení potěru
+ izolace leží na příznivé straně	- schodišťové výstupy a výšky dveří se změní
+ příčky pod stropem netvoří tepelné mosty	
+ nízké pořizovací náklady	
+ vzduchotěsnou vrstvu lze položit na trámy	
<b>Izolace mezi (dřevěnými) trámy</b>	
+ světlá výška vytápěných místností se nemění	- obtížná instalace vzduchotěsné vrstvy
+ zlepšení protihlukové ochrany	- případná nedostatečná výška izolace
+ nejsou nutné dodatečné konstrukce	- tepelné mosty v ploše trámů
+ využití podkroví není omezeno	
<b>Izolace stropu zespodu</b>	
+ zlepšení protihlukové ochrany	- nevhodná pro dřevěné stropní konstrukce
+ možnost vedení instalací	- riziko kondenzování vlhkosti
+ využití podkroví není omezeno	- zmenšení světlé výšky vytápěných místností
	- nutné dodatečné konstrukce (podhled)
	- tepelné mosty v plochách příček
	- izolace leží na nepříznivé straně

### 7.3 Obvodové stěny – neprůhledné konstrukce

Podstatnou roli při volbě a provádění izolačního systému vnějších stěn hraje finální vzhled. Izolační systém je třeba volit s ohledem na přání stavebníka za podmínky splnění stávajících předpisů. Tímto postupem je možné charakter domu buď zachovat nebo zcela změnit.

Tepelně-izolační práce na fasádě je z hlediska ekonomického a praktického vhodné provádět ve spojitosti s nutnými údržbovými či sanačními pracemi a s případnou obnovou výplní dveřních a okenních konstrukcí.

Při sanačních pracech je bezpodmínečně nutné respektovat nejen stavebně-technické předpisy související se statikou, zvukovou, tepelnou a požární ochranou, ale také technický stav pláště budovy.

Technologický postup a použité materiály izolačního souvrství lze vybírat na základě přehledu certifikací a prohlášení o shodě.

#### 7.3.1 Zateplovací fasádní systémy

Zateplovací fasádní systémy lze podle charakteru a bez ohledu na tepelně-izolační materiál obecně rozdělit na:

- kontaktní,
- provětrávané,
- dodatečné předstěny,
- vnitřní izolace [22].

Označení **kontaktní zateplovací systém** (KZS) platí pro všechny systémy, při jejichž provádění se na obvodové zdivo nalepí a hmoždinkami mechanicky přikotví izolační desky.

KZS se používají v případech, kdy má být zachován nebo vytvořen charakter omítané fasády a podkladní vrstvy vykazují zanedbatelné nerovnosti a trhliny. Při splnění těchto podmínek je možné použít jeden z certifikovaných vnějších tepelně-izolačních kompozitních systémů (External Thermal Insulation Composite Systems.) ETICS, které jsou definovány jako stavební výrobky dodávané jako ucelená sestava složek, skládajících se z

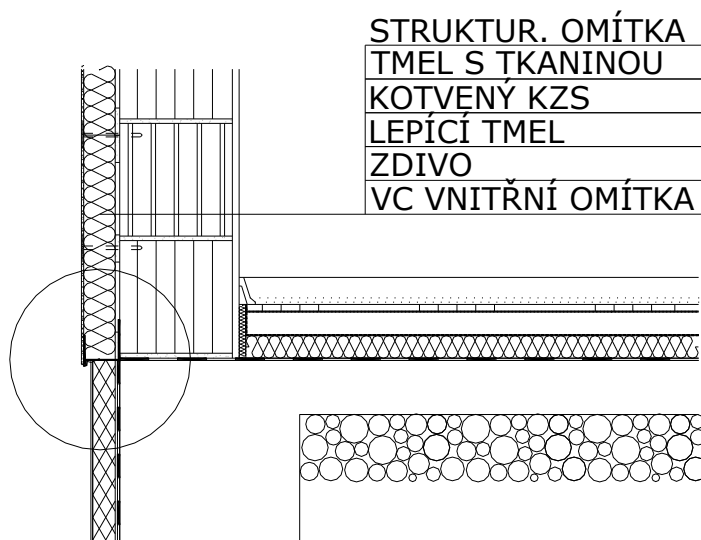
- lepicí hmoty,
- tepelně izolačních materiálů,
- mechanických kotvicích prvků,
- základní vrstvy z jedné nebo více vrstev, přičemž nejméně jedna vrstva obsahuje výztuž,
- penetrační vrstvy,
- konečné povrchové úpravy [68].

Vhodnými podklady pro KZS jsou betonové povrchy panelů, pevné a soudržné omítky, pórabeton. Přípustná tolerance nerovnosti je  $\pm 10$  mm na délku jednoho metru. Podklad musí být suchý, čistý, nosný, bez mastnot a ošetřený penetračním nátěrem.

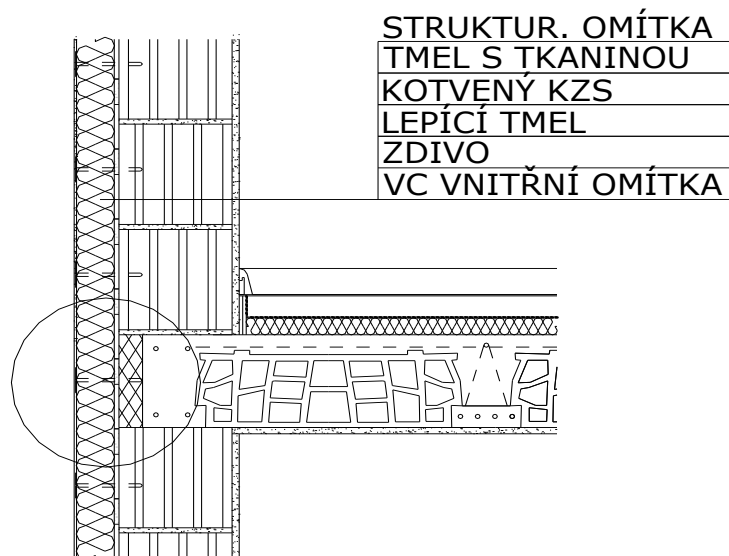
Lepení izolačních desek probíhá ve vodorovné poloze na sraz s převazbou v závislosti na použitém izolačním materiálu. Lepicí tmel se nanáší celoplošně (u podkladů s minimálními nerovnostmi) nebo ve vrstvě po celém okraji desky s přidáním bodů. Zatékání lepidla do spár mezi deskami je nepřipustné. První vrstva tepelné izolace se usazuje do zakládacího profilu (soklové lišty) podle obrázku 13.

Obložení okenních a dveřních otvorů se provádí pomocí výřezů jednotlivých izolačních desek tak, aby desky spojením nenavazovaly na ostění.

Izolační desky se kotví po vytvrdnutí lepicího tmele pomocí taliřových kotev s plastovým nebo kovovým trnem v závislosti na předpokládaném namáhání konstrukce a na výšce objektu. Řádně ukotvený a přebroušený povrch lze opatřit jednou nebo dvěma vrstvami tmele a oboustranně krytou armovací vložkou (perlinkou) v místech spojů přesazovanou minimálně 10 cm. Zvýšenou pozornost je třeba věnovat osazení rohových lišt a lišt okenních (začišťovacích). O okenních otvorech, v nichž jsou okenní rámy zapuštěny je nutné provést KZS také s přesahem přes okenní rám na ostění tak, aby se omezil prostup tepla.



Obr. 13 Detail založení KZS u soklového zdiva [57, autor]

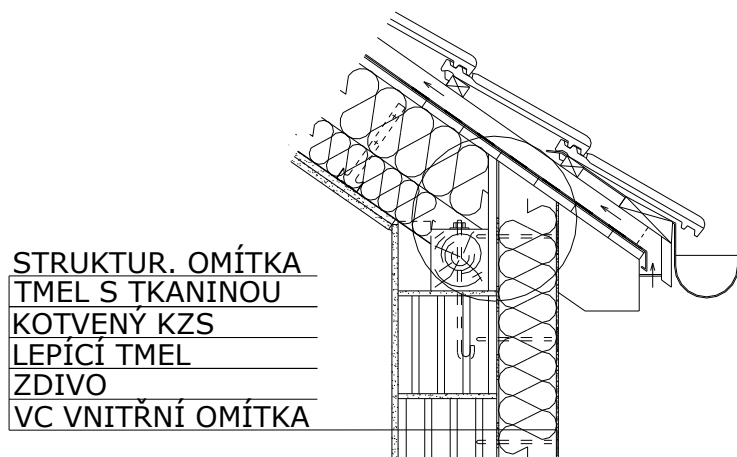


Obr. 14 Detail založení KZS v návaznosti na stropní konstrukci [57, 58, autor]

Finální omítková vrstva se nanáší na povrch zbavený výstupků opatřený penetrací.

KZS je třeba průběžně napojit na navazující tepelné izolace podlah, stropů případně podkroví, bez vzduchových mezer.

Nepoužívanějšími deskami jsou fasádní expandované polystyreny, či desky na bázi polystyrenů se zlepšeným součinitelem tepelné vodivosti. Alternativně se při stejné technologii využívají fasádní desky minerální (s podélnou nebo kolmou orientací vláken).



Obr. 15 Detail založení KZS v návaznosti na stropní konstrukci [57, 58, autor]

**Provětrávané zateplovací systémy (PZS)** založené na principu provětrání vzduchové mezery mezi tepelnou izolací a fasádním souvrstvím mají oproti kontaktním zateplovacím systémům samostatnou předvěšenou část na nosném roštu fasády, který je mechanicky

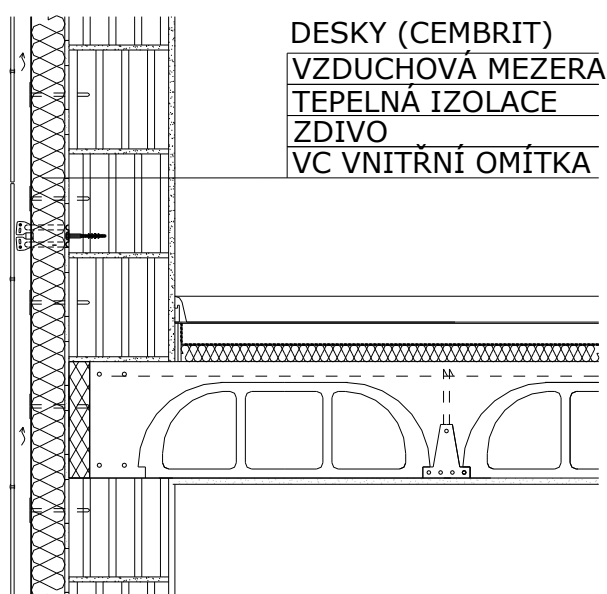
kotven pomocí kotev k hlavní nosné konstrukci, či samonosnou předvěšenou část, nejčastěji z obkladových desek nebo panelů.

Provětrávaný systém funguje v případě, že je zajištěno proudění oteplovaného vzduchu směrem nahoru, čímž dochází k absorpci vlhkosti.

Technologický postup montáže PZS je závislý na projektované skladbě systému (skladba s použitím desek CEMBRIT je uvedena na obrázku 16). Obecně se na stávající stěnu zpravidla upevní nosný systém z dřevěných hranolů. Volba nosného systému je omezena stávajícím podkladem a předpokládaným obkladovým materiálem (vnějším pláštěm). Mezi hranoly a stěnu se vkládá tepelná izolace z měkkých (minerálních) desek, z vnější strany překrytá folií s nízkým difúzním odporem.

Vzduchová mezera pod vnějším pláštěm prochází nepřerušena zdola nahoru s přívodem a odvodem vzduchu. Ochrana proti srážkám, slunečnímu záření a poškození je zajišťována vnějším pláštěm.

Provětrávané fasády se uplatňují především v regionech s vyšší srážkovou činností a nabízejí vhodné řešení pro původní nehomogenní a nerovné podkladní povrchy. V případě potřeby mohou být snadno opravovány nebo vyměňovány.



**Obr. 16** Detail založení KZS v návaznosti na stropní konstrukci [57, 58, autor]

Jednou z nejnákladnějších variant úprav vnějších stěn jsou **dodatečné zděné předstěny**. Před prováděním předstěn je nutné zajistit statické spolupůsobení nosné stěny a předstěny provedením nových základových konstrukcí. Odstup nosné stěny a předstěny nesmí (bez zvláštního statického posouzení) přesáhnout 15 cm, čímž je určena tloušťka izolační vrstvy.

Funkčnost tepelně-izolační vrstvy je podmíněna použitím nenasákavého tepelně-izolačního materiálu a zároveň umožněním odchodu par přes vnější plášť, což je možné zajistit pomocí vzduchové mezery (podle obrázku 17).



Obr. 17 Detail založení KZS v návaznosti na stropní konstrukci [57, 58, autor]

### Vnitřní izolace

Zvláštním a nejméně užívaným případem je využití vnitřní izolace. Tento způsob je však spojen s řadou stavebně-fyzikálních problémů (kondenzace vlhkosti, vznik nových tepelných mostů) a s prováděním detailů. Využívá se pouze v nezbytných případech, zejména ve sklepeních a u památkově chráněných objektů, vhodné je také její použití u lehkých obvodových plášťů.

Při úvaze o vnitřní izolaci je třeba brát v potaz následné zmenšení půdorysných rozměrů dotčených místností o tloušťku izolačního souvrství. Tepelné mosty vzniklé přerušением tepelné izolace v místech stropních konstrukcí a vnitřních stěn je možné omezit provedením přesahu izolace na tyto plochy o minimální šířce 0,5 metru. Toto řešení je však z estetického hlediska v obytných místnostech nepoužitelné.

### Srovnání

Použití plošné izolační vrstvy při zlepšování tepelně-technických vlastností budov není příliš obtížné. Izolační opatření jsou ovšem účinná pouze při maximální eliminaci netěsností a tepelných mostů v rámci celku i v detailech.

Je nutné rozhodnout, jakým způsobem budou tepelně izolovány zvláštní stavební prvky u vnějších zdí, kterými mohou být balkónové desky, atiky, okapy ve vnějších zdech, výklenky pro topná tělesa a vnější žaluzie a podobně.

Tepelně-izolační souvrství neprůhledných plášťů budov musí být voleno v souladu s technickým stavem objektu tak, aby bylo zabráněno jakémukoliv narušení statiky v důsledku případného kondenzování vodních par v konstrukci, či přetížení v případě využití dodatečných předstěn.

Zateplovací systém obvodových stěn by kromě zlepšení tepelně-technických vlastností budovy měl zajistit také splnění závazných hygienických požadavků.

Volbu vhodného systémového řešení je možné provést na základě podrobného průzkumu objektu z hlediska:

- stavu povrchových vrstev stěn,
- nerovnosti a nesourodosti podkladu,
- stávající a požadované tepelně-technické vlastnosti (součinitel prostupu tepla),
- požadovaných estetických vlastností finálních vrstev,
- polohy (hloubky) výplně okenních a dveřních otvorů,
- vlhkosti konstrukcí,
- řešení detailů (napojení převislých konstrukcí, členitosti fasád),
- ekonomického,
- stanovení průběhu teploty přes obvodový plášť,
- ekologického,
- požárně-ochranného,
- vzduchotěsnosti obvodového pláště.

Srovnání uvedených technologických postupů je uvedeno v tabulce 25.

**Tab. 25** Srovnání variant zlepšujících tepelně-technické vlastnosti stropů pod nevytápěnými prostory [23, autor]

Investiční varianta	
Výhody	Nevýhody
<b>Kontaktní zateplovací systém</b>	
+ nízké pořizovací náklady	- vysoké nároky na rovinnost povrchu
+ izolace leží na příznivé straně	- vysoké nároky na kvalitní provedení
+ čisté napojení na okenní a dveřní otvory	- vysoké nároky na dodržení technologií
+ "libovolná" tloušťka izolační vrstvy	- náročné mechanické kotvení (lamp, držáků)
+ systémové řešení	
+ eliminace systémových tepelných mostů	
+ variabilita izolačního materiálu	
+ tloušťka celé konstrukce je nižší	
<b>Provětrávaný zateplovací systém</b>	
+ klesající difúzní odpor směrem do exteriéru	- nutnost zajistit trvalé a funkční větrání fasády
+ trvalá ochrana interiéru před přehříváním	- možnost částečného navlhnutí izolace
+ zajištění stálého vysušování tepelné izolace	- vyšší náklady na realizaci než u KZS
+ "libovolná" tloušťka izolační vrstvy	- horší tepelně-technické vlastnosti
+ možnost suché celoroční montáže	- obtížné napojení přechodových částí
+ možnost použití ve větrných oblastech	- převislé prvky se obtížně izolují
+ možnost volby vnějšího pláště	
+ proveden na nesourodých podkladech	
+ možnost dodatečných úprav	
<b>Dodatečné předstěny</b>	
+ dlouhá životnost	- vysoké pořizovací náklady
+ minimální údržba	- obtížné napojení přechodových částí
	- omezená tloušťka izolační vrstvy
	- nutnost statického zhodnocení

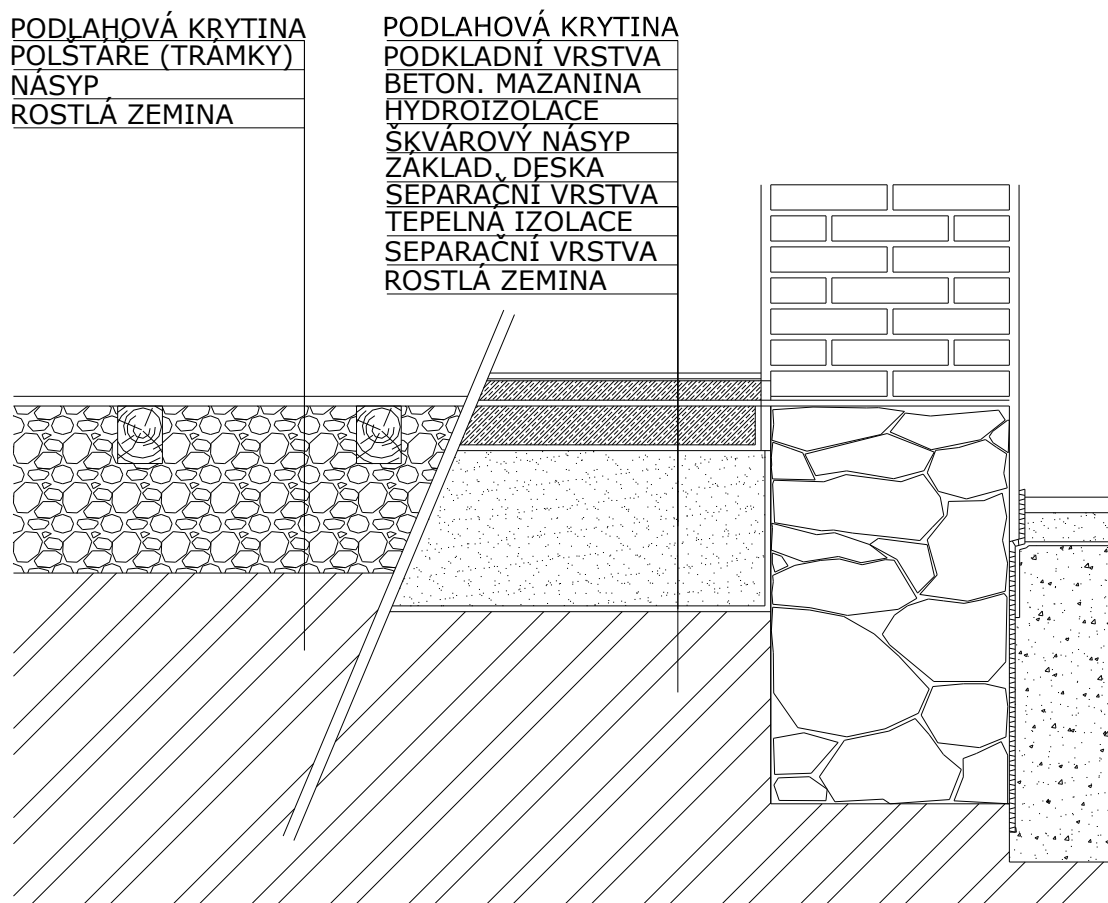
## 7.4 Podlahy na zemině

U podlah sklepních podlaží, či u podlah nepodsklepených přízemí se zle setkat s velice rozdílnými skladbami. Tepelná izolace chybí téměř vždy, hydroizolace bývá nahrazena štěrkovými nebo škvárovými podsypy a v případě sanačních opatření je nezbytné ji doplnit. Pro rozhodování o umístění tepelné izolace podlah je rozhodující stav a zjištěné souvrství podlahové desky.

### 7.4.1 Izolace při chybějící podlahové desce

V případech chybějící podlahové (betonové) desky lze tepelnou izolaci uložit jako základní, dostatečně v tlaku pevnou a nenasákovou vrstvu, od zeminy a základů oddělenou vrstvou geotextílie. Nad izolační vrstvu lze zřídit novou konstrukci podlahy v klasické skladbě.

Před prováděním násypu tepelně-izolační hmoty je třeba zjistit, zda nedojde ke snížení světlé výšky místností a dveřních otvorů, v těchto případech je nutné upravit nedostatečnou výšku odkopáním zeminy maximálně na úroveň základové spáry [40].



Obr. 18 Detail původního podlahového souvrství a podlahové souvrství s nasypanou tepel. izolací [autor, 41]

Obecné souvrství upravené podlahy na snížené zemině ve srovnání s původní skladbou (orientačně použita skladba škvárového násypu a dřevěné prkenné podlahy) je uvedeno na



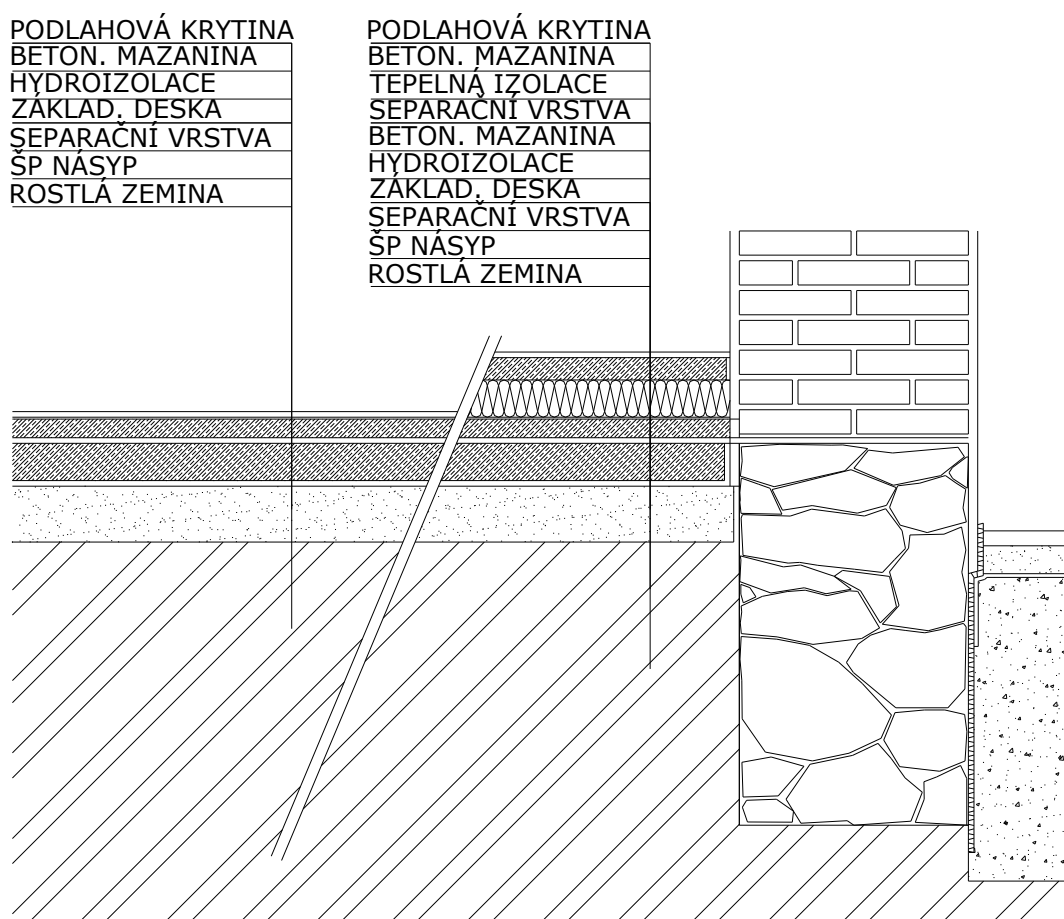
obrázku 18. Hydroizolace sanované podlahy je napojena na (doplněnou) hydroizolaci obvodového zdiva bez přerušení.

#### 7.4.2 Izolace na podlahové desce

Přímo na betonovou mazaninu (podlahovou desku) lze tepelnou izolaci aplikovat po odstranění nášlapných a podkladních podlahových vrstev, a za předpokladu funkční izolace proti zemní vlhkosti. Pokud se na základě sond prokáže absence hydroizolace, je nutní ji doplnit a zajistit její napojení na izolaci obvodových zdí.

Volně položená tepelná izolace je dále převrstvena novou skladbou podlahy, například (jako na obrázku 19) separovanou betonovou mazaninou nebo podlahou prkennou s dřevěnými polštáři a nášlapnými vrstvami.

Při provádění podlahových vrstev nad úroveň stávající podlahy (podobně jako u izolování podlah bez základové desky) je nutné zvážit vhodnost změny světlé výšky místností a výšku dveřních otvorů: zejména úpravu dveřních zárubní a křídel [40].



Obr. 19 Detail původního podlahového souvrství a podlahové souvrství s nasypanou tepel. izolací [autor, 41]

## Srovnání

Doplnění tepelné izolace podlah a rozhodnutí o způsobu sanace je podmíněno stavem podlahového souvrství a podlahové desky.

Tab. 26 Srovnání variant zlepšujících tepelně-technické podlah na zemině [40, 23, autor]

Investiční varianta	
Výhody	Nevýhody
<b>Izolace při chybějící podlahové desce</b>	
+ světlá výška místností není ovlivněna	- vysoké pořizovací náklady
+ možno zapustit konstrukci do země	- tepelné mosty u pat příček
+ hydroizolace se uloží v celé ploše	
+ tepelná izolace leží na příznivé straně	
<b>Izolace na podlahové desce</b>	
+ odpadají zemní práce	- světlá výška místností se snižuje
	- průchodná výška dveří se snižuje

V obou popsanych případech je nutné zohlednit změny světlých výšek obytných místností a výškovou návaznost na dveřní otvory, případné bourací práce spojené s odstraněním podsypu nebo se snížením výškové úrovně zeminy pod podlahou.

V případě prkenných podlah je nutné tepelnou izolaci umístit mezi polštáře (dřevěné trámy) zajištěné proti pohybu přišroubováním nebo vyklínováním.

Srovnání variant je uvedeno v tabulce 26.

## 7.5 Výplně okenních a dveřních otvorů

Výplně otvorů stavebních konstrukcí jsou nejexponovanější částí konstrukcí obálky budovy (u většiny objektů vykazují nejhorší stav tepelné ochrany). Rozhodující měrou se podílejí nejen na energetických ztrátách objektů, ale také na tvorbě optimálního vnitřního prostředí.

Vlastnosti oken ovlivňuje zejména konstrukce okna (způsob otírání), použitý materiál a způsob zasklení.

Výplně okenních otvorů lze z hlediska konstrukce rozdělit na:

- jednoduchá,
- jednoduchá s dvojsklem (trojsklem),
- zdvojená (zdvojená křídla navzájem spojená)
- dvojitá (špaletová, tvořená dvěma okenními rámy navzájem spojenými).

Podle materiálu vlysu okenního rámu a křídla se okna dělí na:

- dřevěná,
- plastová,
- kovová (hliníková, ocelová),
- kombinovaná [28].

Z hlediska tepelně-technického se jedná o složené konstrukce, jejichž vlastnosti jsou určeny vlastnostmi průhledných ploch (zasklení), ploch neprůhledných (vlysy křidel a rámu) a

úpravou styků (druhy těsnění). Součinitel prostupu tepla okna  $U_W$  se stanoví jako kombinace uvedených vlastností včetně zohlednění lineárního součinitele prostupu tepla podle vztahu

$$U_W = (U_f \cdot A_f + U_g \cdot A_g + \Psi \cdot l_g) / A_W, \quad [W/m^2 \cdot K] \quad (47)$$

kde je:

- $U_f$  součinitel prostupu tepla rámu a křídla [ $W/m^2 \cdot K$ ],
- $A_f$  plocha rámu a křídla [ $m^2$ ],
- $U_g$  součinitel prostupu tepla zasklení [ $W/m^2 \cdot K$ ],
- $A_g$  plocha zasklení [ $m^2$ ],
- $\Psi$  lineární součinitel prostupu tepla [ $W/m \cdot K$ ],
- $l_g$  obvod zasklení v křídle okna [ $m$ ],
- $A_W$  plocha celého okna včetně rámu [ $m^2$ ].

Nezanedbatelný vliv při posuzování energetické bilance okna mají také tepelné ztráty z prostupu tepla větráním a tepelné zisky; které jsou zahrnuty ve výpočtu roční potřeby tepla na vytápění podle vztahů (22) a (24).

Základní parametr  $U_W$  (součinitel prostupu tepla) se určuje pro každé okno zvlášť v závislosti na uvedených vlastnostech. Orientační určení součinitele prostupu tepla pro jednotlivé druhy oken a způsoby zasklení je patrné z tabulky 27.

**Tab. 27** Součinitel prostupu tepla podle druhu okna a způsobu zasklení [31]

Druh okna / způsob zasklení	U [ $W/m^2 \cdot K$ ]
dřevěné okno s jednoduchým zasklením	5,2
špaletové okno s obyčejným zasklením	2,7
dřevěné okno s dvojitým obyčejným zasklením	2,8
plastové nebo dřevěné okno s běžným izolačním dvojsklem	2,8
plastové nebo dřevěné okno s izolačním dvojsklem s mezerou mezi skly plněnou argonem a s pokovením	1,3 - 1,8
plastové nebo dřevěné okno s izolačním dvojsklem a s folií	1,2 - 1,6
plastové nebo dřevěné okno s izolačním trojsklem a s folií	0,5 - 1,5
<b>reparované špaletové okno, zasklené s pokovením</b>	<b>1,9 - 2,1</b>
hliníková okna s izolačním dvojsklem a folií	1,2 - 1,6
hliníková okna s izolačním trojsklem a folií	0,5 - 1,5
hliníkovo-dřevěná okna s izolačním dvojsklem a folií	1,2 - 1,6
hliníkovo-dřevěná okna s izolačním trojsklem a folií	0,5 - 1,5

Nově instalované či reparované výplně okenních a dveřních otvorů musí zajišťovat splnění tepelně-technických požadavků podle normy ČSN 73 0540 podle tabulky 3 a vztahu (5).

### 7.5.1 Sanace stávajících oken a dveří

Původní výplně okenních a dveřních otvorů není vždy nezbytně nutné kompletně měnit, zvláště pokud materiál není znehodnocený povětrnostními vlivy nebo napadený hnilobou a pokud do prostoru mezi tabulemi neproniká vlhkost.

Sanace (repase, renovace) spočívá ve výměně stávajícího zasklení dvojitým tepelně-ochranným sklem vyplněného inertním plynem nebo v přidání druhé tabule vsazené na vnitřní stranu rámu. Nahrazení dvojskly je možné jen v případech, kdy stávající rámy a křídla bezpečně přenesou značné přetížení další tabulí skla.

Další možností je použití silikonových profilů ve styku okenního rámu a křídla, čímž se sníží infiltrace vzduchu a zároveň se zlepší tepelně a zvukově izolační vlastnosti okna.

Repasování oken se uplatňuje zejména při rekonstrukcích historických objektů, kde je požadováno zachování současného vzhledu oken a kde zároveň není možné přistoupit k provedení nových vrstev vnější plošné dodatečné izolace.

Repasováním oken lze dosáhnout zlepšení jejich původních tepelně-technických vlastností až o polovinu při poměrně nízkých pořizovacích nákladech. Návratnost investice se proto výrazně zkrátí.

### 7.5.2 Výměna oken a dveří

V případech, kdy důsledné posouzení původních (dřevěných) oken odhalí, že jejich sanace je z ekonomického hlediska náročná nebo vzhledem ke stavu poškození není možná, je nutné tato nahradit novými okenními konstrukcemi. K výměně je třeba také přistoupit za situace, kdy okny zatéká nebo jsou v obvodové stěně osazena proti směru převládajících větrů. V rámci investičního rozhodování je třeba mít na zřeteli, že samotná výměna oken (bez dalšího zlepšování tepelně-technických vlastností obálky budovy) je z ekonomického hlediska téměř vždy nevýhodná.

Důvodem výměny může být i nevyhovující estetická kvalita stávajících oken.

Pro výměnu jsou vhodná okna nové konstrukce ze dřeva, plastu, kovu nebo s kombinací materiálů.

Klasickým materiálem pro výrobu oken je dřevo, jehož výhodou jsou dobré tepelně-izolační vlastnosti a nízká roztažnost.

Kvalita plastových oken se v současné době vyrovnává kvalitě oken dřevěných s předpokládanou bezúdržbovou životností 25 až 35 let při srovnatelných fyzikálních vlastnostech [31].

Okenní křídla a rámy vyrobené v kombinaci dřevo/hliník se vyznačují vysokou odolností při extrémních povětrnostních podmínkách (exteriérová strana je opatřena hliníkovou konstrukcí) a estetickou hodnotou (interiérová, dřevěná konstrukce) a vhodně tak kombinují výhody dřevěných a plastových oken.

Při rozhodování o typu okna a jeho parametrech je důležité vhodně posoudit a kombinovat náklady na pořízení, tepelně-technické vlastnosti a životnost konstrukcí. Dalším aspektem při výběru typu oken je i stanovisko stavebního úřadu.

### 7.5.3 Srovnání

Pro investiční rozhodování je důležité shrnout přínosy (výhody) a nevýhody možných variant z technického, tepelně-technického a ekonomického hlediska. Investiční varianta by měla být vyváženou kombinací nároků a požadavků kladených na okenní a dveřní konstrukce s ohledem na:

- celkové pořizovací náklady (včetně nutných stavebních úprav),

- dobu návratnosti investiční varianty,
- celkovou energetickou bilanci okenních a dveřních otvorů,
- předpokládanou další životnost objektu,
- estetické vlastnosti.

Výhodou sanace okenních a dveřních otvorů je nižší pořizovací cena a kratší doba návratnosti, dosažení optimálních tepelně-technických vlastností je však omezeno.

Sanace je vhodná a většinou jediná možná alternativa při rekonstrukcích památkově chráněných objektů, kde celkové rozměry a estetické vlastnosti nelze měnit. S ohledem na celkovou energetickou bilanci je nutné zvážit případné zvětšení, či zmenšení okenních (popřípadě změnu způsobu otevírání) otvorů v závislosti na orientaci ke světovým stranám.

Přehledné srovnání jednotlivých variant je uvedeno v tabulce 28.

**Tab. 28** Srovnání investičních variant renovace a výměny okenních a dveřních konstrukcí [23, autor]

Investiční varianta	
Výhody	Nevýhody
<b>Renovace oken a dveří</b>	
+ vhodné pro památkově chráněné objekty	- nutnost dodržení rozměrů okna
+ nižší pořizovací náklady	- možnost přetížení křidel okna
+ rychlejší návratnost investice	- nedosažení optimálních tepelných vlastností
+ minimální stavební úpravy	- estetická omezení
+ obnovená životnost konstrukcí	
<b>Výměna oken a dveří</b>	
+ výrazné zlepšení tepelných vlastností	- vysoké pořizovací náklady
+ zlepšení celkové energetické bilance	- nízká návratnost investice
+ možnost výběru materiálu	- nevhodné pro památkově chráněné objekty
+ bezúdržbové (plastové a hliníkové kce)	- rozsáhlejší stavební úpravy
+ možnost změny rozměrů	

## 7.6 Shrnutí nepoužívanějších technologických postupů

Popsané technologické postupy zlepšující tepelně-technické vlastnosti budov je nutné pro následné stanovení nákladů jednotlivých modelovaných investičních variant převést do obecných pracovních postupů, jimž odpovídají konstrukce a práce podle třídíku TSKP.

Pro stanovení nákladů je nezbytné popsat prováděné práce spojené se zvolenou technologií.

## 8 TEPELNĚ-IZOLAČNÍ MATERIÁLY

Obecným technologickým postupům při provádění konstrukcí zlepšujících tepelně-technické vlastnosti obálky budov lze přiřazovat různé, více či méně vhodné, izolační materiály: izolanty.

Tepelně-izolačními materiály se rozumí materiály, jejichž vlastnosti zaručují výrazné omezení tepelných toků v konstrukcích směrem od vytápěných prostor k prostorům nevytápěným.

Základní vlastností určující schopnost materiálu omezit tepelný tok je součinitel tepelné vodivosti  $\lambda$  [W/m·K], na jehož základě a při uvažované tloušťce izolantu lze stanovit dílčí tepelný odpor  $R$  [m<sup>2</sup>·K/W] vrstvy konstrukce a dílčí součinitel prostupu tepla  $U$  [W/m<sup>2</sup>·K].

Vhodný izolant je nutné volit s ohledem na zvolený technologický postup pro zlepšení tepelně-technických vlastností jednotlivých částí obálky budovy, přičemž technologickému postupu lze přiřadit i několik potenciálně vhodných izolantů. Naopak: zvolenému izolantu lze ve většině případů přiřadit pouze jeden specifický technologický postup.

Členění izolantů vychází z jejich vlastností, tedy použitelnosti pro rozdílně zatěžovaná prostředí. Rozhodujícími vlastnostmi jsou zejména:

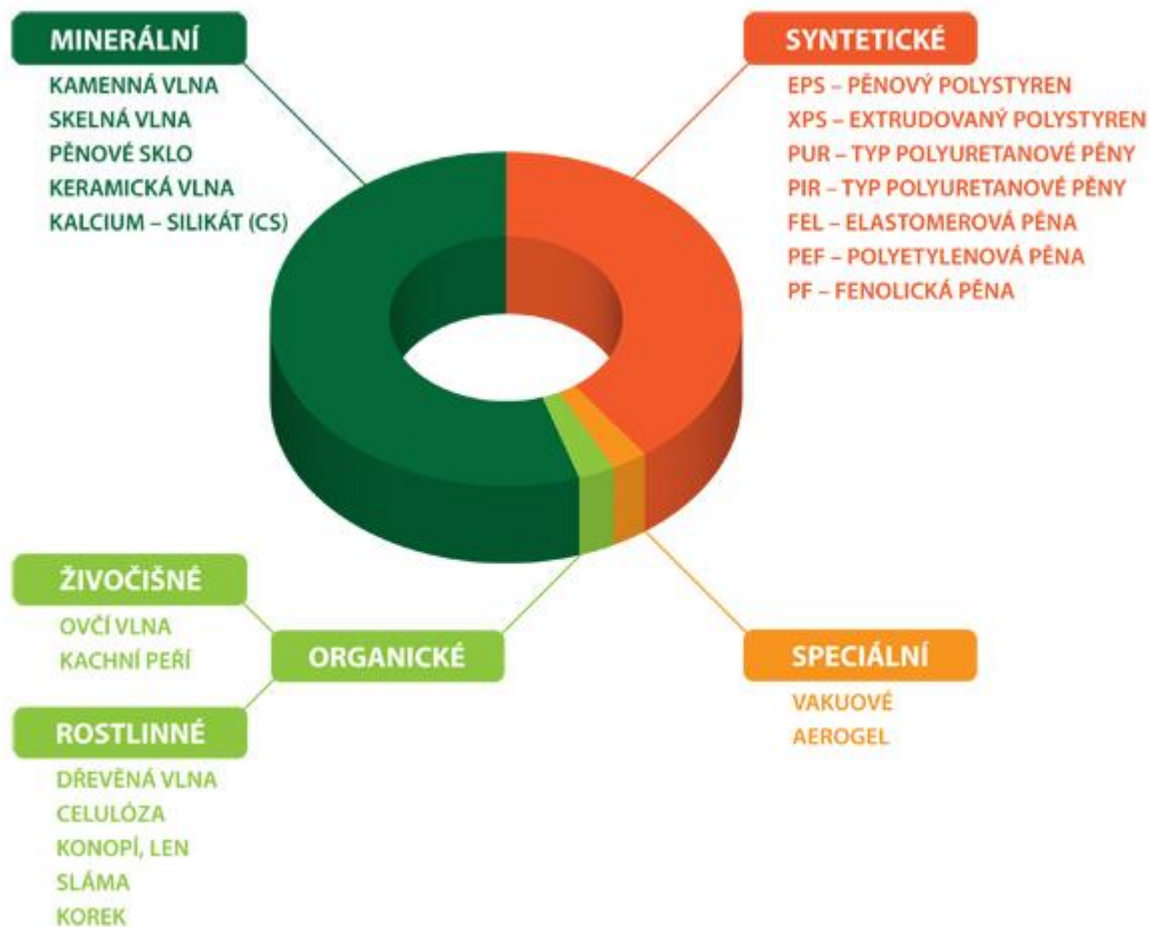
- mechanická odolnost,
- pevnost v tlaku,
- nasákavost,
- mrazuvzdornost,
- nehořlavost,
- povrchová stabilita,
- stlačitelnost,
- prodyšnost (paropropustnost),
- objemová hmotnost,
- akustické vlastnosti,
- odolnost proti plísním, bakteriím a houbám [33, 57, 58, 59].

Vzhledem k dramatickému a nepřetržitému vývoji nových izolantů se stále se zdokonalujícími vlastnostmi a k širokému spektru výrobců, je vhodné zúžit výběr použitelných izolantů na co nejobecnější srovnávací rovinu s přihlédnutím k originálním produktům.

Uvedené vlastnosti a jejich nejvhodnější kombinace rozhodují o volbě izolantu z jedné z výrobně-surovinových skupin:

- syntetické tepelné izolace,
- minerální tepelné izolace,
- organické tepelné izolace,
- speciální tepelné izolace.

Výrobní skupiny lze dále dělit na základní materiály (izolanty) podle obrázku 20.



Obr. 20 Rozdělení tepelných izolací podle výrobních surovin [57].

## 8.1 Syntetické izolace

### 8.1.1 Polystyren (PS)

Polystyren je jedním z nejrozšířenějších tepelně zpracovatelných plastů, tzv. termoplastů, nejvíce známý jako pěnový tepelně izolační polymerní materiál. Ve stavebnictví se používá široká škála výrobků z pěnového (zpěnovatelného) polystyrenu EPS (expanded polystyrene). Typickým představitelem je deska o rozměrech 1000 x 500 o proměnlivé tloušťce v mm.

Označení standardizovaných polystyrenových desek vychází ze způsobu použití podle druhu konstrukce:

- základní (Z) – základní provedení, nízká přesnost rozměrů, nestabilizovaný,
- stabilizovaný (S) - odležený-stabilizovaný před řezáním na potřebné rozměry,
- fasádní (F) – vysoká přesnost desek, stabilizovaný,

a pevnosti v tlaku [kPa] v rozmezí od 50 do 250. Například: EPS 70F, EPS 100S. Pěnový polystyren je plně recyklovatelný, tvarově stálý, není citlivý na vlhkost, je odolný proti hnilobě i proti stárnutí a výborně se zpracovává [59, 61].

Použití základních polystyrenových desek je shrnuto v tabulce 29a. Číselné označení zohledňuje vhodnost užití:

- 1: obvyklé použití,
- 2: možné použití,
- 3: alternativně možná varianta (použití s omezením, či náročnější montáží),
- -: pro danou technologii se nepoužívá.

**Tab. 29a:** Použití stavebních izolací z expandovaného polystyrenu EPS – základní desky [59, 61]

EPS									
Označení	50 Z	70 Z	100 Z	70 S	100 S	150 S	200 S	70 F	100 F
$\lambda$ [W/m·K]	0,042	0,039	0,037	0,039	0,037	0,035	0,034	0,037	0,039
Doporučené použití									
<b>Ploché střechy</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Jednoplášťová - spodní vrstva	-	-	-	1	1	2	2	2	2
Jednoplášťová - vrchní vrstva	-	-	-	-	2	2	2	-	2
Dvoupplášťová střecha - výplň	1	2	2	2	2	2	2	2	2
<b>Šikmé střechy</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Nad krokve - zatížená	-	-	-	-	2	2	2	-	3
Nad krokve výplňová	2	3	3	3	3	3	3	3	3
Mezi krokve - výplňová	2	3	3	3	3	3	3	3	3
Pod krokve - podklad omítky	-	-	-	-	-	-	-	1	2
<b>Stropní konstrukce</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Vložená - výplň	-	2	2	1	2	2	2	2	2
Foukaná	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Podhled - krytý deskami	-	2	2	1	2	2	2	2	2
Podhled - podklad pod omítku	-	-	-	-	-	-	-	1	2
<b>Vnější stěny</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Systémové zateplení ETICS	-	-	-	-	-	-	-	2	2
Podklad pod omítku	-	-	-	-	-	-	-	2	2
Vkládaná do bednění	-	-	-	2	1	2	2	2	2
Soklu jako ETICS	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Podklad pod omítku soklu	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Součást vrstveného panelu	-	-	-	2	1	1	2	2	2
<b>Podlahy</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Těžká plovoucí podlaha (akum.)	-	2	2	2	1	2	2	2	2
Těžká plovoucí podlaha	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Lehká plovoucí podlaha (akum.)	-	-	2	-	1	2	2	-	2
Lehká plovoucí podlaha	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Kromě základního provedení EPS se dále využívá desek s vylepšenými vlastnostmi:

- **EPS GRAFIT (GREY)** - polystyren s příměsí grafitu dosahující hodnot součinitele tepelné vodivosti  $\lambda$  až 0,030 [W/m·K],
- **EPS AT-L, EPS T** (označení dle výrobce) - jedná se o elastifikovaný polystyren pro kročejový útlum podlah. Nášlapné a pochůzí tlumící desky z EPS jsou vhodné jako podklad pod plovoucí potěry a podlahové vytápění.,



- **Perimetr** - pěnový polystyren s uzavřenou povrchovou strukturou. Využívá se v místech možného kontaktu s vodou - izolace spodní stavby a soklu a pod hlavní hydroizolaci ve střeše.

Použití polystyrenových desek s vylepšenými vlastnostmi je shrnuto v tabulce 29b.

**Tab. 29b:** Použití stavebních izolací z EPS – desky s vylepšenými vlastnostmi [59, 61]

Označení	EPS								
	Silenc DB+	Grey Wall	Grey Wall+	Grey 100	Grey 150	Floor 4000	Floor 5000	Sokl	Peri-Metr
$\lambda$ [W/m·K]	0,039	0,032	0,031	0,031	0,031	0,044	0,039	0,034	0,034
Doporučené použití									
<b>Ploché střechy</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Jednoplášťová - spodní vrstva	2	2	2	2	2	-	-	2	2
Jednoplášťová - vrchní vrstva	-	-	-	-	-	-	-	2	2
Dvoupplášťová střecha - výplň	2	2	2	2	2	2	2	2	2
<b>Šikmé střechy</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Nad krokve - zatížená	-	-	-	3	3	-	-	3	3
Nad krokve - výplňová	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Mezi krokve - výplňová	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Pod krokve - podklad omítky	2	1	1	-	-	-	-	-	-
<b>Stropní konstrukce</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Vložená - výplň	2	2	2	2	2	-	-	2	2
Foukaná	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Podhled - krytý deskami	2	2	2	2	2	-	-	2	2
Podhled - podklad pod omítku	2	1	1	-	-	-	-	-	-
<b>Vnější stěny</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Systémové zateplení ETICS	2	1	1	-	-	-	-	-	-
Podklad pod omítku	2	1	1	-	-	-	-	-	-
Vkládaná do bednění	2	2	2	2	2	-	-	2	2
Soklu jako ETICS	-	-	-	-	-	-	-	1	-
Podklad pod omítku soklu	-	-	-	-	-	-	-	1	-
Součást vrstveného panelu	-	-	-	2	2	-	-	2	2
<b>Podlahy</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Těžká plovoucí podlaha (akum.)	2	2	2	1	1	-	-	2	2
Těžká plovoucí podlaha	-	-	-	-	-	1	1	-	-
Lehká plovoucí podlaha (akum.)	-	-	-	1	1	-	-	2	2
Lehká plovoucí podlaha	-	-	-	-	-	1	1	-	-

Vhodným materiálem pro izolaci namáhaných částí obálky budovy jsou desky z extrudovaného polystyrenu (XPS), který je vyráběn ze stejné základní suroviny jako pěnový polystyren EPS, liší se však výrobním procesem.

Extrudovaný polystyren je vyráběn z roztavených polystyrenových granulí, které jsou napěňovány plynem CO<sub>2</sub>, dále extrudérem (vytlačovacím zařízením) dodávány na pás, kde je polotovar tloušťkově formován. Zatímco desky EPS jsou na požadovanou tloušťku řezány

dodatečně, vyrábí se XPS s uzavřenou buněčnou strukturou, čímž je zajištěna odolnost proti vnikání vlhkosti do izolantu a tím i jeho tepelně-technické vlastnosti.

Označení XPS je obdobné označování EPS. Povrch desek může být hladký, zdrsňený nebo protlačovaný, po obvodu může být deska opatřena polodrážkou. Výjimkou nejsou desky s novou povrchovou úpravou.

Extrudovaný polystyren se používá při izolování:

- vnějších stěn (s nízkou nasákavostí může být ve styku se zemí bez toho, aby byl opatřen jakoukoliv hydroizolací),
- plochých střech s obrácenou skladbou pláště (je vhodný především pro svou vysokou odolnost, minimální požadavky na údržbu, velmi nízkou nasákavost a také nízkou hmotnost, díky níž se příliš nezvyšuje stávající zatížení střešní konstrukce),
- podlah (s vysokými nároky na pevnost izolace v tlaku).

### 8.1.2 Polyuretanové, elastomerové, polyetylenové a fenolické pěny

Polyuretanové pěny se řadí do kategorie syntetických materiálů. Jde o zvláštní skupinu makromolekulárních látek. Dle způsobu výroby vzniká tato hmota polyadici. (Materiál PIR je tvořen kombinací uretanových a isokyanurátových vazeb, zatímco PUR obsahuje především uretanové vazby. Na rozdíl od materiálu PUR se při výrobě PIR uplatňují kromě přebytečného izokyanátu také polyesterové polyoly.)

V podobě pěny se jedná o izolant využitelný například u plochých střech, kde uzavřená buněčná struktura izolantu tvoří současně i hydroizolační vrstvu. Aplikace tvrdé polyuretanové pěny litím je používána jako tepelně-izolační jádro (meziprostoru) izolačních obvodových panelů, mrazících boxů, potrubí, a podobně. Výhodou lité aplikace je vyplnění meziprostoru bezzbytkem.

Polyuretanové desky z tvrzené PUR/PIR pěny se součinitelem tepelné vodivosti  $\lambda$  až 0,023 [W/m·K] [60] se uplatňují jako:

- nadkroevní tepelná izolace šikmých střech,
- fasádní desky,
- podlahové desky.

Izolační desky mohou být opatřeny hliníkovou folií, povrchovým rastrem, či ozubem. Tvrzené izolační desky se velice dobře uplatňují v místech přerušování tepelných mostů se zvýšeným zatížením v tlaku (kolem okenních a dveřních rámu, v místech venkovních žaluzií).

Fasádní tepelně-izolační desky z fenolické pěny oboustranně skelným rounem s deklarovaným součinitelem tepelné vodivosti  $\lambda$  0,022 [W/m·K] je možné aplikovat v certifikovaném systému XS022 společnosti BAUMIT [59].

## 8.2 Minerální izolace

Minerální izolace, použitelná jako tepelná, protipožární a akustická izolace, je rouno slisované z vláken minerálního původu. Základními výrobními surovinami jsou granuláty, z nichž se metodou tepelného rozkladu taví vlákno průměru nad 3  $\mu\text{m}$ . Soudržnost výsledné vaty se zvyšuje napouštěním pojivem (bakelit), k omezení prašnosti se využívá přidání oleje.

K výrobě minerální vaty se využívá kameniny (siderit, vápenec, dolomit, čedič aj.), s přídavkem recyklovaného skla nebo skelné vaty obsahující až 70% recyklovaného skla. Podle výrobní suroviny rozlišujeme minerální vaty kamenné a skelné.

Podobně jako u desek polystyrenových, jsou i desky z minerální vlny použitelné (s výjimkou tepelné izolace soklového zdiva) pro všechny konstrukce obálky budovy.

Značení desek však není pevně stanovené a každý výrobce pouze uvádí konstrukci, pro kterou je daný výrobek vhodný, či potenciálně vhodný.

### 8.2.1 Kamenná vlna

Tepelná izolace z kamenné plsti v deskách je vyrobena metodou rozvlákňování taveniny směsí horniny a dalších příměsí. Takto vyrobené desky se vyznačují vyšším tepelným odporem a požární odolností. Větší objemovou hmotností s propustností pro vodní páry.

Desky z kamenné vlny je nutné v konstrukcích chránit před povětrnostními vlivy, zvýšené vlhkosti aj., difúzní a parotěsnou fólií. Podle zatížení konstrukce lze volit desky měkké, polotvrdé a tvrdé. Kamenná vlna pohlcuje zvukovou energii a výrazně tak tlumí hluk. Díky tomu jsou výrobky z kamenné vlny vhodné nejen pro tepelnou izolaci, ale také pro ochranu proti hluku.

Izolanty z kamenné vlny lze volit zejména pro:

- velmi dobré tepelně izolační schopnosti,
- velmi dobrou pohltivost zvuku,
- nízký difúzní odpor - propustné pro vodní páru,
- ekologickou a hygienickou nezávadnost,
- vodoodpudivost - izolační materiály jsou hydrofobizované,
- dlouhou životnost,
- odolnost proti dřevokazným škůdcům, hlodavcům a hmyzu,
- snadnou opracovatelnost - výrobky lze řezat.

Příklady využití a značení desek z kamenné vlny společností ROCKWOOL [58] a ISOVER [57] jsou uvedeny v tabulkách 30 a 31. Číselné označení zohledňuje vhodnost užití:

- 1: obvyklé použití,
- 2: možné použití,
- 3: alternativně možná varianta (použití s omezením, či náročnější montáží),
- -: pro danou technologii se nepoužívá.

**Tab. 30** Použití stavebních izolací z kamenné vlny ROCKWOOL [58]

Kamenná vlna – ROCKWOOL								
Označení	MonR MAX	HardR MAX	MegaR MAX	MultiR	R-min	AirR LD	AirR ND	DachR
$\lambda$ [W/m·K]	0,038	0,040	0,040	0,039	0,039	0,037	0,035	0,041
Doporučené použití								
<b>Ploché střechy</b>								
Jednoplášťová - spodní vrstva	1	1	2	-	-	-	-	2
Jednoplášťová - vrchní vrstva	-	-	1	-	-	-	-	1
Dvoupplášťová střecha - výplň	2	2	-	-	-	-	-	1
<b>Šikmé střechy</b>								
Nad krokve - zatížená	-	-	-	-	-	2	-	-
Nad krokve - výplňová	-	-	-	-	-	1	-	-
Mezi krokve - výplňová	-	-	-	1	1	2	1	-
Pod krokve - podklad omítky	-	-	-	-	2	-	1	-
<b>Stropní konstrukce</b>								
Vložená - výplň	-	-	-	1	1	1	-	2
Foukaná	-	-	-	-	-	-	-	-
Podhled - krytý deskami	-	-	-	-	-	1	-	2
Podhled - podklad pod omítku	-	-	-	-	-	-	-	-

Kamenná vlna - ROCKWOOL								
Označení	FrontR MAX	FasR	FasR LL	AirR LD	AirR ND	AirR HD	StepR HD	StepR ND
$\lambda$ [W/m·K]	0,036	0,040	0,041	0,037	0,035	0,035	0,039	0,039
Doporučené použití								
<b>Vnější stěny</b>								
Systémové zateplení ETICS	1	1	1	-	-	-	-	-
Podklad pod omítku	2	2	2	-	-	-	-	-
Vkládaná do bednění	-	-	-	1	1	1	-	-
Soklu jako ETICS	-	-	-	-	-	-	-	-
Podklad pod omítku soklu	-	-	-	-	-	-	-	-
Součást vrstveného panelu	-	-	1	1	1	1	-	-
<b>Podlahy</b>								
Těžká plovoucí podlaha (akum.)	-	-	-	-	-	-	2	1
Těžká plovoucí podlaha	-	-	-	-	-	-	1	2
Lehká plovoucí podlaha (akum.)	-	-	-	-	-	-	2	1
Lehká plovoucí podlaha	-	-	-	-	-	-	1	2

**Tab. 31** Použití stavebních izolací z kamenné vlny ISOVER (ORSIL) [59]

Kamenná vlna - ISOVER (ORSIL)								
Označení	UNI	ORSIK	ORSET	OR STROP	TRAM	AKU	R	P
$\lambda$ [W/m·K]	0,035	0,038	0,039	0,041	0,044	0,036	0,038	0,037
Doporučené použití								
<b>Ploché střechy</b>								
Jednoplášťová - spodní vrstva	-	-	-	-	-	-	1	1
Jednoplášťová - vrchní vrstva	-	-	-	-	-	-	-	-
Dvoupplášťová střecha - výplň	1	1	1	2	-	1	3	3
<b>Šikmé střechy</b>								
Nad krokve - zatížená	-	-	-	-	1	-	-	-
Nad krokve - výplňová	1	2	2	-	-	2	-	-
Mezi krokve - výplňová	1	2	2	2	-	2	-	-
Pod krokve - podklad omítky	1	1	1	2	-	2	-	-
<b>Stropní konstrukce</b>								
Vložená - výplň	2	1	1	1	-	1	-	-
Foukaná	-	-	-	-	-	-	-	-
Podhled - krytý deskami	2	2	1	1	2	-	-	-
Podhled - podklad pod omítku	-	-	-	-	-	-	-	-
Volná pokládká	2	1	1	1	-	1	-	-

Kamenná vlna - ISOVER (ORSIL)								
Označení	TF	TF PROFI	FAS- SILL	FAS- NT	HARD- SIL	MAXIL	S	T
$\lambda$ [W/m·K]	0,038	0,036	0,035	0,035	0,035	0,034	0,039	0,039
Doporučené použití								
<b>Vnější stěny</b>								
Systémové zateplení ETICS	1	1	-	-	-	-	-	-
Podklad pod omítku	-	-	-	-	-	-	-	-
Vkládaná do bednění	3	3	1	1	1	2	-	-
Soklu jako ETICS	-	-	-	-	-	-	-	-
Podklad pod omítku soklu	-	-	-	-	-	-	-	-
Součást vrstveného panelu	3	3	2	2	2	2	-	-
<b>Podlahy</b>								
Těžká plovoucí podlaha (akum.)	-	-	-	-	-	-	3	3
Těžká plovoucí podlaha	-	-	-	-	-	-	3	3
Lehká plovoucí podlaha (akum.)	-	-	-	-	-	-	-	-
Lehká plovoucí podlaha	-	-	-	-	-	-	-	-

## 8.2.2 Skelné vlny

Výroba skelné vlny je založena na metodě rozvlákňování taveniny skla a dalších příměsí a přísad. Vytvořená minerální vlákna se v rámci výrobní linky zpracují do finálního tvaru pásu (rohože). Vlákna jsou po celém povrchu hydrofobizována.

Izolaci je nutné v konstrukci (podobně jako vlny kamenné) chránit vhodným způsobem (parotěsnou fólií, vhodnou ochranou proti usazování prachu u volně ložených izolací).

Vlastnosti izolačních materiálů ze skelné vlny jsou obdobné vlastnostem izolačních materiálů z vlny kamenné. Izolanty z kamenné vlny se používají zejména u konstrukcí výplňových, bez požadavku na pevnost v tlaku (volně položené rohože, nezátížené izolace mezi krokve a pod krokve, podhledy a podobně).

Skelné vlny nejsou karcinogenní, hygroskopické ani vzliňavé. Nepodporují množení bakterií a jsou chemicky neutrální a nezpůsobují korozi. Neobsahují nečistoty ani jiné částice.

Příklady využití a značení desek z kamenné vlny společnosti ISOVER jsou uvedeny v tabulkách 32. Číselné označení zohledňuje vhodnost užití:

- 1: obvyklé použití,
- 2: možné použití,
- 3: alternativně možná varianta (použití s omezením, či náročnější montáží),
- -: pro danou technologii se nepoužívá.

**Tab. 32** Použití stavebních izolací z kamenné vlny ISOVER (ORSIL) [59]

Skelná vlna - ISOVER (ORSIL)							
Označení	Multi 30	Unirol Profi	MK- KF	Unirol Plus	Unirol Classic	Domo	Domo Comfo rt
$\lambda$ [W/m·K]	0,030	0,033	0,034	0,036	0,038	0,039	0,039
Doporučené použití							
<b>Ploché střechy</b>	-	-	-	-	-	-	-
Jednoplášťová - spodní vrstva	-	-	-	-	-	-	-
Jednoplášťová - vrchní vrstva	-	-	-	-	-	-	-
Dvouplášťová střecha – výplň	1	1	1	1	1	1	1
<b>Šikmé střechy</b>	-	-	-	-	-	-	-
Nad krokve - zatížená	-	-	-	-	-	-	-
Nad krokve - výplňová	1	1	1	1	1	1	1
Mezi krokve – výplňová	2	1	1	1	1	2	2
Pod krokve - podklad	1	1	1	1	1	1	1
<b>Stropní konstrukce</b>	-	-	-	-	-	-	-
Vložená - výplň	1	1	1	1	1	2	2
Foukaná	-	-	-	-	-	-	-
Podhled - krytý deskami	1	2	2	3	3	1	1
Podhled - podklad pod omítku	-	-	-	-	-	-	-
Volná pokládká	-	-	-	-	-	-	-

Skelná vlna - ISOVER (ORSIL)							
Označení	Domo Flex	Piano	Rollino	Merino	SSP2	Tango	TDPT
$\lambda$ [W/m·K]	0,039	0,038	0,038	0,039	0,04	0,033	0,033
Doporučené použití							
<b>Vnější stěny</b>	-	-	3	3	-	-	-
Systémové zateplení ETICS	-	-	-	-	-	-	-
Podklad pod omítku	-	-	-	-	-	-	-
Vkládaná do bednění	-	-	3	3	-	-	-
Soklu jako ETICS	-	-	-	-	-	-	-
Podklad pod omítku soklu	-	-	-	-	-	-	-
Součást vrstveného panelu	-	-	2	2	-	-	-
<b>Podlahy</b>	-	-	-	-	-	-	-
Těžká plovoucí podlaha (akum.)	-	-	-	-	-	2	2
Těžká plovoucí podlaha	-	-	-	-	-	-	2
Lehká plovoucí podlaha (akum.)	--	-	-	-	-	-	1
Lehká plovoucí podlaha		-	-	-	-	-	1

### 8.2.3 Pěnové sklo

Pěnové sklo je nenasákavý tepelně-izolační materiál z plně recyklovaného obalového skla vyráběný v podobě šterku (součinitel tepelné vodivosti  $\lambda$  0,075 [W/m·K]) nebo desek ( $\lambda$  0,050 [W/m·K]).

Šterk z pěnového skla se používá pro násypy pod základové desky nebo podlahy, či kolem objektu v soklové části. Šterkem z pěnového skla je možné vyplňovat prostory dutin stropů, klenby a podobně.

Desky z pěnového skla se uplatňují jako tepelné izolanty v konstrukcích zatížených i nezatížených plochých střeách, ve fasádních provětrávaných systémech a jako izolanty podlah. Speciální bloky z pěnového skla lze použít k přerušení tepelných mostů namáhaných tlakem, jedná se o založení nosných stěn (propojení tepelné izolace podlahy a fasády), založení fasádních přízdivek a další prostým tlakem namáhané detaily (v oblasti atik a podobně) [64].

### 8.3 Organické izolace

Organickými izolacemi (izolanty) se rozumí přírodní materiály pro izolování vhodné. Jedná se o relativně alternativní materiály běžně nepoužívané. Z hlediska celkové energetické bilance (množství vázané primární energie) jejich výroby a principů trvale udržitelného rozvoje však ekologicky velice výhodné. Významnou vlastností přírodních materiálů i je pozitivní vliv na lidské smysly i na zdravé životní prostředí a plná recyklovatelnost.

Mezi organické izolační materiály patří materiály přírodního, živočišného nebo rostlinného původu:

- len,
- konopí,
- korek,

- celulóza,
- ovčí vlna,
- rákos,
- seno a sláma.

Lnu setého (*Linum usitatissimum L.*), domácí, obnovitelné, v našich klimatických podmínkách od nepaměti pěstované rostliny, se používá v konstrukcích, které nejsou trvale odděleny od zemní vlhkosti. Izolační desky (označované značkami Termolen TID a IP) lze použít v konstrukcích, které na izolant nekladou nároky při zatížení v tlaku (vnější tepelná izolace stěn, izolace mezi krokveří). Dalšími tepelně-izolačními výrobky jsou prvky doplňkové izolace dutin a spár oken, dveří a stropů. Lněného granulátu lze využít jako násypu ve stropních konstrukcích.

Konopí (*Cannabis sativa L.*) je jednou z nejstarších kulturních plodin a jedním z klasicky obnovitelným dorůstajícím materiálem produkujícím koudel, pazdeří a olej. Konopné výrobky tepelně i zvukově izolují, propouští vodní páry, špatně hoří a jsou nepoživatelné pro hlodavce a hmyz. Používají se pro tepelnou izolaci podlah, stěnových konstrukcí a střešních pláštů.

Konopná vlákna lze využívat jako náhradu za minerální a skelné vaty. Konopné rohože se používají jako izolanty všech běžných stavebních konstrukcí. Podobně jako len, lze konopné provazce využít k utěšňování.

Prvním Českým výrobcem konopné izolace se v roce 2009 stala společnost CANABEST spol. s r. o. [65]. produkující tři modifikované rohože, použitelné jako tepelné izolace střeš a stropů (CANABEST BASIC), vnitřních a vnějších stěn z dřevěných panelů (CANABEST PLUS), fasád a podlah (CANABEST PANEL), tabulka 33.

**Tab. 33** Fyzikální vlastnosti a užití produktů CANABEST. [65]

Materiál	Součinitel tepelné Vodivosti	Objemová hmotnost	Výrobek	Použití
	$\lambda$ [W/m·K]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]		
Konopná rohož	0,042	24	BASIC	Střechy, stropy
CANABEST	0,040	36	PLUS	Podkroví, stěny
	0,041	100	PANEL	Fasády, podlahy

Korek je odumřelou kůrou korkového dubu (*Quercus suber*), který má schopnost ji regenerovat. Jedná se o obnovitelnou surovinu s dobrými tepelně-izolačními schopnostmi a s průměrnou schopností odolávat vlhkosti. Výrobky z korku mohou být v podobě homogenního korku nebo korkové drtě.

Desky z homogenního korku se používají na úpravu kontaktně izolovaných i provětrávaných fasád, použitelné jsou i jako izolace plochých a šikmých střeš.

Z korkové drtě, která je zatmelena do asfaltu, se vyrábí asfalto-korková plst' využitelná jako zvuková izolace dřevěných podlah a obložení.

Tepelná izolace z celulózových vláken, vyráběná z recyklací novinového papíru, dosahuje součinitele prostupu tepla  $\lambda$  0,039 [W/m·K] a je využitelná jako výplň mechanicky nezatížených stavebních dutin: stropní konstrukce, šikmé střechy, stěny s dřevěným rámem a podobně. Aplikuje se volným nafoukáním nebo volným nasypáním.



Tab. 34 Fyzikální vlastnosti a užití organických izolačních materiálů. [16]

Materiál	Součinitel tepelné vodivosti	Objemová hmotnost	Výrobek	Použití
	$\lambda$ [W/m·K]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]		
Len	0,040	20-40	Izolační desky Izolační plst' Okrajové pásy Těsnící pásy Granulát	Mech. nezat. kce Kročejeová izolace Těsnění dutin, spar Spáry oken a dveří Násyp dutin stropů
Konopí	0,040	20-25	Izolační rohože  Konopná drť Konopné pazdeří Těsnící pásy	Izolace stěn Izolace stropů Izolace střech Izolace podlah Izolace podlah Lehčená maltovina Spáry oken a dveří
Korek granulát desky	0,050 0,040	55-60 80-500	Izolační desky  Granulát	Izolace stěn Izolace stropů Izolace střech Izolační násypy
Ovčí vlna	0,040	20-25	Vlněná tkanina Izolační rohože  Izolační provazce Volná vlákna	Pod nášlap. Podlah Izolace stěn Izolace stropů Izolace střech Izolace podlah Izolace podlah Těsnění dutin, spar Těsnění dutin, spar
Rákos	0,045-0,055	190-225	Rákosové snopky	Střešní krytina
Sláma	0,052-0,080	90-110	Slaměné balíky	Nosné stěny Izolace stěn Izolace podlahy
Seno	0,040	30-65	Volně ložené seno	Izolace stropů

Ovčí vlna patří k obnovitelným přírodním materiálům. Ovčí vlna na sebe dokáže vázat značné množství vody (až 30% vlastní hmotnosti [66]) s minimálním dopadem na zhoršení tepelně-izolačních vlastností; pohlcená vlhkost je dále uvolňována v závislosti na aktuální vlhkosti interiéru, což napomáhá stabilizaci klimatických podmínek.

Ovčí vlna je trvale pružná, nehořlavá, neutrální a ekologicky neškodná.

Měkké desky s kolmým vláknem z ovčí vlny, izolační rohože a vlněné tkaniny se používají pro tepelnou izolaci šikmých střech, stropů a stěn.

Rákosová stébla se používají jako nosiče omítek, či (v podobě snopků) jako střešní krytina s druhotnou tepelně-izolační funkcí. Izolační desky ani rohože se z rákosu nevyrábí a samotný rákos není uplatňován jako tepelný izolant.

Sláma je surovina získávaná zpracováním obilovin. Dobře vysušená je zdravotně nezávadná, neobsahuje pyly. Uplatňuje se u stěnových systémů, jako nosný nebo výplňový prvek dřevěných skeletů. Základním stavebním prvkem je slaměný balík. V podlahách

nejnižších podlažích je možné slámu použít v případech, kdy nedochází ke kontaktu se zemí.

Slámu lze použít i jako tepelnou izolaci plochých střech, přičemž podkladní vrstvou musí být OSB desky s vyšším faktorem difúzního odporu s přetmelenými spoji tak, aby nedocházelo ke kondenzaci vodních par v izolantu.

Tepelně-izolační vrstvou ze sena lze opatřit podlahy nevyužívaných půdních prostor. Souhrn fyzikálních vlastností a možnosti užití organických izolací je uvedeno v tabulce 34.

## 9 PROJEKTOVÁ DOKUMENTACE PRO STANOVENÍ TEPELNĚ-TECHNICKÝCH VLASTNOSTÍ BUDOV

Projektová dokumentace je zpracována na dvou úrovních. V první části by měl být zdokumentován stávající (technický) stav budovy. Část druhá by měla být zpracována v návaznosti na zvolené technologické postupy zlepšující tepelně-technické vlastnosti budov a příslušné izolační materiály.

Projektová dokumentace je výchozím bodem pro stanovení nulové varianty modelu a slouží jako jeden ze základních podkladů pro modelování jednotlivých investičních variant.

Projektová dokumentace pro účely stanovení základních tepelně-technických vlastností budov musí obecně splňovat požadavky kladené na projektovou dokumentaci stavebních objektů pozemních staveb dle ČSN 01 3420: Výkresy pozemních staveb – kreslení výkresů stavební části [69].

Zpracovaná projektová dokumentace sestává z výkresové a textové části. Nedílnými součástmi výkresové dokumentace jsou půdorysy všech podlaží, svislé řezy v počtu podle složitosti a členitosti objektu a pohledy. Vzhledem k účelu lze projektovou dokumentaci zpracovat v relativně nízkém stupni podrobnosti v měřítku 1:100 s vynecháním detailů konstrukcí.

Rozsah výkresové části dokumentace odpovídá zjednodušeným stavebním výkresům s doplněným popisem. Jednotlivé výkresy charakterizují zejména obálku budovy (systémovou hranici mezi vytápěným a nevytápěným prostorem) jejími vnějšími rozměry, druhy použitých materiálů a jejich tepelně-technickými vlastnostmi. Konstrukce vnitřní je možné zanedbávat vzhledem k nulovému vlivu na tepelně-technické vlastnosti.

Textová část zahrnuje technickou zprávu, výpis skladeb konstrukcí obálky budovy a výpis výplní okenních a dveřních otvorů.

### 9.1 Výkresová část projektové dokumentace

Z výkresů půdorysů je bezpodmínečně nutné odečíst soustavu rozměrů vstupujících do výpočtů tepelně-technických vlastností: celkové půdorysné vnější rozměry tvořící systémovou hranici budovy, celkové půdorysné vnitřní rozměry objektu (rozměr mezi vnitřními líci obvodového ochlazovaného zdiva tvořícího obálku budovy, uvažované bez přerušení vnitřním zdivem) a s celkovými rozměry související tloušťky neprůhledných konstrukcí obálky budovy a rozměry otvorů v těchto konstrukcích.

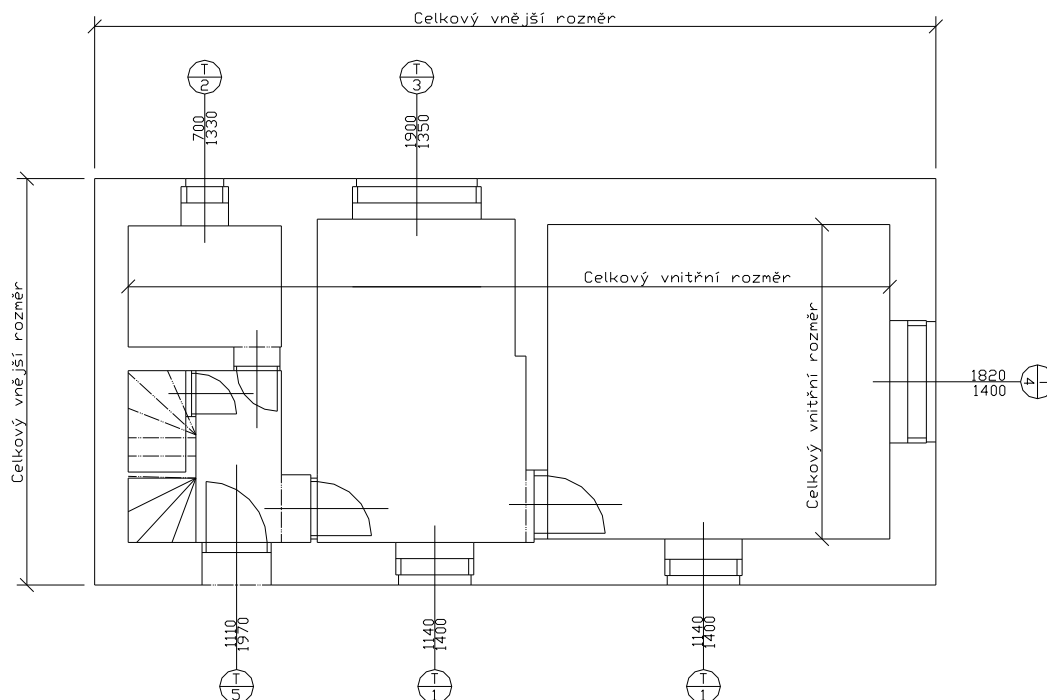
Rozměry otvorů se rozumí jejich výška a šířka. Přesnou polohu otvoru vzhledem k půdorysu a výšku vnitřního parapetu není nutné udávat, jelikož neovlivňují tepelně-technické vlastnosti. Otvory je možné kótovat na půdorysnou osu obdobně jako dveřní křídla. Velikost otvoru a s ní spojená velikost výplně otvoru je uvažována včetně rámu výplně.

Jednotlivé výplně otvorů je nutné opatřit popiskou, ke které jsou přímo na výkresech nebo v textové části dokumentace přiřazeny vlastnosti.

Řezy jsou určujícími výkresy pro stanovení skladeb konstrukcí obálky budovy, důležitými rozměry jsou světlé výšky místností a celková svislá délka systémové hranice určená z charakteru objektu (podsklepení, obytné podkroví a podobně).

Výkresy pohledů poskytují ucelený náhled na obálku budovy s možností vyznačení změny tloušťky nebo skladby konstrukcí, lineárních tepelných vazeb a podobně.

Z uvedených výkresů musí být patrná celková podlahová plocha budovy; plochy neprůsvitných konstrukcí, orientace budovy ke světovým stranám, nadmořská výška a poloha budovy, odkazy na výplně otvorů a skladby konstrukcí.



**Obr. 21.** Schematické zobrazení půdorysu včetně soustavy rozměrů [autor]

## 9.2 Textová část projektové dokumentace

Textová část projektové dokumentace zahrnuje technickou zprávu, výpis skladeb konstrukcí obálky budovy a výpis výplní okenních a dveřních otvorů. Výpisy skladeb a výpis výplní okenních otvorů může být fyzicky umístěn na některém z výkresů (vzhledem k využitelnosti výkresového prostoru je možné doplnit půdorys o výpis výplní okenních a dveřních otvorů, řezy lze doplnit o výpis skladeb konstrukcí obálky budovy).

Technická zpráva slouží jako doplňující komentář výkresové části projektové dokumentace, vzhledem k tepelně-technickým vlastnostem budov by měla (krom všeobecného popisu) obsahovat shrnutí stavebně-technického provedení objektu, technický stav použitých konstrukcí, riziko výskytu možných lineárních tepelných vazeb v souvislosti s použitými materiály.

Dalšími náležitostmi technické zprávy je shrnutí ploch neprůsvitných částí obálky budovy, jejich vlastností a definování rozhraní systémové hranice.

Technická zpráva by měla také obsahovat možná technologická řešení a doporučení pro zlepšení tepelně-technických vlastností budovy.

Součástí dokumentace jsou výpisy výplní okenních a dveřních otvorů, které obsahují označení otvorů, orientaci otvoru ke světovým stranám, plochu v [m<sup>2</sup>], součinitel prostupu tepla  $U_w$  [W/(m<sup>2</sup>K)], korekční součinitel rámu, korekční součinitel zastínění jinými budovami a lineární činitel prostupu tepla pro parapet.

Výpis skladeb neprůsvitných konstrukcí na systémové hranici (obálce) budovy obsahuje označení konstrukce, popis, tloušťku [m] a návrhovou hodnotu tepelné vodivosti  $\lambda$  [W/(m.K)].

**Tab. 35.** Příklad základních údajů o výplních okenních otvorů [autor]

Označení	Kusů/podlaží	Rozměry	Plocha	Orientace	$U_w$
		m	m <sup>2</sup>		W/(m <sup>2</sup> K)
T1	2	1,14x1,40	1,59	J	2,80
T2	1	0,70x1,33	0,93	SZ	2,80
T3	1	1,90x1,35	2,56	SZ	2,80
T3	1	1,82x1,40	2,54	JV	2,80

Na základě těchto výpisů je možné zpracovat tabulku součinitelů prostupu tepla (tabulka 36) a ploch konstrukcí použitou pro výpočet energetické bilance budovy.

**Tab. 36.** Příklad skladeb obvodových konstrukcí [autor]

Konstrukce	Skladba	Návrhová hodnota tepelné vodivosti $\lambda$
	Tloušťka	
1.NP	m	W/(mK)
<b>Obvodová stěna 1. NP</b>		
vnitřní vápenná omítka	0,025	0,57
zdivo z CP	0,630	1,75
vnější cementová omítka	0,025	0,65
<b>Podlaha na zemině</b>		
nášlapná vrstva	0,010	-
betonová mazanina nevyztužená	0,100	1,30
škvárový podsyp	0,300	0,25
rostlá zemina		-

## 10 NÁKLADY NA ZLEPŠOVÁNÍ TEPELNĚ-TECHNICKÝCH VLASTNOSTÍ BUDOV

Stavební práce související se zlepšováním tepelně-technických vlastností objektů jsou soustředovány kolem obálky budovy na rozhraní mezi vytápěnými a nevytápěnými prostory. Obálkou budovy se rozumí všechny konstrukce na systémové hranici celé budovy popsané v kapitole 3.

Pro potřebu ocenění popsaných konstrukcí je třeba vytvořit navazující členění, vycházející z rozdílnosti použitých technologií a materiálů.

Toto rozdělení je nutno vytvořit tak, aby bylo možné stanovit směrné ceny pro jednotlivé materiály, konstrukce či jejich části. Podrobné členění nejpoužívanějších technologií a materiálů je v návaznosti na kapitolu 5 zpracováno v tabulce 37.

Při samotném investičním rozhodování a modelování jednotlivých investičních variant je nutné určit ty části obálky budovy, jejichž tepelně-technické vlastnosti je nutné upravit, do jaké míry je toto možné a za jakých technických předpokladů. Aby byla plánovaná investice efektivní, je obecně nutné dodržet technickou a technologickou vyváženost na všech upravovaných částech obálky budovy.

**Tab. 37** Obecné technologické postupy zlepšující tepelně-technické vlastnosti budov [autor]

Část konstrukce obálky budovy	Rozlišení	Technologie	Specifikace
Střechy	Ploché	Jednoplášťové	PLUS DUO
		Dvouplášťové	
		Podhledy	
	Šikmé	Mezi krokve	z vnitřní strany z vnější strany foukaná
		Nad krokve	
		Pod krokve	
	Kombinace		
Stropy		Shora	
		Mezi trámy	vložená foukaná
		Podhledy	
Stěny		KZS	
		PZS	
		Předstěny	
		Vnitřní izolace	
Podlahy		Při chybějící podlahové desce	
		Na podlahovou desku	
Výplně otvorů		Výměna	Dřevěná Plastová Hliníková Kombinace mat.
		Renovace	

Podle definovaného členění jednotlivých částí obálky budovy je možné pro každou její dílčí část zvolit a navrhnout specifickou konstrukci zlepšující tepelně-technické vlastnosti objektu (kapitola 5). Identifikovanému řešení je možné přiřadit odpovídající technologii (montážní položku), použitý izolační materiál a ostatní, s technologickým řešením souvisejí náklady. Dále je nutné stanovit celkové náklady a tepelně-technické vlastnosti nových konstrukcí.

V rámci modelování investičních variant je nutné náklady (přepočtené na měrnou jednotku) rozdělit na:

- náklady na montáž (zvolenou technologii),
- náklady na izolační materiál,
- ostatní související náklady.

Náklady na montáž zahrnují přímé a nepřímé náklady (a z pohledu dodavatele jsou dále navýšeny o zisk), lze je stanovit na základě znalosti směrných cen (například s využitím databáze ÚRS) podle třídění stavebních konstrukcí a prací (TSKP)<sup>6</sup> jako náklady na příslušnou montážní položku. Náklady na montáž je možné stanovit také pomocí individuální kalkulace, ovšem se zvýšeným rizikem chybného či nepřesného výpočtu.

Z důvodu nutné materiálové specifikace je vhodné z nákladů na technologie (montážní položky) vyčlenit náklad na izolační materiál, který je závislý na použitém materiálu a jeho tloušťce. Po této úpravě jsou náklady na montáž vždy totožné pro různé tloušťky izolačních desek nebo se liší pouze zanedbatelně. Náklady na izolační materiál dále kalkulačně neovlivňují náklady na technologie a proto je možné tyto náklady stanovovat jak pomocí směrných cen, tak také podle cen individuálně sjednaných, dostupných na trhu.

Náklad na izolační materiál je vhodné vyčlenit z nákladů na technologie také z hlediska posouzení poměru stanovených celkových nákladů na měrnou jednotku konstrukce k nákladům na izolační materiál, přičemž poměr celkových nákladů k nákladům na izolační materiál roste s rostoucí tloušťkou izolantu. Na základě takto stanoveného poměrového ukazatele je možné vyloučit neefektivní modelovaná řešení nebo naopak vybrat řešení efektivní.

Ostatními souvisejícími náklady se rozumí další nutné náklady vznikající v přímé návaznosti na vybrané technologie a lišící se podle části upravované obálky budovy. Jedná se o náklady například spojené s nutností zbudování lešeňového systému. U svislých stěn je do těchto nákladů zahrnuta například konečná úprava fasády (penetrace, probarvená omítková směs, lešení a příslušný přesun hmot). Náklady na ostatní související konstrukce se s ohledem na použitý izolační materiál nemění. Přesun hmot je nutné zohlednit procentuálně. Tonážní hodnoty montážních položek a materiálů nemusí být vždy k dispozici.

Vzhledem k variabilitě ostatních nákladů je nutno na základě použité technologie sestavit veškeré v úvahu připadající náklady a na základě specifických vlastností upravované části obálky budovy vybrat pouze takové, které nejlépe reprezentují prováděné práce a konstrukce.

Celkové náklady na konstrukce zlepšující tepelně-technické vlastnosti budov se stanoví jako součet nákladů na technologie (montážní položku bez izolantu), izolační materiál a součet jednotlivých dílčích ostatních nákladů.

Stanovené rozdělení celkových nákladů nejlépe odpovídá následnému modelování nákladů jednotlivých investičních variant projektů zlepšujících tepelně-technické vlastnosti objektů.

Popsaný princip stanovování nákladů je možné využít pro modelování nákladů všech částí obálky budovy s výjimkou dodávky a montáže výplní okenních a dveřních otvorů.

---

<sup>6</sup> V disertační práci uváděné kody položek, jejich popis a jednotková cena vycházejí z databáze společnosti ÚRS Praha, a. s. Cenová úroveň 2/2014.

## 10.1 Stanovení nákladů na zlepšování tepelně-technických vlastností obálky budovy

Náklady na zlepšování tepelně-technických vlastností obálky budovy jsou rozděleny podle výše zmíněných pravidel. Izolant, podobně jako ostatní materiály není specifikován. Popis konstrukcí a prací je doplněn o kód TSKP.

### 10.1.1 Střešní konstrukce

#### Ploché střechy

Náklady na zlepšení tepelně-technických vlastností jednoplášťových plochých střech lze rozdělit podle nejpoužívanějších technologií uvedených v kapitole 5.1.1. Specifikovanou tepelnou izolaci lze celoplošně či bodově lepit (v případě střechy PLUS) nebo volně pokládat (střechy DUO) na svrchní hydroizolační vrstvu střešního pláště.

Ostatní související náklady zahrnují zejména opravu stávajícího střešního pláště (svrchní hydroizolační vrstvy, tj. zajištění parotěsnosti a rovinnosti), provedení vrchní hydroizolační vrstvy, provedení případného přetížení a provedení detailů (napojení na ostatní konstrukce, oplechování).

V případech, kdy již stávající izolační souvrství skladby ploché střechy nevyhovuje, je nutné přistoupit ke kompletní rekonstrukci střešního pláště a k uvedeným položkám přidat i demontáž daných vrstev.

Způsob sestavení nákladů a typické náklady sanace jednoplášťových střech PLUS jsou shrnuty v tabulce 38 v návaznosti na skladbu podle obrázku 5.

Způsob sestavení nákladů a typické náklady sanace jednoplášťových střech DUO jsou shrnuty v tabulce 39 v návaznosti na skladbu podle obrázku 5.

**Tab. 38** Způsob sestavení nákladů pro ploché střechy jednoplášťové PLUS [autor, databáze ÚRS Praha, a. s.]

Část obálky budovy		Plochá střecha		
Technologické provedení		Plochá střecha jednoplášťová		
Technologické úpravy tepelně-technických vlastností		Plochá střecha jednoplášťová PLUS		
Náklady				
Technologie		Izolant	Ostatní související	
Popis	Kód TSKP		Popis	Kód TSKP
Tepelná izolace lepená			Údržba povlakové krytiny	712 310 902
za horka celoplošně 1 vrstva	713 141 111	dle spec.	Provedení penetrace lakem	712 311 101
za horka bodově 1 vrstva	713 141 121	dle spec.	Materiál ve specifikaci	
Tepelná izolace lepená			Provedení asfalt. krytiny přitav.	712 341 559
za studena celoplošně 1 vrstva	713 141 131	dle spec.	Materiál ve specifikaci	
za studena bodově 1 vrstva	713 141 135	dle spec.		



**Tab. 39** Způsob sestavení nákladů pro ploché střechy jednoplášťové DUO [autor, databáze ÚRS Praha, a. s.]

Část obálky budovy		<b>Plochá střecha</b>		
Technologické provedení		<b>Plochá střecha jednoplášťová</b>		
Technologické úpravy tepelně-technických vlastností		<b>Plochá střecha jednoplášťová DUO</b>		
Náklady				
Technologie		Izolant	Ostatní související	
Popis	Kód TSKP		Popis	Kód TSKP
Tepelná izolace lepená			Údržba povlakové krytiny	712 310 902
kladená volně 1 vrstva	713 141 151	dle spec.	Provedení krytiny folií rozvinutí	712 363 001
			Materiál ve specifikaci	
			Provedení krytiny folií slepením	712 363 202
			Materiál ve specifikaci	
			Násyp z kameniva tl. 50 mm	712 391 382
			Materiál ve specifikaci	
			Příplatek ZKD 10 mm	712 391 482
			Materiál ve specifikaci	

U střech dvouplášťových je při stanovování nákladů nutné uvažovat rozebrání svrchního pláště a jeho zpětnou montáž, přičemž nelze předpokládat opětovné použití původního souvrství s výjimkou nosné konstrukce za předpokladu, že je tato tvořena nepoškozenými betonovými dílci. V případě dřevěné nosné konstrukce je nutné počítat s její kompletní výměnou.

Tepelná izolace je volně vkládána. Ostatní konstrukce dále tvoří (obdobně jako u střech jednoplášťových) napojení na navazující konstrukce a oplechování).

Způsob sestavení nákladů a typické náklady sanace dvouplášťových střech jsou shrnuty v tabulce 40.

**Tab. 40** Způsob sestavení nákladů pro ploché střechy dvouplášťové [autor, databáze ÚRS Praha, a. s.]

Část obálky budovy		<b>Plochá střecha</b>		
Technologické provedení		<b>Plochá střecha dvouplášťová</b>		
Technologické úpravy tepelně-technických vlastností		<b>Plochá střecha dvouplášťová - vložení izolantu</b>		
Náklady				
Technologie		Izolant	Ostatní související	
Popis	Kód TSKP		Popis	Kód TSKP
Tepelná izolace lepená			Odstranění povlakové krytiny	712 300 833
kladená volně 1 vrstva	713 141 151	dle spec.	Demontáž a zpět. montáž panelů	411 123 132
			Odstranění tepelné izolace stropů	713 110 813
			Překrytí izol. pásem (parotěsná)	713 191 121
			Provedení penetrace lakem	712 311 101
			Materiál ve specifikaci	
			Provedení asfalt. krytiny přitav.	712 341 559
			Materiál ve specifikaci	

Izolaci plochých střech z interiérové strany lze provést pomocí podhledů. Nosná konstrukce může být tvořena dřevěným nebo ocelovým roštem, do kterého je vkládán izolant. Pohledová konstrukce je sádkartonová nebo dřevěná. Souvrství podhledových konstrukcí je

opatřeno parotěsnou zábranou napojenou na obvodové konstrukce. Finální povrchová úprava je zajištěna malbou či lakováním podle charakteru podhledu.

Vzhledem k počtu možných kombinací nosných vrstev a opláštění sádrokartonovými deskami je třeba ocenit montáž nosné konstrukce odděleně od specifikace opláštění.

Způsob sestavení nákladů a typické náklady sádrokartonových podhledů jsou shrnuty v tabulce 41.

**Tab. 41** Způsob sestavení nákladů pro ploché střechy, SDK podhled [autor, databáze ÚRS Praha, a. s.]

Část obálky budovy		<b>Plochá střecha</b>		
Technologické provedení		<b>Plochá střecha podhled</b>		
Technologické úpravy tepelně-technických vlastností		<b>Plochá střecha SDK podhled</b>		
Náklady				
Technologie		Izolant	Ostatní související	
Popis	Kód TSKP		Popis	Kód TSKP
Montáž tepelné izolace 1 vrstva	763 131 752	dle spec.	Podhled SDK dřev. spodní kce	763 131 ...
			Materiál ve spec. (SDK deska)	
			Podhled SDK ocel. spodní kce	763 131 ...
			Materiál ve spec. (SDK deska)	
			Napojení na obvodové kce	763 131 713
			Montáž parotěsné zábrany	763 131 751
			Materiál ve specifikaci	

### Šikmé střechy

Náklady na konstrukce spojené s vkládáním izolantu mezi krokve jsou závislé na směru jeho vkládání. Náklady na ostatní konstrukce v případech, kdy je izolant vkládán z vnější strany sestávají z případné demontáže a zpětné montáže střešní krytiny a podstřešní folie. Pokud je izolant vkládán zesponu, je nezřídka třeba demontovat podhledové konstrukce (obklad deskami SDK nebo dřevěnými). Podrobný technologický postup je popsán v kapitole 5.1.2.

Způsob sestavení nákladů a typické náklady na šikmých střechách vložím izolantu mezi krokve zesponu jsou shrnuty v tabulce 42 v návaznosti na obecnou skladbu podle obrázku 8.

**Tab. 42** Způsob sestavení nákladů pro šikmé střechy - izolant zesponu [autor, databáze ÚRS Praha, a. s.]

Část obálky budovy		<b>Šikmá střecha</b>		
Technologické provedení		<b>Vložení izolace mezi krokve</b>		
Technologické úpravy tepelně-technických vlastností		<b>Vložení izolace mezi krokve zesponu</b>		
Náklady				
Technologie		Izolant	Ostatní související	
Popis	Kód TSKP		Popis	Kód TSKP
Montáž tep. izolace mezi krokve	713 151 111	dle spec.	Demontáž obkladu SDK na dřev.	763 164 811
			Demont obkladu SDK na ocel.	763 163 821
			Montáž parotěsné zábrany	763 131 751
			Materiál ve specifikaci	
			Montáž desek SDK podkroví	763 161 785
			Materiál ve specifikaci	

Při montážích tepelné izolace nad krokve je nutné demontovat krytinu a laťování, vhodně upevnit izolant (podle jedné z certifikovaných technologií) a vytvořit nové podstřešní vrstvy.

Opětovná montáž krytiny je provedena na nové laťování. Pro montáž je možné zvolit dvojí technologii: nadkroevní zateplení TOPROCK (výrobce a dodavatel ROCKWOOL) a nadkroevní systém společnosti ISOVER.

Rekapitulace nákladů a typické náklady jsou shrnuty v tabulce 43 v návaznosti na obecnou skladbu podle obrázku 9 (technologie ISOVER).

**Tab. 43** Způsob sestavení nákladů pro šikmé střechy - nadkroevní izolace [autor, databáze ÚRS Praha, a. s.]

Část obálky budovy		Šikmá střecha		
Technologické provedení		Vložení izolace nad krokve		
Technologické úpravy tepelně-technických vlastností		Vložení izolace nad krokve		
Náklady				
Technologie		Izolant	Ostatní související	
Popis	Kód TSKP		Popis	Kód TSKP
Mtž tep. izolace tech. TOPROCK	bez kódu	dle spec.	Demontáž krytiny	dle spec.
nebo:			Demontáž laťování	762342812
Montáž izolace tepelné nad krokve			Demontáž bednění z prken	762341811
sklon střechy do 30 st.	713151131	dle spec.	Montáž parotěsné zábrany	765901291
sklon střechy od 30 do 45 st.	713151132	dle spec.	Materiál ve specifikaci	
sklon střechy nad 65 st.	713151133	dle spec.	Zarkytí šikmých střech folií	765901191
			Materiál ve specifikaci	
			Montáž laťování	762342214
			Materiál ve specifikaci	
			Montáž kontralatí	762342441
			Materiál ve specifikaci	
			Montáž krytiny	dle spec.

Technologie montáže izolace pod krokve předpokládá zejména montáž izolantu, parotěsné zábrany a konstrukce podhledu.

Způsob sestavení nákladů a typické náklady na šikmých střechách vložím izolantu pod krokve zespodu jsou shrnuty v tabulce 44 v návaznosti na obecnou skladbu podle obrázku 10.

Samostatnou problematiku tvoří kombinace výše uvedených technologických postupů. Náklady pro tento způsob se dají vyjádřit výběrem vhodných nákladových položek uvedených způsobů. Jedná se zejména o kombinaci podkroevní a mezikroevní izolace, při které je možno vycházet z konstrukcí pro podkroevní izolování a připočíst náklady na montáž a izolant vkládaný mezi krokve.

Vzhledem k široké škále střešních krytin a jejich nulovému vlivu na výsledné tepelně-technické vlastnosti konstrukce je lépe tyto po přepočtení nákladů na 1 m<sup>2</sup> zadávat ručně.

**Tab. 44** Způsob sestavení nákladů pro šikmé střechy - podkrokovní izolace [autor, databáze ÚRS Praha, a. s.]

Část obálky budovy		<b>Šikmá střecha</b>		
Technologické provedení		<b>Vložení izolace pod krokve</b>		
Technologické úpravy tepelně-technických vlastností		<b>Vložení izolace pod krokve</b>		
Náklady				
Technologie		Izolant	Ostatní související	
Popis	Kód TSKP		Popis	Kód TSKP
Mtž izolace tep. střech pod krokve	713151121	dle spec.	Montáž parotěsné zábrany	765901291
			Materiál ve specifikaci	
			Montáž dřevěné nosné kce	763131611
			Materiál ve specifikaci	
			Montáž ocelové nosné kce	
			dvouvrstvé profily CD, UD	763131612
			jednovrstvé profily CD, UD	763131613
			Materiál ve specifikaci	
			Montáž desek SDK jednovrstvé	763131622
			Materiál ve specifikaci	
			Montáž desek SDK dvouvrstvé	763131624
			Materiál ve specifikaci	

#### 10.1.2 Stropní konstrukce

Technologicky nejjednodušším způsobem úpravy tepelně-technických vlastností stropních konstrukcí nad vytápěným prostorem je jejich překrytí tepelnou izolací shora. Ostatní konstrukce jsou reprezentovány zejména provedením paropropustné izolační vrstvy při horním líci izolace tepelné. Způsob sestavení nákladů a typické náklady jsou shrnuty v tabulce 45.

**Tab. 45** Způsob sestavení nákladů pro stropy izolované svrchu [autor, databáze ÚRS Praha, a. s.]

Část obálky budovy		<b>Strop nad vytápěnou místností</b>		
Technologické provedení		<b>Položení izolace volně shora</b>		
Technologické úpravy tepelně-technických vlastností		<b>Položení izolace volně shora</b>		
Náklady				
Technologie		Izolant	Ostatní související	
Popis	Kód TSKP		Popis	Kód TSKP
Mtž izolace tep. stropů volně	713111111	dle spec.	Montáž hydroizolační folie	765901191
			Materiál ve specifikaci	

V případech stropních konstrukcí se vzduchovou dutinou (dřevěné trámové polospalné stropy) je možné tepelnou izolaci aplikovat vyplněním dutiny zafoukáním minerálních či celulózových vláken. Ostatní náklady souvisí především s vybouráním přístupových otvorů a jejich zapravením. Zvláštní technologickou možností je i zásyp dutiny izolační hmotou, vzhledem k nutnosti demontáže celého záklopu se však u rekonstrukcí téměř nepoužívá. Způsob sestavení nákladů a typické náklady jsou shrnuty v tabulce 46 a vychází z obecné skladby vyobrazené na obrázku 11.

**Tab. 46** Způsob sestavení nákladů pro stropy izolované zafoukáním [autor, databáze ÚRS Praha, a. s.]

Část obálky budovy		<b>Strop nad vytápěnou místností</b>		
Technologické provedení		<b>Foukání izolace do stropní dutiny</b>		
Technologické úpravy tepelně-technických vlastností		<b>Foukání minerál. nebo celulóz. hmoty</b>		
Náklady				
Technologie		Izolant	Ostatní související	
Popis	Kód TSKP		Popis	Kód TSKP
Mtž foukané izolace z celulózy			Demontáž záklopu stropů	762811811
tloušťky do 100 mm	713112111	dle spec.	Montáž záklopu stropu	762811100
tloušťky nad 100 do 120 mm	713112112	dle spec.	Materiál ve specifikaci	
...				
nebo:				
Mtž foukané izolace z mine. vláken				
tloušťky do 100 mm	713112211	dle spec.		
tloušťky nad 100 do 120 mm	713112212	dle spec.		

Tepelná izolace podhledů je užívána u konstrukcí, které neumožňují aplikovat tepelnou izolaci svrchu, či zafoukáním do stropní dutiny. Náklady na podhledy určuje zejména nosná konstrukce podhledu, obklad podhledu a parotěsná zábrana. Náklady na tepelné izolování podhledů stropů jsou shodné s náklady podhledů plochých střech popsanych v kapitole 8.1.1.

### 10.1.3 Obvodové stěny

Náklady při zlepšování tepelně-technických vlastností obvodových stěn se liší pouze specifikací a tloušťkami použitých izolantů. Náklady na technologii mírně rostou s rostoucí tloušťkou izolantů.

Ostatní související náklady obvodových stěn jsou shodné pro všechny používané technologie, liší se pouze ve specifikaci finální (fasádní) vrstvy kontaktních či provětrávaných systémů. Specifickou součástí ostatních nákladů jsou systémové lišty. Tyto náklady se dají stanovit z výkazu výměr a zadat přímo. Přepočítání systémových lišt pomocí agregovaných položek není vhodné a celkové náklady tak mohou být zkresleny.

Povaha technologických úprav obvodových stěn nezřídka vyžaduje použití lešení. Dále se před aplikací omítkových směsí předpokládá zakrytí výplní otvorů fólií.

**Tab. 47** Způsob sestavení nákladů pro PZS [autor, databáze ÚRS Praha, a. s.]

Část obálky budovy		<b>Obvodová stěna</b>		
Technologické provedení		<b>Provětrávaný zateplovací systém</b>		
Technologické úpravy tepelně-technických vlastností		<b>Obklad z izolačních desek minerálních</b>		
Náklady				
Technologie		Izolant	Ostatní související	
Popis	Kód TSKP		Popis	Kód TSKP
PZS vkládaná izolace			DTTO tabulka 48	
tloušťky do 40 mm	622261151			
tloušťky do 80 mm	622261152			
tloušťky do 120 mm	622261153			
...				

V tabulkách 47 a 48 jsou sestaveny náklady provětrávaných a kontaktních zateplovacích systémů z polystyrénu, minerálních desek s podélnou orientací vláken a minerálních desek s kolmou orientací vláken.

**Tab. 48** Způsob sestavení nákladů pro kontaktní zateplovacích systémů [autor, databáze ÚRS Praha, a. s.]

Část obálky budovy		Obvodová stěna		
Technologické provedení		Kontaktní zateplovací systém		
Technologické úpravy tepelně-technických vlastností		Obklad z izolačních desek PS a minerálních		
Náklady				
Technologie		Izolant	Ostatní související	
Popis	Kód TSKP		Popis	Kód TSKP
Zateplení stěn PS desky			Montáž lišt základacích	622252001
tloušťky do 40 mm	622211001	dle spec.	Materiál ve specifikaci	
tloušťky do 80 mm	622211011	dle spec.	Montáž lišt stěnových	622252002
tloušťky do 120 mm	622211021	dle spec.	Materiál ve specifikaci	
...			Omítka minerální stěn	
nebo:			tloušťky 1 mm	622381001
Zateplení stěn min. desky podel.			tloušťky 2 mm	622381011
tloušťky do 40 mm	622221001	dle spec.	tloušťky 3 mm	622381021
tloušťky do 80 mm	622221011	dle spec.	Omítka akrylátová stěn	
tloušťky do 120 mm	622221021	dle spec.	tloušťky 1 mm	622511001
...			tloušťky 2 mm	622511011
nebo:			tloušťky 3 mm	622511021
Zateplení stěn min. desky kolmo			Omítka silikátová stěn	
tloušťky do 40 mm	622221101	dle spec.	tloušťky 1 mm	622521001
tloušťky do 80 mm	622221111	dle spec.	tloušťky 2 mm	622521011
tloušťky do 120 mm	622221121	dle spec.	tloušťky 3 mm	622521021
...			Omítka silikonová stěn	
			tloušťky 1 mm	622531001
			tloušťky 2 mm	622531011
			tloušťky 3 mm	622531021
			Omítka silikonsilikátová stěn	
			tloušťky 1 mm	622541001
			tloušťky 2 mm	622541011
			tloušťky 3 mm	622541021
			Zakrytí výplní otvorů	619991021
			Montáž lešení lehkého	941111111
			nájemné lešení	941111211
			Demontáž lešení lehkého	941111811

#### 10.1.4 Podlahy

Při chybějící podlahové desce je nutné tuto doplnit, či zvolit takový technologický postup, při kterém bude tepelná izolace aplikována například násypem. Původní podlahové souvrství je nutné kompletně odstranit a v závislosti na výsledné světlé výšce místností navrhnout novou skladbu. Technické alternativy zlepšování tepelně-technických vlastností podlah jsou uvedeny v kapitole 5.4. V tabulce 49 jsou shrnuty náklady na vybourání stávajícího souvrství a doplnění souvrství nového.

V případech, kdy světlá výška obytných místností umožňuje navýšení souvrství podlah (za podmínky vhodného podkladu), je možné zlepšit tepelně-technické vlastnosti podlahy

doplněním nového souvrství podlahy v obecné skladbě: tepelná izolace, roznášecí podlahová vrstva a vrstva nášlapná. V tabulce 50 jsou shrnuty náklady na doplnění nového podlahového souvrství.

#### **10.1.5 Výplně otvorů**

Sestavení nákladů na dodávku a montáž výplní otvorů je specifické natolik, že je nelze rozdělit podobně jako u ostatních částí obálky budovy, jelikož neexistuje spolehlivá a kompletní databáze cen oken a dveří. Náklady lze nejlépe a nejpřesněji určit pomocí cenové nabídky zpracované oslovenými dodavateli a přepočítat je na vhodnou měrnou jednotku, například  $m^2$  plochy výplní okenních či dveřních otvorů, výrobce výplní otvorů garantuje součinem prostupu tepla skleněných výplní i součinitelem prostupu tepla kompletní konstrukce.

## 11 METODICKÝ POSTUP ŘEŠENÍ PROBLÉMU MODELOVÉ ÚLOHY

### 11.1 Teoretické vymezení modelu – fáze tvorby modelu

Tvorba modelu modelové úlohy projektů zlepšujících tepelně-technické vlastnosti budov vychází z technických, tepelně-technických a fyzikálních vlastností budov a stavebních konstrukcí. Legislativní a technické normy je nutné zohlednit do té míry, aby výsledná modelová řešení úloh s těmito předpisy zcela korespondovala. Ekonomické hledisko a efektivita modelových variant vychází z porovnání nákladů jednotlivých investičních variant a úspor v nákladech na provoz budovy v horizontu předpokládaného životního cyklu budovy.

Model je jednoznačně vymezen:

- legislativními aspekty problematiky, v souladu s:
  - směrnici Evropského parlamentu a Rady 2010/31/ES (PENB II),
  - zákonem č. 183/2006 Sb., o územním plánování a stavebním řádu,
  - zákonem č. 406/2000 Sb., o hospodaření energií,
  - vyhláškou č. 78/2013 Sb., o energetické náročnosti budov
- tepelně-technickými národními normami a výpočtovými metodami:
  - ČSN 73 0540 Tepelná ochrana budov,
  - ČSN EN ISO 10077 Tepelné chování oken, dveří a okenic
  - ČSN EN ISO 13370 Přenos tepla se zeminou,
  - ČSN EN ISO 13789 Měrná ztráta prostupem tepla,
  - ČSN EN ISO 13790 Výpočet potřeby tepla na vytápění,
- technologickými aspekty, použitelností vybrané technologie,
- normovanými stavebními konstrukcemi a pracemi se směrnými náklady:
  - třídíkem stavebních konstrukcí s prací (TSKP),
  - aktuální cenovou soustavou dle společnosti ÚRS Praha a. s.,
- ekonomickým zohledněním finančních toků:
  - investičních nákladů na zlepšení tepelně-technických vlastností,
  - úspor v provozu budovy,
- předpokládanou délkou provozní fáze životního cyklu budovy.

Modelované varianty musí odpovídat všem uvedeným omezujícím skutečnostem. Vybranou investiční variantou je poté varianta za daných podmínek ekonomicky nejefektivnější (nákladově optimální).

### 11.2 Zadávané vstupní parametry nulové varianty

První zadávané vstupní parametry modelu vychází z nulové investiční varianty, ze stávajícího stavu dále modelovaného objektu.

Vkládanými hodnotami jsou technické parametry objektu: plošné rozměry konstrukcí rozdělené podle obálky budovy definované v úvodu kapitoly 3. Způsob měření odpovídá obálkové metodě výpočtu (hranice vytápěné, posuzované zóny jsou patrné v příloze 1). Obecně se vždy jedná o vnější půdorysné rozměry u podlah, stropů i obvodových stěn. Objem budovy se stanovuje z celkových vnitřních rozměrů bez odečtu vnitřních nosných stěn či příček. Rozměry výplní okenních a dveřních rozměrů se rozumí kótované rozměry otvorů podle projektové dokumentace.

Základní vkládanou tepelně-technickou veličinou je součinitel prostupu tepla. Zde je možné omezit se pouze na zadání finální hodnoty součinitele prostupu tepla stávajících konstrukcí a jejich plošný rozměr, odpadá tak zdlouhavé zadávání vstupních hodnot:



součinitele tepelné vodivosti každého materiálu skladby konstrukce obálky budovy a tloušťky těchto konstrukcí.

U výplní okenních a dveřních otvorů je dále nutné zadat i vybrané fyzikální vlastnosti (propustnost, rozměr rámu, průvzdušnost).

Výpočet finální hodnoty součinitele prostupu tepla lze zjistit na základě projektové dokumentace, vždy je však třeba kontrolovat, zda je hledaná hodnota upravena o tepelné odpory při přestupu tepla na vnitřní a vnější straně. Je také třeba zohlednit vliv tepelných mostů.

Ideálním podkladem pro vkládání základních charakteristik je výstup některého z výpočetních softwarů, například „PROTECH: přehled konstrukcí“ (viz příloha 2).

Pro výpočet tepelného toku (ztráty) prostupem tepla  $Q_T$  [MJ] je nutné zadat:

- vnitřní výpočtovou teplotu,
- podlahovou plochu,
- vnitřní objem.

Další obvyklé vstupní veličiny není třeba zadávat, jelikož se model omezuje pouze na výpočet tepelných ztrát prostupem, předpokládá konstantní tepelné ztráty větráním a celkové tepelné zisky. Tyto veličiny zůstávají u všech modelovaných variant neměnné a výpočet proto neovlivní.<sup>7</sup>

Nezohledněné tepelné ztráty a tepelné zisky je však nutné do výpočtů přidat opět s pomocí výstupů některého z výpočetních softwarů, například „PROTECH: výpočet potřeby a měrné potřeby tepla na vytápění“.

Výpočet potřeby tepla  $Q_{dem, H}$  [MJ] a měrné potřeby tepla na vytápění EPA [kWh/m<sup>2</sup>·a] je podmíněn právě zadáním nezohledněných tepelných ztrát a tepelných zisků.

### 11.3 Postup výpočtu

Po zadání všech potřebných vstupních parametrů je model schopen provádět výpočet hledající za daných podmínek ideální, nejefektivnější investiční variantu.

Výpočet pro nulovou variantu probíhá v několika na sebe navazujících sekvencích na základě souhrnu konstrukcí obálky budovy a jejich tepelně-technických vlastností. Dílčí vypočtenou hodnotou je – na základě obecné závislosti ploch konstrukcí obálky budovy  $A$  [m<sup>2</sup>] a součinitele prostupu tepla  $U$  [W/m<sup>2</sup>·K] – určen přímý prostup tepla konstrukcemi  $H_D$  [W/K] definovaný vztahy (29) a (30). A nepřímý prostup tepla (přes nevytápěné prostory a zeminu) definovaný vztahy (31) a (37). Výsledkem je měrný tepelný tok prostupem tepla  $H_T$ , který v součtu se ztrátou výměnou vzduchu  $H_V$  představuje celkovou měrnou tepelnou ztrátu budovy  $H$  [W/K].

V dalších krocích jsou stanoveny:

- celkový tepelný tok prostupem pro každý měsíc roku  $Q_T$  [MJ] (25),
- celkový záporný tepelný tok (tepelná ztráta)  $Q_L$  [MJ] (23),
- vnitřní tepelné zisky a upravené solární zisky,
- roční potřeba tepla na vytápění  $Q_{dem, H}$  [W/K] vztah (22).

Výslednou hodnotou první sekvence je – po zohlednění účinností topné soustavy - měrná potřeba tepla na vytápění EPA [kWh/m<sup>2</sup>·a], na jejímž základě lze budovu zařadit (po srovnání s referenční budovou) do některé z energetických tříd v souladu s vyhláškou č. 78/2013 Sb., o energetické náročnosti budov.

<sup>7</sup> Jedná se o:

- intenzitu výměny vzduchu, kterou je nutné ponechat na ideální úrovni, vzhledem k větrání objektu,
- počet projektovaných osob, na jejichž základě lze vypočítat dílčí vnitřní tepelné zisky.

Ukončením této fáze je zcela definována nulová varianta úlohy modelování.

Na základě stanovení měrné potřeby tepla a určení energetické třídy budovy je možné přikročit k zadávání technologických postupů zlepšujících tepelně-technické vlastnosti budov podle jednotlivých konstrukcí obálky budovy a začít tak modelovat investiční varianty. K technologickým postupům je dále nutné přiřadit vhodné izolanty. V tomto kroku je model zcela odkázan na zadání parametrů ze strany uživatele, což vyžaduje splnění požadavku technické způsobilosti a znalosti použitelných technologií nebo existenci projektové dokumentace.

Výsledkem této fáze modelování je výběr investičních variant, které plně odpovídají požadavkům vymezených kapitolou 9.1.

Dále je nutné zadat ekonomické parametry pro modelování: předpokládanou délku provozní fáze životního cyklu budovy a způsob (způsoby) vytápění objektu a druh (druhy) používaného paliva. Z těchto parametrů lze určit dílčí provozní náklady budovy (náklady na vytápění) nulové varianty a variant modelovaných. Lze také ohraničit interval posuzovaného investičního záměru (modelovaných variant).

Podkladem pro stanovení investičních nákladů spojených se zlepšováním tepelně-technických vlastností je určení jednotkové ceny konstrukcí a izolačních materiálů popsané v kapitole 7.

V konečné fázi posuzování variant je třeba veškeré náklady a úspory modelovat v předpokládaných finančních tocích (Cash Flow, CF) a na jejich základě vyhodnotit ukazatel nákladů životního cyklu budovy (Building Life Cycle Costs, BLCC).

Ukazatel BLCC posuzuje náklady stavby v přítomnosti, tedy v okamžiku hodnocení, proto musí být všechny budoucí náklady a/nebo úspory nákladů přepočteny na svoji současnou hodnotu. Výpočet ukazatele lze vyjádřit následujícím vztahem [51]:

$$BLCC = \sum_{i=0}^n \frac{1}{(1+r)^i} \sum_{j=1}^t C_{ij} \quad [CZK] \quad (48)$$

kde je:

$C_{ij}$  je  $j$ -tý náklad spojený s technickými parametry budovy v  $i$ -tém roce [CZK],  
 $i$  rok, ve kterém náklad vzniká,  
 $n$  délka životního cyklu v letech,  
 $r$  je diskontní sazba [%/100].

Optimální varianta by měla prokázat nejnižší náklady životního cyklu při vyvážení pořizovacích nákladů na jedné straně a tepelných úspor na straně druhé. V případě modelování není nutné hledat pouze variantu z ekonomického hlediska optimální, pro investiční rozhodování je nutné zohlednit nejen toto hledisko, ale také další hlediska, která v peněžních tocích vyjádřit nelze.

## 11.4 Fáze testování (ladění) modelu

### 11.4.1 Výběr vhodného reprezentanta

Pro ověření správnosti nastavených postupů modelu a pro první modelování úloh je nutné provést výběr vhodného reprezentanta: objektu, na kterém bude simulováno a vyhodnoceno zlepšení tepelně-technických vlastností podle všech nastavených parametrů a omezujících kritérií.

Výběr v hodného reprezentanta by měl proběhnout na základě stanovených požadavků hodnotících zejména [52]:

- společenskou poptávku,
- velikost a členitost objektu,
- multiplikovatelnost modelu,
- celospolečenské důsledky,
- zefektivnění investic v nepodnikatelské sféře,
- zohlednění životního cyklu budovy (stáří budovy, technický stav),
- dostupnost vhodné projektové dokumentace objektu.

Výběrem reprezentanta na základě společenské poptávky se rozumí výběr objektu s vysokou poptávkou po změnách tepelně-technických vlastností, s vysokou četností a ve standardním technologickém provedení. Vybraný objekt by měl umožnit modelování zlepšování tepelně-technických vlastností všech, či alespoň většiny součástí obálky budovy tak, aby prověřil správnou funkčnost modelu.

Multiplikovatelnost modelu musí být zaručena výběrem obvyklého typu objektu užívaného významnou částí společnosti.

Technický stav objektu reprezentanta, jeho stáří a předpokládaný způsob dalšího využití významně ovlivňují objednávku, technické řešení a rozsah změn zlepšujících tepelně-technické vlastnosti. Ke zvolenému reprezentantu musí existovat dostatečná dokumentace. Pro kontrolu modelovaných dat je také vhodné zajistit pro reprezentanta kompletní hodnocení tepelně-technických vlastností, nejlépe v podobě zpracovaného energetického štítku.

Vhodným reprezentantem je zejména takový objekt, jehož vstupní parametry zakládají předpoklad, že výsledkem modelování budou hodnoty potvrzující hypotézu práce i přes krajně nevhodné podmínky modelování. Například objekt, jenž je v souladu s vyhláškou č. 78/2013 Sb., o energetické náročnosti budov zařazen do energetické třídy „G“, jehož obálka budovy tvoří z velké části rozhraní mezi konstrukcí a volným prostorem (tedy dům samostatně stojící). A je vytápěn relativně nejlevnějším palivem (například palivové dřevo).

#### 11.4.2 Vyhodnocení současného stavu reprezentanta

Podle dostupné technické dokumentace vybraného reprezentanta je (podle kapitoly 8.2) nutné určit potřebné technické, tepelně-technické a ekonomické hodnoty následně srovnávané s hodnotami modelovaných variant:

- technické charakteristiky vstupující do tepelně-technických výpočtů,
- součinitel prostupu tepla  $U$  [ $W/m^2 \cdot K$ ] konstrukcí obálky budovy,
- prostup tepla obálkou budovy  $U_{em}$  [ $W/m^2 \cdot K$ ],
- potřebu tepla na vytápění  $Q_{dem,H}$  [MJ]
- celkovou roční měrou spotřebou energie EPA [ $kWh/m^2 \cdot a$ ],
- náklady na vytápění [CZK/topná sezona].

Vyhodnocen bude také technický stav objektu, možnosti dalšího využívání a předpokládaná délka využívání objektu. Popsaný současný stav bude stavem výchozím pro specifikaci nulové varianty modelovaného projektu.

Výpočet hodnoty nulové varianty, potřeby tepla na vytápění  $Q_{dem,H}$ , je z hlediska správnosti funkčnosti modelu nutné porovnat s ověřenou hodnotou vypočítanou v jednom ze softwarů používaných v oblasti tepelné techniky budov.

Posouzení současného stav reprezentanta by mělo potvrdit nebo vyvrátit jeho vhodnost pro modelování investičních variant podle zásad výběru uvedených v kapitole 8.4.1.

#### **11.4.3 Návrh technologických postupů zlepšujících tepelně-technické vlastnosti budovy**

Na základě konkrétních technických možností a posouzení stavu budovy (reprezentanta) je třeba zvolit technologické postupy zlepšující tepelně-technické vlastnosti konstrukcí obálky budovy. Pro modelované varianty je opět rozhodující pokrytí pokud možno celé obálky budovy, návrh technologií (popsaných v kapitole 5) je obecně nutné provést pro:

- podlahovou konstrukci,
- obvodové stěny,
- stropní konstrukce,
- střešní konstrukce,
- výplně okenních a dveřních otvorů.

S ohledem na technologické postupy umožní model pomocí konkrétních skutečností volit rozsah stavebních konstrukcí a prací bezpodmínečně nutných k uskutečnění investičního záměru. Dále (podle kapitoly 6) přiřadí uživatel z nabídky izolačních materiálů takové, které budou v souladu se zvolenými technologickými postupy a rozhodnutím uživatele.

#### **11.4.4 Stanovení nákladů**

Náklady na zlepšování tepelně-technických vlastností konstrukcí obálky budovy se podle kapitoly 8 stanoví jako součet nákladů na technologii (zabudování izolantu), nákladů na izolant a ostatních nákladů.

Pro modelování investičních variant je nutné zejména sestavit soupis ostatních nákladů, to je nákladů, které přímo souvisejí s celkovou úpravou části obálky budovy. Pro jednotlivé technologické postupy jsou sestaveny tabulky s nejčastějšími náklady členěnými podle třídění TSKP. Vzhledem k široké škále specifikovaných materiálů je vhodné tyto zadávat ručně. Pro všechny části je umožněno vkládání jiných, databází nepodchycených konstrukcí a prací, či vložení ceny úpravy jako celku, pokud je na základě cenové nabídky známa.

Modelovaná tloušťka izolantu se odvíjí od minimální tloušťky stanovené výpočtem a do modelu se přímo nezadá. Náklady na izolant se jako vstupní modelovaný parametr stanoví automaticky pro všechny tloušťky splňující technické a technologické požadavky.

Náklady jsou v první fázi modelování vyčísleny ve směrných cenách na základě databáze cen dle společnosti ÚRS Praha a. s. v aktuální cenové úrovni (2. Pololetí 2014). Následně jsou náklady, zejména vyčleněných materiálů, vyčísleny v cenách tržních, čímž, dle předpokladu dojde ke snížení nákladů.

#### **11.4.5 Vyhodnocení nejefektivnější varianty**

Hodnocení budovy před zahájením úprav tepelně-technických vlastností (nulové varianty) bude porovnáno s modelovanými vlastnostmi budovy po zvolených úpravách vyhodnocených po stránce:

- ekonomické (náklady spojené s životním cyklem objektu),
- ekologické (menší potřeba tepla pro vytápění),
- socio-ekonomické (zvýšený komfort bydlení, finanční úspora),
- celospolečenské (snížení produkce škodlivých látek).

Hlavními ekonomickými ukazateli hodnotícími efektivitu investice jsou doba návratnosti investice a náklady spojené s životním cyklem objektu a vnitřní výnosové procento (IRR). Obecně je preferována investice s nejkratší dobou návratnosti. V tomto specifickém případě

však nemusí být nejlépe hodnocená investiční alternativa z hlediska doby návratnosti také alternativou nejefektivnější, jelikož je třeba investiční varianty dále podmínit splněním technických a legislativních požadavků.

Porovnávají budou úpravami tepelně-technických vlastností snížené provozní náklady spojené s následnými náklady životního cyklu objektu, omezené dobou předpokládané životnosti do konce provozní fáze.

Rozhodujícími jsou i další parametry: ekologické dopady projektu, výsledné zlepšení tepelně-technických vlastností budovy.

Hodnoceny mohou být také socio-ekonomické ukazatele a ukazatele celospolečenské, vzhledem k rozsahu projektu. Výsledná změna tepelně-technických vlastností budovy se jednoznačně projeví úsporou finančních prostředků potřebných na vytápění, ale také úsporou dodávané a vyráběné energie a tím i nižší produkcí škodlivých látek vznikajících při výrobě energie.

Výsledkem je vyhodnocení nejefektivnější varianty z pohledu modelovaných vlastností a omezujících kritérií.

Hodnocení variant zle dále rozvinout při uvažování různých druhů financování, při použití vlastních zdrojů, případně zdrojů cizích. Zajímavým aspektem modelování mohou být také případné dosažitelné dotační tituly.

## 12 PŘÍPADOVÁ STUDIE

### 12.1 Výběr objektu – reprezentanta

Reprezentant byl vybrán na základě kritérií uvedených v kapitole 9.4.1. Z hlediska společenské poptávky se jedná o velice vhodný objekt: rodinný dům z poloviny 20. století vystavěný s využitím klasických technologických postupů s drobnými místními specifiky. Velikost objektu odpovídá dvougeneračnímu objektu se čtyřmi obytnými místnostmi a kompletním příslušenstvím. Projektová dokumentace stávajícího stavu objektu je součástí přílohy číslo 1 disertační práce.

Objekt lze popsat jako jednoduchý, bez výrazných prostorově členících prvků, což umožňuje provádět poměrně jednoduché výpočty vhodné pro ověření základních funkcí modelovaných úloh a jejich multiplikovatelnost na objekty obdobné, což je vhodné i ze celospolečenského hlediska. U reprezentanta absentují veškeré tepelně-izolační konstrukce, proto je možné modelovat zlepšení tepelně-technických vlastností napříč celou obálkou budovy.

Jedná se o soukromý objekt, což v prvních fázích neumožňuje modelování investic v nepodnikatelské sféře a jejich zefektivnění.

V rámci dalšího využití budovy se počítá s její kompletní rekonstrukcí a s celoročním obyváním po dobu minimálně 25 let.

### 12.2 Popis objektu, současný stav (nulová varianta)

Vybraný objekt č. p. 574 se nachází v údolí řeky Třebůvky na katastrálním území města Loštice, místní část Markrabka. Jedná se o samostatně stojící, dvoupodlažní, nepodsklepený rodinný dům obdélníkového tvaru s valbovou střechou. Z jihozápadní strany na rodinný dům přímo navazují hospodářská stavení. Vstup do objektu je možný přes nevytápěnou verandu.

Stáří objektu je odhadnuto na 80 let. Základové konstrukce jsou z lomového kamene skládaného na sucho. Hloubka založení kolísá mezi 700 – 900 mm pod upravený terén. Úroveň základové spáry se částečně nachází pod hladinou podzemní vody (hladina podzemní vody kolísá v závislosti na průtoku nedaleké řeky Třebůvky) Vodorovnou hydroizolační vrstvou tvoří živičné pásy ve skladbě podlah 1. NP. Vodorovná a svislá hydroizolace obvodového zdiva a zdiva vnitřního se na objektu nevyskytuje.

Nosné konstrukce jsou z cihel plných pálených zděných na maltu vápennou. Šířka obvodového zdiva se v 1. NP pohybuje v rozmezí od 575 do 705 mm, ve 2. NP v rozmezí od 520 do 530 mm. Vnitřní nosné zdivo je taktéž z cihel plných pálených zděných na maltu vápennou. Světlá výška 1. NP je 2700 mm, světlá výška 2. NP je 2450 mm.

Stropní konstrukce nad 1. NP i 2. NP tvoří jednoduché dřevěné polospalné trámové stropy se záklopem a podbitím z prken. Stropní konstrukce nad 2. NP je navíc opatřena hliněnou mazaninou v tloušťce 30 – 50 mm. Zhlaví stropních trámů je vetknuto do obvodového zdiva a obezděno. Železobetonové zpevňující věnce se na objektu nevyskytují.



**Obr.22** Reprezentativní objekt (jihovýchodní pohled)



**Obr.23** Reprezentativní objekt (severovýchodní pohled)

Podlaha 1. NP je tvořena betonovou mazaninou neznámé tloušťky. Vnitřní omítky jsou vápenné, omítky vnější jsou cementové („falešný břizolit“).

Konstrukce krovu je dřevěná hambálková bez použití kleštin. Střešní krytinu tvoří eternitové šablony přibíjené na celoplošné deskové bednění.

Výplně otvorů okenních tvoří dvojitá okenní křídla zasazená do kastlových rámců (jeden z okenních otvorů je osazen dvojitým špaletovým oknem). Dveře jsou dřevěné, osazené do tesařské zárubně opatřené obložkami.

Vytápění v zimním období je zajišťováno lokálními zdroji na tuhá paliva.

V současné době není objekt celoročně obýván, na základě plánované rekonstrukce je uvažováno s celoročním obýváním objektu. Minimální doba dalšího využívání objektu je plánována na cca 30 let.

## **12.3 Skladby konstrukcí obálky budovy**

### **12.3.1 Podlaha na terénu**

Podlahová konstrukce (skladba PDL1) přiléhající k zemině je provedena jako nevyztužená škváro-betonová mazanina. Násyp pod mazaninou je škvárový o odhadované tloušťce 300 mm. Nášlapné vrstvy podlahy tvoří (podle charakteru místností) linoleum či koberec. Tepelná izolace v podlahové skladbě chybí. Izolace proti vodě je provedena z živichých pásů typu „A“ prolévaných asfaltem.

### **12.3.2 Obvodové zdivo**

Obvodové zdivo je z cihel plných pálených vyzděných na maltu vápennou. Tloušťka zdiva v 1. NP kolísá v rozmezí od 680 mm do 600 mm (skladba SO1). Tloušťka zdiva 2. NP je cca 520 mm (skladba SO2). Vnitřní stěny jsou omítnuty omítkou vápennou tloušťky 25 mm. Vnější fasáda je vápenocementová tl. 25 až 35 mm. Překlady nad otvory jsou zaklenuty z cihel plných pálených nebo dřevěné.

Na jihovýchodní straně přiléhá k objektu uzavřené, nevytápěné zádveři. Tloušťka zdiva zádveří je 200 mm (skladba SO3).

Stav zdících prvků je zachovalý, celkové stáří cihel není možné přesně určit z důvodu jejich opětovného použití na popisovaném objektu. V závislosti na výšce založení objektu nejsou zdivo ani omítky vystaveny nadměrné vlhkosti způsobené vzlínáním zemní vlhkosti.

### **12.3.3 Výplně okenních a dveřních otvorů**

Výplně okenních otvorů tvoří dvojitá okenní křídla zasazená do dřevěných kastlových ráků (skladba OZ). Ostění a nadpraží je jedenkrát zalomené. Tloušťka okenních skel je 3 mm a osová vzdálenost křídel se pohybuje v rozmezí od 200 do 250 mm. Vstupní dveře jsou dřevěné, částečně prosklené, osazené do tesařské zárubně opatřené obložkami. Stav výplní otvorů je vzhledem k jejich neurčitému stáří zachovalý. Okenní rámy a křídla byly v loňském roce přetmeleny, obroušeny a nalakovány.

### **12.3.4 Stropní konstrukce nad 2. NP**

Stropní konstrukci oddělující 2. NP (vytápěný prostor) a nevytápěnou půdu tvoří dřevěný trámový strop se záklopem (skladba STR1). Podhled interiéru je proveden z prken opatřených vápennou omítkou provedenou na rákosové pletivo. Mezera mezi stropními trámy není vyplněna, výška trámů je 150 mm. Záklop stropu je dřevěný prkenný, přibíjený na sraz. Tloušťka prken podbití i záklopu je 20 mm. Nášlapnou vrstvu podlahy půdy tvoří hliněná mazanina přibližné tloušťky 40 mm.

## **12.4 Plocha konstrukcí obálky budovy**

Měření plošných a kubických rozměrů konstrukcí budovy reprezentanta vstupující do tepelně-technických výpočtů probíhá na základě obálkové metody výpočtu.

Podle projektové dokumentace (popsané v kapitole 7) jsou určeny celkové vnější, celkové vnitřní rozměry budovy a plošné rozměry konstrukcí. Přičemž půdorysný rozměr vnitřního zdiva a příček rozměry neovlivňuje. Kompletní projektová dokumentace stávajícího stavu (nulové investiční varianty) je přiložena jako příloha číslo 1 disertační práce.



**Tab. 49** Plošné rozměry konstrukcí obálky budovy reprezentanta [autor]

Označení kce	Název	Plocha		Odečet otvorů		Plocha cel.
		a	b	a	b	
		[m]	[m]	[m]	[m]	
<b>SO1</b>	<b>Obvodová stěna 1.NP</b>	6,00	2,90			17,40
		6,00	2,90			17,40
		12,40	2,90			35,96
		12,40	2,90			35,96
OZ1	Okno dřevěné			1,15	1,40	1,61
OZ1	Okno dřevěné			1,15	1,40	1,61
OZ3	Okno dřevěné			1,90	1,35	2,57
OZ4	Okno dřevěné			0,70	1,35	0,95
OZ6	Okno dřevěné			1,80	1,40	2,52
DO1	Dveře vstupní			1,00	2,00	2,00
zóna 3	Nevytápěné zádveří			3,10	2,60	8,06
						<b>87,41</b>
<b>SO2</b>	<b>Obvodová stěna 2.NP</b>	6,00	2,95			17,70
		6,00	2,95			17,70
		12,40	2,95			36,58
		12,40	2,95			36,58
OZ2	Okno dřevěné			1,60	1,55	2,48
OZ2	Okno dřevěné			1,60	1,55	2,48
OZ3	Okno dřevěné			1,90	1,35	2,57
OZ4	Okno dřevěné			0,70	1,35	0,95
OZ5	Okno dřevěné			0,60	1,45	0,87
OZ5	Okno dřevěné			0,60	1,45	0,87
DB1	Dveře balkonové			1,00	1,95	1,95
DB2	Dveře balkonové			0,80	2,25	1,80
						<b>94,60</b>
<b>SO3</b>	<b>Obvodová stěna zádveří (pomocná zóna 3)</b>	1,65	2,90			4,79
		1,65	2,90			4,79
		3,50	2,90			10,15
		3,50	2,90			10,15
OZ7	Okno dřevěné			1,05	1,20	1,26
OZ7	Okno dřevěné			1,05	1,20	1,26
OZ8	Okno dřevěné			0,60	1,20	0,72
OZ8	Okno dřevěné			0,60	1,20	0,72
DO1	Dveře vstupní			1,00	2,00	2,00
						<b>23,91</b>
PDL1	<b>Podlaha na zemině</b>	12,40	6,00			74,40
STR1	<b>Strop nad 2.NP</b>	12,40	6,00			74,40

Rozměry konstrukcí obálky budovy měřené podle projektové dokumentace jsou shrnuty v tabulce 49.

Dalšími parametry vstupující do tepelně-technických výpočtů, které lze získat přímo z projektové dokumentace, jsou zejména celkové plochy a celkové objemy vnitřního, vytápěného prostoru podle tabulky 50.

**Tab. 50** Vstupní parametry tepelně-technických výpočtů odečtené z projektové dokumentace [autor]

Ukazatel (popis)	Označení (vztah)	Jednotka	Vypočítaná hodnota
<b>Reprezentant</b>			
Celková plocha obálky budovy	A	[m <sup>2</sup> ]	364,50
Celková vnitřní podlahová plocha	Agross	[m <sup>2</sup> ]	109,42
Vnitřní objem	Vi	[m <sup>3</sup> ]	
Obestavěný objem vytápěného prostoru	Vc	[m <sup>3</sup> ]	435,80
Účinná tepelná kapacita vnitřního prostoru	C (46)	[Wh/K]	21 790,00

## 12.5 Tepelně-technické vlastnosti reprezentativního objektu

Stanovení stávajících tepelně-technických vlastností obálky budovy je pro kontrolu funkčnosti a správnosti modelu provedeno na základě výpočtů dle národních technických norem ČSN 73 0540 „Tepelná ochrana budov“ ČSN EN ISO 13790 „Energetická náročnost budov“ a s využitím kontroly v autorizovaném software PROTECH (příloha 2).

### 12.5.1 Součinitel prostupu tepla U konstrukcí obálky budovy

Jedním ze základních určovaných parametrů je součinitel prostupu tepla  $U$  [W/m<sup>2</sup>K] hodnotící tepelný tok prostupem tepla jednotlivými konstrukcemi podle nastavené úrovně. Součinitel prostupu tepla je přímo závislý na tepelně-izolačních schopnostech vrstev konstrukcí obálky budovy  $\lambda$  [W/m·K], na tloušťkách skladebných vrstev konstrukcí  $d$  [m] a stanoví se na základě vztahu (1). Jako základní charakteristika dále vstupuje do výpočtu měrné potřeby tepla na vytápění dle ČSN EN ISO 13790 „Energetická náročnost budov“.

Součinitele prostupu tepla  $U$  [W/m<sup>2</sup>K] jsou u reprezentanta určeny podle příslušnosti vyskytujících se konstrukcí k obálce budovy:

- stěna obvodová (SO1), 1.NP objektu,
- stěna obvodová (SO2), 2.NP objektu,
- stěna obvodová (SO3), 1.NP objektu (zádveří),
- podlaha na terénu (PDL1),
- stropní kce (STR1), nad 2.NP oddělující vytápěný a nevytápěný prostor,
- střešní konstrukce (SCH1), oddělující nevytápěný prostor a volné prostředí,
- střešní (stropní) konstrukce (SCH2), nad zádveřím.

Skladby jednotlivých konstrukcí, jejich tepelně-technické vlastnosti a označení v návaznosti na projektovou dokumentaci a výsledný součinitel tepla jsou rekapitulovány v tabulce 51.

Zohlednění bodových a plošných tepelných mostů je provedeno podle vztahu (3) pro konstrukce s běžnými tepelnými mosty podle tabulky 5, kde průměrná hodnota  $\Delta U_{tbk} = 0,1$  [W/m<sup>2</sup>K].

Zohlednění tepelných odporů při přestupu tepla na vnitřní  $R_{si}$  [m<sup>2</sup>·K/W] a vnější straně  $R_{se}$  [m<sup>2</sup>·K/W] je provedeno podle tabulky 4.

**Tab. 51** Vypočtené součinitele prostupu tepla U [W/m<sup>2</sup>K] konstrukcí obálky budovy reprezentanta [autor]

Označení kce	Skladba	d	$\lambda$	R	$U_{id}$	U
		[mm]	[W/m.K]	[m <sup>2</sup> K/W]	[W/m <sup>2</sup> K]	[W/m <sup>2</sup> K]
SO1	Oμίtka vápenná CP 290/140/65 Oμίtka vápenocementová	25	0,880	0,028		
		590	0,780	0,756		
		35	0,990	0,035		
		$\Sigma$	0,819			
					1,011	<b>1,110</b>
SO2	Oμίtka vápenná CP 290/140/65 Oμίtka vápenocementová	25	0,880	0,028		
		470	0,780	0,602		
		35	0,990	0,035		
		$\Sigma$	0,836			
					1,196	<b>1,296</b>
SO3	Oμίtka vápenná CP 290/140/65 Oμίtka vápenocementová	25	0,880	0,028		
		140	0,780	0,179		
		35	0,990	0,035		
		$\Sigma$	0,242			
					2,420	<b>2,520</b>
PDL1	Beton ze škváry Asfaltový pás Škvára ulehlá	120	0,470	0,255		
		3	0,210	0,014		
		300	0,210	1,429		
		$\Sigma$	1,868			
					0,540	<b>0,635</b>
STR1	Oμίtka vápenná Dřevo měkké kolmo k vlák. Vzduchová mezera Dřevo měkké kolmo k vlák. Beton ze škváry	25	0,700	0,036		
		20	0,150	0,133		
		150	-	0,160		
		20	0,173	0,116		
		40	0,470	0,085		
		$\Sigma$	0,747			
					1,338	<b>1,438</b>
SCH1	Dřevo měkké kolmo k vlák. Azbestocement	20	0,150	0,133		
		5	0,450	0,011		
		$\Sigma$	0,284			
					3,516	<b>3,616</b>
SCH2	Oμίtka vápenná Beton hutný Zinkový plech	20	0,888	0,023		
		140	1,230	0,114		
		1	113,000	0,000		
		$\Sigma$	0,276			
					3,619	<b>3,719</b>

Stávající hodnoty součinitelů prostupu tepla obálky budovy lze porovnat s hodnotami požadovanými a doporučenými podle normy ČSN 73 0540, dále s hodnotami doporučenými pro nízkoenergetické a pasivní objekty.

Z provedených výpočtů (podle shrnutí v tabulce 52) je patrné, že požadavek součinitele prostupu tepla není splněn pro žádnou z konstrukcí obálky budovy reprezentanta. Což znamená, že zlepšení tepelně-technických vlastností bude navrženo pro každou z nich na hodnotu menší nebo rovnu požadavku normy.

**Tab. 52** Srovnání hodnot součinitele prostupu tepla  $U$  [ $W/m^2K$ ] [autor]

Označení kce	Podlaha na terénu	Stěna		Okna a dveře		Střecha do 45°
Součinitel prostupu tepla $U$ [ $W/m^2K$ ]						
Pasivní standart	0,15	0,150 - 0,100		< 0,800		0,15 0 - 0,100
Nízkoenergetický	0,20	0,2		< 1,100		0,15
ČSN 73 0540		lehká	těžká	svislá	střešní	
Doporučení	0,30	0,20	0,25	1,20	1,10	0,16
<b>Požadavek</b>	<b>0,38</b>	<b>0,30</b>	<b>0,38</b>	<b>1,70</b>	<b>1,50</b>	<b>0,30</b>
<b>Reprezentant</b>	Podlaha na terénu	Stěna		Okna a dveře		Strop nad 2. NP
Označení skladby	PDL1	S01 (SO2)		OZ (DB)		STR1
	<b>0,635</b>	<b>1,110 (1,296)</b>		<b>2,40</b>		<b>1,438</b>
<b>Požadavek</b>	<b>Nesplněn</b>	<b>Nesplněn</b>		<b>Nesplněn</b>		<b>Nesplněn</b>

### 12.5.2 Prostup tepla obálkou budovy

Pro zajištění vyváženého poměru součinitelů prostupu tepla jednotlivými konstrukcemi obálky budovy je nutné podle vztahu (6) stanovit  $U_{em}$  [ $W/m^2 \cdot K$ ] představující průměrný prostup tepla obálkou budovy.

Požadovaná hodnota  $U_{em}$  je odvozena z tabulky 7 (kapitola 3.2.2) pro budovy s příslušným objemovým faktorem  $A/V$  [ $m^2/m^3$ ].

V závislosti na nesplnění požadavku maximální hodnoty součinitele prostupu tepla, lze očekávat i nesplnění požadavku prostupu tepla obálkou. Stanovení prostupu tepla obálkou budovy reprezentanta je uvedeno v tabulce 53.

**Tab. 53** Srovnání hodnot prostupu tepla obálkou budovy  $U_{em}$  [ $W/m^2K$ ]

Ukazatel (popis)	Označení (vztah)	Jednotka	Vypočítaná hodnota
<b>Reprezentant</b>			
Celková plocha obálky budovy	A	[ $m^2$ ]	364,5
Objem vytápěného prostoru	V	[ $m^3$ ]	435,8
Objemový faktor budovy	$A/V$	[ $m^2/m^3$ ]	0,84
Měrná ztráta prostupem tepla	$H_T$ (28)	[ $W/K$ ]	425,25
Prostup tepla obálkou budovy	$U_{em}$ (6) <sup>8</sup>	[ $W/m^2 \cdot K$ ]	1,13
$U_{em}$ , požadovaný. <sup>9</sup>	$U_{em,rq}$	[ $W/m^2 \cdot K$ ]	0,47-0,49
<b>Požadavek</b>			<b>Nesplněn</b>

### 12.5.3 Potřeba tepla na vytápění

#### Měrný tepelný tok prostupem tepla

Měrný tepelný tok prostupem tepla  $H$  [ $W/K$ ] (definovaný vztahem (27) v kapitole 4.3.1.) sestává z přímého prostupu tepla do okolního prostředí  $H_T$  [ $W/K$ ] a měrného tepelného toku větráním  $H_V$  [ $W/K$ ].

<sup>8</sup> Výpočet je zjednodušeně možný podle vztahu (6) resp. podle přílohy č. 1 vyhlášky č. 78/2013 Sb., kde  $U_{em,rq} = U_{em,N,20,R}$ .

<sup>9</sup> Požadovaný prostup tepla obálkou budovy  $U_{em,rq}$  vychází z tabulky 7 a je platný pro budovy s objemovým faktorem 0,8 – 0,9.

Přímý měrný tepelný tok do okolního prostředí tvoří součet tepelných toků konstrukcemi, zeminou a přes nevytápěné prostory podle vztahu (28) popsany v kapitole 4.3.2. a rekapitulovaný v tabulce 54.

**Tab. 54** Rekapitulace měrného tepelného toku prostupem  $H_T$  [W/K] [autor]

Označení kce	Název	Plocha	Součinitel prostupu tepla			Tepel. tok
			A	U	b	
		m <sup>2</sup>	[W/m <sup>2</sup> K]		[W/m <sup>2</sup> K]	[W/K]
<b>SO1</b>	<b>Obvodová stěna 1.NP</b>	87,41	1,11	1,00	1,11	97,02
OZ1	Okno dřevěné	1,61	2,70	1,00	2,70	4,35
OZ1	Okno dřevěné	1,61	2,70	1,00	2,70	4,35
OZ3	Okno dřevěné	2,57	2,70	1,00	2,70	6,93
OZ4	Okno dřevěné	0,95	2,70	1,00	2,70	2,55
OZ6	Okno dřevěné	2,52	2,70	1,00	2,70	6,80
DO1	Dveře vstupní	2,00	4,50	1,00	4,50	9,00
zóna 3	Nevytápěné zádveři	8,06	1,11	0,89	0,99	7,96
<b>SO2</b>	<b>Obvodová stěna 2.NP</b>	94,60	1,30	1,00	1,30	122,57
OZ2	Okno dřevěné	2,48	2,70	1,00	2,70	6,70
OZ2	Okno dřevěné	2,48	2,70	1,00	2,70	6,70
OZ3	Okno dřevěné	2,57	2,70	1,00	2,70	6,93
OZ4	Okno dřevěné	0,95	2,70	1,00	2,70	2,55
OZ5	Okno dřevěné	0,87	2,70	1,00	2,70	2,35
OZ5	Okno dřevěné	0,87	2,70	1,00	2,70	2,35
DB1	Dveře balkonové	1,95	4,50	1,00	4,50	8,78
DB2	Dveře balkonové	1,80	4,50	1,00	4,50	8,10
PDL1	<b>Podlaha na zemině</b>	74,40	0,64	0,55	0,35	26,00
STR1	<b>Strop nad 2.NP</b>	74,40	1,44	0,83	1,19	88,79
						<b>420,76</b>
$\Delta U_{em}$		364,08	0,1	1		36,408
						<b>457,16</b>

Součinitel prostupu tepla nepřímých tepelných toků (zeminou a přes nevytápěné prostory) je třeba redukovat pomocí redukčního součinitele  $b$  [-] podle obecného vztahu (31) a (37). Systémové lineární a tepelné mosty jsou zohledněny podle vztahu (9) na běžné úrovni.

**Tab. 55** Výpočet měrného toku větráním  $H_v$  [W/K] [autor]

Ukazatel (popis)	Označení (vztah)	Jednotka	Vypočítaná hodnota
<b>Reprezentant</b>			
Hustota vzduchu	$\rho$	[kg/m <sup>3</sup> ]	1,12
Měrná tepelná kapacita vzduchu	$c_a$	[kg/m <sup>3</sup> ]	0,2805
Výměna vzduchu podle počtu osob	$V_v$	[m <sup>3</sup> /h]	70,00
Přídavný tok pláštěm budovy	$V_x$	[W/m <sup>2</sup> ·K]	12,65
Měrný tepelný tok větráním	$H_v$ (40)	[W/K]	25,91
<b>Požadavek</b>			<b>bez požadavku</b>

Měrný tepelný tok větráním  $H_V$  je podle vztahu (40) určen zejména objemem vzduchu ve vytápěném prostředí a potřebou jeho výměny závislé na počtu projektovaných osob a přídavném toku pláštěm budovy. Výpočet a vstupní veličiny pro výpočet celkového měrného toku větráním je uveden v tabulce 55.

### Potřeba tepla na vytápění

Potřeba tepla na vytápění  $Q_{dem,H}$  [MJ, kWh] (popsaná v kapitole 4.2) charakterizuje množství potřebné energie dodávané pro pokrytí tepelných ztrát objektu způsobených v důsledku rozdílných teplot vně a uvnitř objektu. Podle vztahu (22) se skládá z celkového záporného a celkového kladného tepelného toku s měsíčním krokem (výpočet je shrnut v tabulce 56).

**Tab. 56** Potřeba tepla na vytápění reprezentanta [kWh] [autor]

Měsíce roku												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Tepelné ztráty kWh												
$Q_T$	7 142,7	5837,10	5442,1	3620,7	1836,7	987,5	612,2	408,2	2040,8	3605,4	5266,5	6972,7
$Q_V$	404,8	330,8	308,4	205,2	104,1	56,0	34,7	23,1	115,7	204,3	298,5	395,2
$Q_L$	7547,5	6167,9	5750,5	3825,9	1940,8	1043,4	646,9	431,3	2156,4	3809,7	5565,0	7367,8
Tepelné zisky kWh												
$Q_i$	325,6	294,1	325,6	315,1	325,6	315,1	325,6	325,6	315,1	325,6	315,1	325,6
$Q_{sol}$	325,5	450,1	741,4	964,1	1270,2	1306,0	1237,3	1125,2	817,7	499,8	238,7	214,2
$n_H$	1,000	1,000	0,999	0,993	0,878	0,604	0,408	0,296	0,967	0,999	1,000	1,000
$Q_g$	651,1	744,3	1067,0	1279,2	1595,8	1621,1	1562,9	1450,8	1132,8	825,5	553,8	539,8
<b>Potřeba tepla na vytápění</b>												
$Q_{dem}$	<b>6896,4</b>	<b>5423,7</b>	<b>4684,2</b>	<b>2555,3</b>	<b>540,2</b>	<b>65,0</b>	<b>9,4</b>	<b>1,9</b>	<b>1060,9</b>	<b>2985,3</b>	<b>5011,2</b>	<b>6828,0</b>

Celkový záporný tepelný tok (ztráta)  $Q_L$  [MJ, kWh] je podle vztahu (23) tvořen celkovým tepelným tokem prostupem tepla  $Q_T$  [MJ, kWh] a celkovým tepelným tokem větráním  $Q_V$  [MJ, kWh].

Pomocí tepelných toků (vztahy (25) a (26)) lze stanovit potřebu energie na vytápění vycházející z intervalového výpočtu s intervalem výpočtu jednoho měsíce a popsanou v kapitolách 4.2.1 a 4.2.2.

Celkové tepelné zisky  $Q_G$  [MJ, kWh] jsou stanoveny jako součet vnitřních tepelných zisků za dané výpočtové období  $Q_i$  a tepelných solárních zisků  $Q_s$  (24).

Vnitřní tepelné zisky jsou stanoveny podle vztahu (41), tepelné solární zisky v závislosti na vlastnostech průhledných částí obálky budovy (vztahy (42) a (43)) shrnuje tabulka 57.

Stupeň využití tepelných zisků je stanoven podle kapitoly 4.3.9.

Roční měrná potřeba tepla na vytápění vztážená na podlahovou plochu budovy je poměrem součtu měsíčních potřeb tepla na vytápění  $Q_{dem}$  [kWh] a celkové podlahové plochy objektu  $A_{gross}$  (tabulka 58).

**Tab. 57** Vlastnosti průhledných částí obálky budovy reprezentanta [autor]

Označení	Orientace	Rozměr		Plocha			F <sub>F</sub>	g	A <sub>s</sub>
		a	b	A	A <sub>g</sub>	rámu			
		[m <sup>2</sup> ]	[m <sup>2</sup> ]	[m <sup>2</sup> ]	[m <sup>2</sup> ]	[%]			
OZ1	JV	1,15	1,40	1,61	1,27	21,12	0,79	0,75	0,95
OZ1	JV	1,15	1,40	1,61	1,27	21,12	0,79	0,75	0,95
OZ2	JV	1,60	1,55	2,48	2,05	17,34	0,83	0,75	1,54
OZ2	JV	1,60	1,55	2,48	2,05	17,34	0,83	0,75	1,54
OZ3	SZ	1,90	1,35	2,57	2,12	17,35	0,83	0,75	1,59
OZ3	SZ	1,90	1,35	2,57	2,12	17,35	0,83	0,75	1,59
OZ4	SZ	0,70	1,35	0,95	0,68	28,04	0,72	0,75	0,51
OZ4	SZ	0,70	1,35	0,95	0,68	28,04	0,72	0,75	0,51
OZ5	SV	0,60	1,45	0,87	0,61	30,46	0,70	0,75	0,45
OZ5	SV	0,60	1,45	0,87	0,61	30,46	0,70	0,75	0,45
OZ6	SV	1,80	1,40	2,52	2,08	17,36	0,83	0,75	1,56
DB1	JV	1,00	1,95	1,95	1,55	20,51	0,79	0,85	1,32
DB2	SV	0,80	2,25	1,80	1,39	23,06	0,77	0,75	1,04

**Tab. 58** Měrná potřeba tepla na vytápění reprezentanta [autor]

Ukazatel (popis)	Označení (vztah)	Jednotka	Vypočítaná hodnota
<b>Reprezentant</b>			
Celková vnitřní podlahová plocha	A <sub>gross</sub>	[m <sup>2</sup> ]	109,42
Celková roční potřeba tepla na vytápění	Q <sub>dem</sub>	[kWh]	36 061,60
Měrná potřeba tepla na vytápění	E <sub>A</sub>	[kWh/m <sup>2</sup> rok]	329,57
<b>Požadavek</b>			<b>bez požadavku</b>

#### 12.5.4 Celková roční měrná spotřeba energie EPA

Stanovení celkové roční měrné spotřeby energie vychází z požadavků uvedených vyhláškou č. 78/2013 Sb., o energetické náročnosti budov a slouží k začlenění posuzované budovy do jedné z energetických tříd.

Podle vztahu (20) se stanoví jako součet ročních dodaných energií potřebných k provozu budovy (energie na vytápění, chlazení, osvětlení, ohřev užitkové vody a podobně). Roční dodanou energií se rozumí energie skutečně dodaná a podle vztahu (21) pokrývající nejen měrnou potřebu tepla, ale také ztráty energie způsobené přenosem a účinností zdroje.

Pro výpočet celkové měrné spotřeby energie pro reprezentativní objekt byly použity výše uvedené skutečnosti (měrná potřeba tepla na vytápění) a údaje dlouhodobě měřené v rámci užívání objektu (spotřeba elektrické energie pro ohřev TUV a osvětlení), která byla stanovena na 1825,00 [kWh/rok] jako průměrná denní spotřeba cca 5 kWh.

Pro výpočet skutečně dodané energie na vytápění (21) byla uvažována účinnost zdroje přeměny energie 85% ( $\eta_{gen} = 0,85$  [-]), další parametry výpočet neovlivní (zdroj je umístěn ve vytápěné části objektu, vzduchotechnická jednotka není uvažována).

Chlazení, mechanické větrání, či fotovoltaické panely se na objektu nevyskytují a jejich vliv na celkovou potřebu energie je proto nulový. Celková roční měrná spotřeba energie EPA [kWh/m<sup>2</sup>-a] se stanoví ze vztahu (19) přepočtením celkové roční dodané energie EP

Shrnutí celkové roční měrné spotřeby energie pro reprezentativní objekt je shrnuto v tabulce 59.

**Tab. 59** Celková roční měrná spotřeba energie EPA [kWh/m<sup>2</sup>rok] reprezenta [autor]

Ukazatel (popis)	Označení (vztah)	Jednotka	Vypočítaná hodnota
<b>Reprezentant</b>			
Roční dodaná energie na vytápění	EP <sub>H</sub>	[kWh/rok]	41 470,80
Roční dodaná energie na chlazení	EP <sub>C</sub>	[kWh/rok]	0,00
Roční dodaná energie na mech. větrání	EP <sub>F</sub>	[kWh/rok]	0,00
Roční dodaná energie na přípravu TUV	EP <sub>W</sub>	[kWh/rok]	1 825,00
Roční dodaná energie na osvětlení	EP <sub>L</sub>	[kWh/rok]	
Roční produkce energie fotovolt. články	EP <sub>PW</sub>	[kWh/rok]	0,00
<b>Celková roční dodaná energie</b>	<b>EP (ΣEP<sub>x</sub>)</b>	<b>[kWh/rok]</b>	<b>43 295,80</b>
<b>Reprezentant</b>			
<b>Celková roční měrná spotřeba energie</b>	<b>EPA (EP/A<sub>gross</sub>)</b>	<b>[kWh/m<sup>2</sup>rok]</b>	<b>379,00</b>

### 12.5.5 Stanovení energetické třídy podle vyhlášky č. 78/2013 Sb.

#### Definování referenční budovy

Referenční budovou se dle vyhlášky č. 78/2013 Sb. rozumí výpočtově definovaná budova téhož druhu, stejného geometrického tvaru a velikosti včetně prosklených ploch a částí, stejné orientace ke světovým stranám, stínění okolní zástavbou a přírodními překážkami, stejného vnitřního uspořádání a se stejným typickým užíváním a stejnými uvažovanými klimatickými údaji jako hodnocená budova, avšak s referenčními hodnotami vlastností budovy, jejích konstrukcí a technických systémů budovy.

Stanovit roční spotřeby energie referenční budovy lze pomocí výpočtu shodného s výpočtem nulové varianty. Pro výpočet je však třeba upravit parametry a hodnoty referenční budovy podle přílohy č. 1 vyhlášky č. 78/2013 Sb. Měněným parametrem je zejména nastavení součinitele prostupu tepla U [W/m<sup>2</sup>K] dílčích částí obálky budovy na hodnoty odpovídající podle ČSN 73 0540 hodnotám doporučeným (tabulka 6).

Energetická náročnost objektu je stanovena na základě celkové roční spotřeby energie EPA [kWh/m<sup>2</sup>rok] a odpovídá jedné z energetických tříd (tabulka 1) stanovené vyhláškou č. 78/2013 Sb., o energetické náročnosti budov. Podmínky vyhlášky jsou splněny, pokud energetická náročnost budovy ve srovnání s referenční budovou odpovídá nejvýše hornímu intervalu energetické třídy „C“ podle tabulky 1.

**Tab. 60** Stanovení energetické třídy reprezenta podle vyhlášky č. 78/2013 Sb. [autor]

Ukazatel (popis)	Označení (vztah)	Jednotka	Vypočítaná hodnota			
<b>Reprezentant</b>						
Celková roční měrná spotřeba energie	EPA	[kWh/m <sup>2</sup> ·a]	<b>379,00</b>			
<b>Referenční budova</b>						
Celková roční měrná spotřeba energie	EPA <sub>R</sub>	[kWh/m <sup>2</sup> ·a]	<b>92,22</b>			
<b>Požadavek dle přílohy č. 2 vyhlášky č. 78/2013 Sb., o energetické náročnosti budov</b>						
Označení tříd energetické náročnosti budov v kWh/m <sup>2</sup> a						
A	B	C	D	E	F	G
0,5 x EPA <sub>R</sub>	0,75 x EPA <sub>R</sub>	EPA <sub>R</sub>	1,5 x EPA <sub>R</sub>	2 x EPA <sub>R</sub>	2,5 x EPA <sub>R</sub>	>2,5 x EPA <sub>R</sub>
46,11	69,165	<b>92,22</b>	138,33	184,44	230,55	>230,55
Požadavek						<b>Nesplněn</b>



Reprezentativní objekt stanovené podmínce nevyhoví (srovnání v tabulce 60), jelikož celková roční spotřeba energie je vyšší, než vyhláškou povolena. **Objekt je dle vyhlášky zařazen do energetické třídy „G“.** V případě zlepšování tepelně-technických vlastností objektu je nutné snížit roční spotřebu energie EPA [kWh/m<sup>2</sup>·a] na maximálně 92,22 kWh/m<sup>2</sup>·a.

Modelované investiční varianty přesahující tuto hodnotu musí být zamítnuty.

## 12.6 Náklady na vytápění objektu

Náklady na vytápění objektu vztažené k celkové potřebě energie na vytápění lze stanovit podle druhu užívaného paliva a jeho výhřevnosti. Reprezentativní objekt je vytápěn lokálně, kamny na dřevní hmotu. Pro výpočet je uvažován nákup paliva v blízkosti objektu dle aktuálního ceníku dodavatele<sup>10</sup> včetně nákladů na dopravu paliva (jedná se o dřevo štípané).

Tab. 61 Stanovení nákladů na vytápění reprezentanta (dřevní hmota) [autor]

Ukazatel (popis)	Označení (vztah)	Jednotka	Vypočítaná hodnota
<b>Reprezentant</b>			
Roční dodaná energie na vytápění	EP <sub>H</sub>	[kWh/rok]	41 470,79
Výhřevnost dřevní hmoty (buk)	-	[kWh/kg]	3,47
Potřeba dřevní hmoty na pokrytí EP <sub>H</sub>	EP <sub>H</sub> /výhřevnost	[kg/rok]	11 951,24
Pořizovací náklady na dřevní hmotu	PC	[CZK/kg]	2,05
<b>Náklady na vytápění</b>	potřeba x PC	[CZK/rok]	<b>24 500,03</b>

## 12.7 Ostatní provozní náklady objektu

Pro výpočet nejsou uvažovány, předpokládá se, že se v rámci modelování investičních variant od varianty nulové neodchylují. Provozní náklady jsou vypočítány jako součet nákladů na vytápění a nákladů vzešlých ze spotřeby elektrické energie. Reprezentant nevyužívá energie k mechanickému větrání a chlazení.

## 12.8 Shrnutí nulové varianty

Uvedené výpočty tepelně-technických vlastností a určení energetické náročnosti budov jednoznačně prokázaly, že daný objekt není schopen za daného stavu vyhovět žádnému z posuzovaných požadavků. Žádná z konstrukcí obálky budovy neodpovídá závaznému požadavku maximální hodnoty součinitele prostupu tepla U [W/m<sup>2</sup>K].

Z hlediska energetické náročnosti budov je vypočtená hodnota celkové roční měrné spotřeby EPA [kWh/m<sup>2</sup>·a] ve srovnání s referenční budovou taktéž nevyhovující.

Pro objekt reprezentanta, pokud by došlo k jeho rekonstrukci, je tedy vhodné, pro efektivní zlepšení tepelně-technických vlastností, využít výpočtového modelu popisovaného v této práci.

Poznámka: tabulky uváděné v této a následujících kapitolách disertační práce jsou přiloženy jako příloha číslo 4 disertační práce jako soubor Microsoft Excel.

<sup>10</sup> Například aktuální cení společnosti Loštická lesní, s. r. o. ([www.drevonatopenilevne.cz](http://www.drevonatopenilevne.cz)) nebo DŘEVOPAR, s. r. o. ([www.drevopar.cz](http://www.drevopar.cz)).

## 13 MODELOVÁNÍ INVESTIČNÍ VARIANTY

Průběh modelování jednotlivých investičních variant vychází z postupu popsaného v kapitolách 9.4.3 – 9.4.5. předpokládané minimální tloušťky izolantů vychází z požadavku požadovaného a doporučeného součinitele prostupu tepla  $U$  [ $W/m^2K$ ] podle tabulky 6 a nemusí vždy zohledňovat požadavek energetické náročnosti budov (ENB) podle vyhlášky č. 78/2013 Sb.

### 13.1 Návrh a volba technologických postupů podle kapitoly 5 a volba izolantů

#### 13.1.1 Podlaha na terénu

Vzhledem k existenci poměrně vhodné betonové podlahové desky a dostatečné světlé výšce jednotlivých místností je možné zlepšit tepelně-technické vlastnosti podlahy na terénu podle principů popsaných v kapitole 5.4.2 a na obrázku 19.

Skladba podlahového souvrství by měla nově vykazovat vlastnosti odpovídající tepelně-technickým, hydroizolačním a mechanickým požadavkům. Vzhledem k existenci hydroizolační vrstvy nacházející se pod stávající betonovou mazaninou je možné nově navržené podlahové souvrství separovat pomocí volně položené hydroizolační vrstvy.

Tepelná izolace je navržena z polystyrenu EPS 100 Z (podle tab. 29a)  $\lambda=0,037$  [ $W/m\cdot K$ ], alternativně z polystyrenu Grey 150 (podle tab. 29b)  $\lambda=0,031$  [ $W/m\cdot K$ ].

Minimální předpokládaná tloušťka tepelné izolace je podle požadavků podle ČSN 730540-2 (tab. 6) při mezní hodnotě  $U_N=0,45$  [ $W/m^2K$ ] 40 mm.

Ve smyslu výjimek vyhlášky č. 137/1998 Sb., o obecně technických požadavcích na výstavbu (ve znění pozdějších předpisů), je však možné od daného řešení upustit z důvodů technické náročnosti provedení (zvětšování otvorů a podobně) a ekonomické neefektivnosti.

#### 13.1.2 Obvodové zdivo

Povaha obvodového zdiva umožňuje použití nejjednodušší úpravy tepelně-technických vlastností pomocí kontaktního zateplovacího systému.

Tepelná izolace obvodového zdiva je navržena z polystyrenu EPS 70 F (podle tab. 29a)  $\lambda=0,037$  [ $W/m\cdot K$ ], alternativně z polystyrenu GreyWall, či GreyWall+ (podle tab. 29b)  $\lambda=0,032$  [ $W/m\cdot K$ ], resp.  $\lambda=0,031$  [ $W/m\cdot K$ ] nebo MultiTherm NEO (BASF)  $\lambda=0,032$  [ $W/m\cdot K$ ].

Minimální předpokládaná tloušťka tepelné izolace je podle požadavků podle ČSN 730540-2 (tab. 6) při mezní hodnotě  $U_N=0,38$  [ $W/m^2K$ ] 100 mm. Fasáda bude upravena tenkostěnnou silikonsilikátovou omítkovinou o tl. 2 mm.

Z důvodu technologického předpisu pro provádění KZS z desek s grafitovou složkou (při montáži je nutné desky chránit před přímým slunečním zářením), je při jejich volbě zajistit vhodnou ochranu (například lešeňovou síť a podobně).

Nově osazované výplně okenních a dveřních otvorů budou osazované na vnější líc zdiva a tepelná izolace bude přetažena přes rámy výplní minimálně o 50 mm.

#### 13.1.3 Stropní konstrukce nad 2.NP

Nejjednodušším způsobem úpravy tepelně-technických vlastností stropní konstrukce nad 2.NP je volné položení tepelné izolace na podlahu půdy (podle kapitoly 5.2.1), čímž nebudou

narušeny navazující konstrukce. Vzhledem k nevyužívání půdních prostor není třeba počítat s požadavkem pochůznosti tepelné izolace. Tepelná izolace bude překryta difuzní folií.

Za nejvhodnější materiál lze považovat minerální vlnu (podle tab. 31) ORSIK  $\lambda=0,038$  [W/m·K] nebo vlnu kamennou (podle tab. 31) AirROCK LD  $\lambda=0,037$  [W/m·K].

Minimální předpokládaná tloušťka tepelné izolace je podle požadavků podle ČSN 730540-2 (tab. 6) při mezní hodnotě  $U_N=0,30$  [W/m<sup>2</sup>K] 120 mm. V případě nutnosti, či ekonomické výhodnosti lze přikročit k pokládce dvou vrstev telené izolace.

#### 13.1.4 Výplně dveřních a okenních otvorů

Výplně dveřních a okenních otvorů není možné vzhledem ke stavu degradace repasovat. Musí být naopak přikročeno k jejich kompletní výměně.

**Tab. (21) 62** Technologické postupy při zlepšování tepelně-technických vlastností obálek budov [autor]

Část konstrukce obálky budovy	Rozlišení	Tepelná izolace dle technologie	Materiál tepelné izolace	Příklad specifikace tepelné izolace	
Střechy	Ploché	Vložená Foukaná SDK podhled	Polystyrén Celuloza Minerální vata	EPS 70S	
		Kombinace jednotlivých řešení			
	Šikmé	Vložená SDK podhled	Polystyrén Minerální vata	EPS 50Z	
		Kombinace jednotlivých řešení			
Stropy		Vložená volně Foukaná SDK podhled	Polystyrén Celuloza Minerální vata	EPS 70S	
		Kombinace jednotlivých řešení			
Stěny		KZS	Polystyrén	EPS 70F	
			Minerální vata	Vlákna kolmo Vlákna vodorovně	
		PZS	Polystyrén	EPS 70F EPS 100F Desky na bázi PS XPS	
			Minerální vata	Vlákna kolmo Vlákna vodorovně	
Podlahy			Polystyrén	EPS 100S	
			Minerální vata Podkladní vrstva	Pěnové sklo	
Výplně otvorů	Okna		Dřevěná		
			Plastová		
			Hliníková		
	Renovace				
	Dveře			Dřevěná	
				Plastová	
Hliníková					
Renovace					

Výplně otvorů musí splňovat požadavky podle ČSN 730540-2 (tab. 6), výběr kvalitativních vlastností a materiálu rámu je po doporučení projektanta v kompetenci investora. Maximální přípustná hodnota součinitele prostupu tepla  $U$  [ $W/m^2K$ ] je podle požadavků podle ČSN 730540-2 (tab. 6)  $U_w=1,7$  [ $W/m^2K$ ]. Danému požadavku vyhovuje výběr plastových nebo dřevěných oken s izolačními dvojskly.

Zvolená technologická řešení a navazující izolanty lze shrnout podle tabulky 21. Rekapitulace zvolených řešení je uvedena v tabulce 62. Zvolené technologické postupy v návaznosti na jednotlivé konstrukce obálky budovy jsou v tabulce zvýrazněny.

Charakter budovy umožňuje zlepšení tepelně-technických vlastností pro všechny konstrukce obálky. Volba technologických řešení je standardní a nevyžaduje žádné specifické postupy.

### **13.2 Zpracovaná projektová dokumentace**

Projektová dokumentace je zpracována v souladu s kapitolou 7 a je rozdělena na výkresovou část a textovou část. Kompletní projektová dokumentace stávajícího stavu (nulové investiční varianty) a stavu navrhovaného je přiložena jako příloha číslo 1 siseruční práce.

V projektové dokumentaci navrhovaného řešení jsou uvedeny pouze obecné postupy, nikoli proměnné (modelované) tloušťky použitých izolantů. Finální tloušťky izolantů jsou nahrazeny minimální doporučenou tloušťkou splňující podmínky ČSN 73 0540-2 (tab. 6).

### **13.3 Sestavení nákladů investičních variant**

Náklady investičních variant jsou stanoveny pro každou z částí obálky budovy podle obecných zásad definovaných kapitolou 8. Náklady jsou stanoveny pomocí (pokud není uvedeno jinak) cenové soustavy společnosti ÚRS Praha a. s., při využití SW KROS plus, cenová úroveň II/2014. Náklady jsou stanoveny pouze pro vybrané technologické postupy a izolanty, výstup SW KROS plus je zpracován jako příloha 6b disertační práce.

#### **13.3.1 Podlaha na terénu**

S úpravou tepelně-technických vlastností podlahy na terénu není vzhledem k ekonomické a technické náročnosti uvažováno.

#### **13.3.2 Obvodové zdivo (vnější stěny)**

Náklady lze stanovit obecně podle kapitoly 8.3.1, tabulka 48. Minimální požadovaná tloušťka izolantu je cca 100 mm, přičemž výrobce dodává izolační desky v tloušťkách 10 – 200 mm (EPS 70 F), resp. 300 mm (EPS GreyWall). Náklady lze vyjádřit v  $m^2$ , vyjma nákladů na systémové lišty, které je nutno dopočítat v m.

Srovnání investičních nákladů technologie a použitelných izolantů je uvedeno v tabulce 64. Ostatní náklady jsou uvedeny v tabulce 63. Jedná se o náklady, které se s tloušťkou použitého izolantu nemění, ale částečně je nelze vyjádřit v  $m^2$ .

Jako finální úprava fasády je použita tenkovrstvá silikonsilikátová omítkovina tl. 2 mm.

Tab. 63 Náklady ostatních konstrukcí KZS [autor]

Ostatní náklady					
Kontaktní zateplovací systém					
Kód položky	Popis	Měrná	Množství	Jednotk.	Cena
dle TSKP		jednotka		cena	celkem
Náklady vyjádřitelné v m <sup>2</sup>					
622541021	Tenkovrstvá silikonsilikátová zrnitá omítka tl. 2,0 mm	m <sup>2</sup>	x	298,00	x
941111111	Montáž lešení řadového trubkového lehkého	m <sup>2</sup>	x	40,90	x
941111211	Příplatek k lešení řadovému trubkovému lehkému	m <sup>2</sup>	x	0,80	x
941111811	Demontáž lešení řadového trubkového lehkého	m <sup>2</sup>	x	24,40	x
Náklady nevyjádřitelné v m <sup>2</sup>					
622252001	Montáž zakládacích soklových lišt zateplení	m	27,30	77,00	2 102,10
590516140	lišta zakládací LO 103 mm tl 0,8 mm	m	28,00	60,40	1691,20
622252002	Montáž ostatních lišt zateplení	m	122,60	44,00	5 394,40
519514800	lišta rohová Al 10/10 cm s tkaninou bal. 2,5 m	m	62,00	16,60	1 029,20
519514920	lišta s okapničkou PVC UV 10/15, 2 m	m	16,00	38,60	617,60
590515100	profil okenní LT plast	m	52,00	32,10	1 669,20

Tab. 64 Tepelně- technická a cenová charakteristika izolačních materiálů a konstrukcí KZS [autor]

Tepelně- technická a cenová charakteristika izolačních materiálů a konstrukcí						
Kontaktní zateplovací systém						
Izolant	EPS 70 F $\lambda = 0,037$ [W/m.K]			GreyWall $\lambda = 0,032$ [W/m.K]		
	U <sub>mat</sub>	Cena	Cena	U <sub>mat</sub>	Cena	Cena
Tloušťka desky		technolog.	izolantu		technolog.	izolantu
d [mm]	[W/m <sup>2</sup> K]	CZK/m <sup>2</sup>	CZK/m <sup>2</sup>	[W/m <sup>2</sup> K]	CZK/m <sup>2</sup>	CZK/m <sup>2</sup>
0	0,00	-	0,00	0,00	-	0,00
10	3,70	416,00	21,60	3,20	416,00	-
20	1,85	416,00	43,30	1,60	416,00	51,50
30	1,23	416,00	64,90	1,07	416,00	76,60
40	0,93	416,00	86,50	0,80	416,00	103,00
<b>50</b>	<b>0,74</b>	<b>427,00</b>	<b>109,00</b>	<b>0,64</b>	<b>427,00</b>	<b>128,00</b>
60	0,62	427,00	130,00	0,53	427,00	154,00
70	0,53	427,00	-	0,46	427,00	-
80	0,46	427,00	174,00	0,40	427,00	205,00
90	0,41	440,00	-	0,36	440,00	-
<b>100</b>	<b>0,37</b>	<b>440,00</b>	<b>217,00</b>	<b>0,32</b>	<b>440,00</b>	<b>256,00</b>
110	0,34	440,00	-	0,29	440,00	-
120	0,31	440,00	260,00	0,27	440,00	307,00
130	0,28	498,00	-	0,25	498,00	-
140	0,26	498,00	303,00	0,23	498,00	358,00
<b>150</b>	<b>0,25</b>	<b>498,00</b>	<b>325,00</b>	<b>0,21</b>	<b>498,00</b>	-
160	0,23	498,00	347,00	0,20	498,00	409,00
170	0,22	516,00	-	0,19	516,00	-
180	0,21	516,00	390,00	0,18	516,00	460,00
190	0,19	516,00	-	0,17	516,00	-
<b>200</b>	<b>0,19</b>	<b>516,00</b>	<b>433,00</b>	<b>0,16</b>	<b>516,00</b>	<b>511,00</b>

### 13.3.3 Výplně dveřních a okenních otvorů

Dodávku a montáž výplní dveřních a okenních otvorů lze nejlépe ocenit pomocí nabídkové ceny potencionálních výrobců, resp. dodavatelů.

Nabídková cena obsahuje náklady na dodávku poptávaných výplní ve specifikované kvalitě, náklady na montáž výplní a náklady na montáž vnitřních i vnějších parapetů. V nabídkové ceně je také zohledněna demontáž výplní otvorů a ekologická likvidace odpadů.

Pro investiční varianty je uvažováno použití plastových nebo dřevěných výplní otvorů s izolačními dvojskly při výrobcem deklarovaném splnění požadavku součinitele prostupu tepla celého okna (dveří)  $U_w \leq 1,500$  [W/m<sup>2</sup>K] a životností min 30 let.

Variantně je řešena dodávka a montáž plastových výplní otvorů s výrobcem deklarovaným  $U_w \leq 0,900$  [W/m<sup>2</sup>K] a životností min 30 let.

Vnitřní parapety jsou uvažovány na bázi dřeva (POSTFORMING), vnější parapety hliníkové lakované.

Nabídkové ceny jsou přiloženy jako příloha číslo 3 disertační práce.

### 13.3.4 Stropní konstrukce nad 2.NP

Náklady lze stanovit obecně podle kapitoly 8.1.2, tabulka 45.

Tab. 65 Tepelně- technická a cenová charakteristika izolačních materiálů a konstrukcí [autor]

Tepelně- technická a cenová charakteristika izolačních materiálů a konstrukcí					
Položení tepelné izolace volně shora					
Izolant	ISOVER ORSIK $\lambda = 0,038$ [W/m.K]				
	$U_{mat}$	Náklady	Náklady	Ostatní	Náklady
Tloušťka desky		technolog.	izolant	náklady	celkem
d [mm]	[W/m <sup>2</sup> K]	CZK/m <sup>2</sup>	CZK/m <sup>2</sup>	CZK/m <sup>2</sup>	CZK/m <sup>2</sup>
0	0,00	-	0,00	-	<b>0,00</b>
10	3,80	22,70	-	46,30	-
20	1,90	22,70	-	46,30	-
30	1,27	22,70	-	46,30	-
40	0,95	22,70	61,90	46,30	<b>130,90</b>
<b>50</b>	<b>0,76</b>	<b>22,70</b>	<b>77,40</b>	<b>46,30</b>	<b>146,40</b>
60	0,63	22,70	92,90	46,30	<b>161,90</b>
70	0,54	22,70	-	46,30	-
80	0,48	22,70	124,00	46,30	<b>193,00</b>
90	0,42	22,70	-	46,30	-
<b>100</b>	<b>0,38</b>	<b>22,70</b>	<b>155,00</b>	<b>46,30</b>	<b>224,00</b>
110	0,35	22,70	-	46,30	-
120	0,32	22,70	186,00	46,30	<b>255,00</b>
130	0,29	22,70	-	46,30	-
140	0,27	22,70	217,00	46,30	<b>286,00</b>
<b>150</b>	<b>0,25</b>	<b>22,70</b>	-	<b>46,30</b>	-
160	0,24	22,70	248,00	46,30	<b>317,00</b>
170	0,22	22,70	-	46,30	-
180	0,21	22,70	277,00	46,30	<b>346,00</b>
190	0,20	22,70	-	46,30	-
<b>200</b>	<b>0,19</b>	<b>22,70</b>	<b>306,00</b>	<b>46,30</b>	<b>375,00</b>

Minimální požadovaná tloušťka izolantu je cca 200-240 mm, přičemž výrobce dodává izolační desky v tloušťkách 40 – 200 mm, vzhledem k tomu je nutné pokládat izolant ve dvou vrstvách přes sebe (náklady na technologii je nutno v tomto případě započítat dvakrát. Veškeré náklady lze vyjádřit v m<sup>2</sup>. Ostatní náklady zahrnují překrytí izolantu paropropustnou folií a přesuny hmot.

### 13.3.5 Modelování investičních variant

Modelování investiční variant je limitováno splněním všech požadavků definovaných v kapitole 9.1. Přijaty mohou být pouze ty varianty, které splňují výše popsané požadavky. Výběr investiční varianty závisí na uživateli modelu, který má možnost výběru z těch variant, které splňují všechny požadavky.

## 13.4 Shrnutí požadavků kladených na potenciální investiční varianty

### 13.4.1 Požadavky legislativní a tepelně-technické

Požadavky legislativní jsou splněny v případě, pokud lze podle zákona č. 183/2006 Sb., o územním plánování a stavebním řádu očekávat vydání platného územního rozhodnutí a povolení stavby a v případě, že po úpravách obálky budovy lze budovu ve srovnání s budovou referenční zařadit do energetické třídy nejvýše „C - úsporná“ dle vyhlášky č. 78/2013 Sb. Dále musí být splněn požadavek průměrného součinitele prostupu tepla  $U_{em,R}$ :

$$U_{em,R} = U_{em,N,20,R} \quad [W/m^2 \cdot K] \quad (48)$$

kde je:

$U_{em,R}$  referenční hodnota součinitele prostupu tepla [ $W/m^2 \cdot K$ ],  
 $U_{em,N,20,R}$  požadovaná hodnota průměrného součinitele prostupu tepla [ $W/m^2 \cdot K$ ].

Požadovaná hodnota průměrného součinitele se určí jako vážený průměr normových požadovaných hodnot součinitelů prostupu tepla (zjednodušeně podle vztahu (6)). Legislativní požadavky jsou shrnuty v tabulce 66.

**Tab. 66** Legislativní požadavky na modelované investiční varianty [autor]

Ukazatel (popis)	Označení (vztah)	Jednotka	Požadavek/doporuč.
Požadavek ČSN 74 3540-2			
Součinitel prostupu tepla obvodových stěn	U (1)	[ $W/m^2 \cdot K$ ]	0,300/0,250
Součinitel prostupu tepla podlah	U (1)	[ $W/m^2 \cdot K$ ]	0,450/0,300
Součinitel prostupu tepla stropů	U (1)	[ $W/m^2 \cdot K$ ]	0,300/0,200
Součinitel prostupu tepla střechy	U (1)	[ $W/m^2 \cdot K$ ]	-
Součinitel prostupu tepla oken	U (1)	[ $W/m^2 \cdot K$ ]	1,500/1,200
Součinitel prostupu tepla dveří	U (1)	[ $W/m^2 \cdot K$ ]	1,700/1,200
Požadavek vyhlášky č. 78/2013 Sb. o energetické náročnosti budov			
Průměrný součinitel prostupu tepla	$U_{em,R}$ (6)	[ $W/m^2 \cdot K$ ]	0,266
Celková roční dodaná energie	EPA (ER)	[ $kWh/m^2 \cdot a$ ]	92,220

Požadavky tepelně technické jsou splněny v případě, pokud jsou investiční varianty v souladu s platnými národními normami a výpočtovými metodami podle kapitol 3 a 4.

#### **13.4.2 Požadavky technické a technologické**

Požadavky technologické jsou jednak – na teoretické úrovni – zajištěny správným inženýrským rozhodnutím a bezchybným provedením – na úrovni praktické. Technologické postupy a izolant jsou voleny s ohledem na technický stav stavby, předpokládané vlastnosti materiálů a ekonomickou efektivitu.

#### **13.4.3 Požadavky ekonomické**

Z ekonomického hlediska mohou být přijaty ty modelové varianty, které vykazují dobu návratnosti (prostou, či diskontovanou) kratší, než dobu životnosti investice, při zohlednění provozní fáze životního cyklu budovy. Modelované varianty, které tuto podmínku nesplňují, nemohou být z čistě ekonomického hlediska přijaty.

Při výpočtu je vhodné využít ukazatele BLCC či IRR, které převádí jednotlivé peněžní toky do současné hodnoty, tedy do okamžiku hodnocení, proto musí být všechny budoucí náklady a/nebo úspory nákladů diskontovány na základě stanoveného požadavku. Výpočet ukazatele lze vyjádřit vztahem (48) podle kapitoly 9.3. Pro jednotlivé varianty je stanovena délka životního cyklu 30 let, což odpovídá předpokládané době užívání objektu a zohledňuje životnost navržených konstrukcí bez nutnosti další investice [45].

### **13.5 Stanovení celkových nákladů akceptovatelných investičních variant**

Akceptovatelným řešením je takové řešení, které odpovídá všem výše zmíněným požadavkům a jejich kombinaci. Výběr optimální investiční varianty je plně závislý na posouzení souboru požadavků s maximálním důrazem na ekonomickou efektivitu.

Vzhledem k povaze, technickému stavu a zejména stáří reprezentanta je zřejmé, že přijatá řešení jsou komplexní a zasahují celou obálku budovy s výjimkou podlahy přilehlé k terénu.

Prvním krokem k hodnocení akceptovatelných investičních variant je stanovení celkových nákladů pro každou z přijatelných investičních variant. Celkové investiční náklady jsou poté (na základě dosažených tepelně-technických vlastností objektu) kompenzovány úsporami nákladů na vytápění.

Pro reprezentanta se stanoví celkové investiční náklady jednotlivých variant jako součet nákladů na úpravu dílčí části obálky budovy:

- náklady na úpravu vnějších stěn (obvodové zdivo), (tabulky 63 a 64),
- náklady na úpravu stropní konstrukce nad 2. NP (tabulka 65),
- náklady na výměnu výplní okenních a dveřních otvorů.

K nákladům na úpravu dílčích částí obálky budovy je třeba připočítat i vedlejší rozpočtové náklady (VRN), kterými jsou zařízení staveniště, popřípadě provozní či územní vlivy a kompletační činnost. Dále náklady na projektovou dokumentaci, obstarání stavebního povolení a podobně a příslušnou sazbu DPH.

Výběr akceptovatelných řešení je rekapitulován v tabulce 67. Z tabulky jsou patrná všechna akceptovatelná, dílčí řešení, pro každou z konstrukcí obálky budovy. Každé uvedené řešení odpovídá technickým, tepelně-technickým a technologickým požadavkům. Hledání optimální varianty poté probíhá pomocí dalšího, ekonomického, požadavku. Náklady uvedené



v tabulce jsou stanoveny jako součet nákladů na izolant, technologii a ostatní náklady (tabulky 63, 64, 65 ve směrných cenách dle databáze ÚRS Praha a. s., v cenové úrovni pro 2. pololetí roku 2014).

Vedlejší rozpočtové náklady jsou pro jednotlivé varianty stanoveny odborným odhadem a činí 1,5% z hlavních rozpočtových nákladů. Uvažovány jsou zejména náklady na zařízení staveniště a další případné drobné vedlejší náklady. Náklady na kompletní projektovou dokumentaci jsou pro každou z variant předpokládány ve výši 30 000,00,- CZK (náklady jsou stanoveny odborným odhadem v kombinaci s využitím sazebníku projektových prací).

**Tab. 67** Celkové náklady akceptovatelných investičních variant [autor]

Celkové náklady akceptovatelných investičních variant							
Konstrukce obálky budovy	Materiál izolantu	Tloušťka izolantu	Plocha obálky	Náklady na m. j.	Náklady ostatní	Náklady celkové	
	[W/m.K]	mm	m <sup>2</sup>	CZK/m <sup>2</sup>	CZK/plocha	CZK	
Vnější stěna (SO1-3)	EPS 70F $\lambda = 0,037$ [W/m.K]	120	182,01	1 075,30	12 503,70	208 220,00	
		140		1 178,30		226 955,00	
		150		1 200,30		230 959,00	
		160		1 222,30		234 962,00	
		180		1 283,30		246 064,00	
		200		1 326,30		253 890,00	
	GreyWall $\lambda = 0,032$ [W/m.K]	100	182,01	1 073,30	12 503,70	207 845,00	
		120		1 124,30		217 126,00	
		140		1 233,30		236 964,00	
		150		-		-	
		160		1 284,30		246 246,00	
		180		1 343,30		256 984,00	
	Strop nad 2. NP (STR1)	ISOVER ORSIK $\lambda = 0,038$ [W/m.K]	200	74,40	375,00	-	27 900,00
			210		417,10		29 931,00
220			432,70		32 193,00		
230			446,10		33 190,00		
240			463,70		34 500,00		
250			475,10		35 348,00		
260			490,60		36 500,00		
280			525,70		39 112,00		
300			552,70		41 121,00		
Výplně otvorů (OZ, DB)			Systém SULKO Classic, deklarovaný $U_w=1,20$ W/m <sup>2</sup> K (dvojsklo)				
	Systém SULKO Optimo+, deklarovaný $U_w=0,89$ W/m <sup>2</sup> K (trojsklo)					134 770,00 <sup>12</sup>	

Akceptovatelnými modelovými variantami jsou kombinace všech výše uvedených opatření lišících se zejména tloušťkou izolantu nebo tepelně-technickými vlastnostmi izolantu nebo použitého výrobku.

<sup>11</sup> Uvedené náklady vychází z cenové nabídky, která je přílohou číslo 3 disertační práce.

<sup>12</sup> Uvedené náklady vychází z cenové nabídky, která je přílohou číslo 3 disertační práce.

## 13.6 Modelování akceptovatelných investičních variant

### 13.6.1 Sestavení základních akceptovatelných investičních variant

Výsledkem technicko-ekonomického hodnocení akceptovatelných investičních variant je stanovení vnitřního výnosového procenta (IRR [%]) na základě diskontovaných finančních toků. Přičemž lze obecně říci, že mohou být přijaty takové investiční varianty, jejichž vnitřní výnosové procento je minimálně rovno stanovenému požadavku. Optimální variantou je poté taková, jejíž vnitřní výnosové procento je nejvyšší [18].

Požadovaný výnos investice byl stanoven na 1 %, což v současnosti odpovídá výnosům z dlouhodobých bezrizikových vkladů (spořicí programy komerčních bank). Požadovaný výnos je stanoven s ohledem na investiční možnosti investorů, v tomto případě majitelů obytných budov pro individuální bydlení. Požadovaný výnos je stanoven s ohledem na rizikovost investice, dobu trvání investice a její očekávaný výnos. Ve výpočtech není zohledněn vliv inflace.

Pro základní modelování jsou pro každou z variant sestaveny celkové investiční náklady sestávající ze součtu nákladů uvedených v kapitole 11.5; uvedena je dále celková roční dodaná energie na vytápění  $EP_H$  [kWh/rok], roční náklady spojené s vytápěním objektu a roční úspora těchto nákladů oproti nulové variantě. Modelování základních investičních variant předpokládá pokrytí investičních nákladů vlastními zdroji investora.

Finanční toky jsou poté sestaveny jako celkové investiční náklady (záporný finanční tok, nultý rok) a úspory nákladů na vytápění (kladný finanční tok, první až poslední rok sledovaného období). Finanční toky jsou diskontovány obvyklým způsobem. Výsledkem výpočtu je stanovení čisté současné hodnoty (NPV [CZK]) a vnitřního výnosového procenta každé z variant.

### Vyhodnocení základních akceptovatelných variant

V první fázi je modelováno celkem 216 potenciálních investičních variant na základě splnění kombinace parametrů uvedených v kapitole 11.5.

Vnitřní výnosové procento základních variant nabývá hodnot v rozmezí 2,16 až 1,03 %, přičemž:

- klesá rovnoměrně s rostoucí tloušťkou izolantů (stěn a stropní konstrukce), což je způsobeno zvyšujícími se náklady spojenými s technologií, které nejsou zcela kompenzovány úsporou nákladů na vytápění,
- varianty s použitím výplní okenních a dveřních otvorů s izolačními trojskly (SULKO Optimo+, deklarovaný  $U_w=0,89$  W/m<sup>2</sup>K) vykazují snížení IRR o 0,27 % oproti výplním okenních a dveřních otvorů s izolačními dvojskly (SULKO Classic, deklarovaný  $U_w=1,20$  W/m<sup>2</sup>K) u všech porovnatelných variant, což je způsobeno nepoměrem nákladů a tepelně-technického parametru  $U$ ,
- varianty KZS s využitím polystyrenu EPS 70 F a polystyrenu Greywall vykazují obdobné hodnoty IRR pro varianty při použití tloušťky izolantu 100 mm (EPS 70 F) a 120 mm (Greywall).

Čistá současná hodnota variant s požadovanou mírou zhodnocení investice minimálně 1 % nabývá hodnot 67 778, 03 CZK až 2 170, 52 CZK, přičemž:

- klesá rovnoměrně s rostoucí tloušťkou izolantů (stěn a stropní konstrukce), což je způsobeno zvyšujícími se náklady spojenými s technologií, které nejsou zcela kompenzovány úsporou nákladů na vytápění,
- varianty KZS s využitím polystyrenu EPS 70 F a polystyrenu Greywall vykazují obdobné hodnoty IRR pro varianty při použití tloušťky izolantu 100 mm (EPS 70 F) a 120 mm (Greywall).

Celkové investiční náklady se pohybují v závislosti na kombinaci parametrů v rozmezí 445 284,46 CZK – 550 607,76 CZK a vychází ze směrných cen dle databáze společnosti ÚRS Praha, a. s. v cenové úrovni pro 2. pololetí roku 2014, přičemž:

- rovnoměrně rostou se zvyšujícími se tloušťkami izolantů.

Dosažitelné úspory na vytápění lze očekávat ve výši 19 826,95 CZK – 21 419, 12 CZK/rok, což oproti nulové variantě představuje úspory 81,21 až 87,43 %. Úspory na vytápění rostou s rostoucí tloušťkou izolantů, avšak nejsou schopny zcela kompenzovat obdobně rostoucí náklady investiční. Diskontovaná doba návratnosti investičních variant při diskontní sazbě 1% se pohybuje v rozmezí 26 – 30 roku.

Podrobné shrnutí technických, tepelně-technických a ekonomických vlastností základních modelovaných variant je přílohou číslo 5 disertační práce.

Dle nastaveného požadavku pro vnitřní výnosové procento lze pro každou ze základních variant rámcově potvrdit hypotézu disertační práce, avšak stále nebyla nalezena varianta nejefektivnější, nákladově optimální. Základní modelované varianty lze dále optimalizovat v následujících ohledech:

- stanovení skutečných nákladů (na základě kalkulace tržních cen),
- dotační tituly (zohlednění případných možností dotací),
- způsob financování (fin. proveditelnost, financování vlastními a/nebo cizími zdroji),
- způsob vytápění objektu (vliv používaného paliva),
- užívání objektu v rámci životního cyklu a předpokládané další využití objektu,
- způsob dodávek stavebních prací (dodavatelský způsob x svépomocná výstavba).

Při optimalizování se lze omezit pouze na několik základních modelových variant vykazujících nejvyšších hodnot IRR a pokrývajících všechny použitelné izolanty a konstrukce. Shrnutí parametrů dále optimalizovaných variant je uvedeno v tabulce 68.

**Tab. 68** Technicko-ekonomické hodnocení investičních variant - výběr variant pro optimalizaci [autor]

Technicko-ekonomické hodnocení investičních variant - výběr variant pro optimalizaci								
Označení varianty	Přidaná tepelná izolace			Investice	Vytápění objektu		Při dis. sazbě 1%	
	SO1-3	STR1	OZ (DB)	IN	Náklady	Úspora	NPV	IRR
	mm; λ	mm; λ	U [W/m <sup>2</sup> K]	CZK	CZK/rok	CZK/rok	CZK	%
1	100; 0,032	200; 0,038	1,20	445 284,46	4 673,09	19 826,95	66 403,61	2,15
55	Greywall		0,89	466 983,63	4 267,38	20 232,65	55 174,67	1,88
109	120; 0,037	200; 0,038	1,20	445 722,18	4 602,87	19 897,16	67 778,03	2,16
163	EPS 70 F		0,89	467 421,35	4 198,22	20 301,81	56 521,86	1,89

### 13.6.2 Optimalizace akceptovatelných investičních variant

#### Stanovení skutečně dosažitelných nákladů

Stanovení a optimalizace skutečně vynakládaných nákladů vychází z předpokladu rozdílnosti cen směrných a cen tržních. Výchozím bodem pro kalkulaci skutečných nákladů je určení tržních nákladů na materiály (izolant, ostatní náklady uvažované v kalkulaci).

Pořizovací náklady na materiál uváděné v databázi společnosti ÚRS Praha, a. s. vychází z oficiálních ceníkových cen výrobců materiálů a nezřídka se od tržních cen liší. Kalkulace tržních cen materiálů je uvedena v tabulce 69, ze které je zřejmý rozdíl v nákladech na materiál (zvýrazněny jsou pořizovací náklady na materiál aktuální pro podzim 2014).

Dalšími materiály, které je možné kalkulovat, jsou materiály obsažené v rozboru položky třídníku TSKP 622 211 021 „Montáž zateplení vnějších stěn z polystyrénových desek tl. do 120 mm“, která reprezentuje náklady na technologii všech optimalizovaných variant. Jedná se o náklady na lepicí a stěrkovací hmotu, kotvící prvky a sklovláknitou tkaninu. Optimalizace nákladů je provedena obdobně jako u nákladů na izolant.

**Tab. 69** Srovnání nákladů (směrných cen a cen tržních) na hlavní izolační materiál (izolant) [autor, pozn. 12]

Fasádní izolační desky na bázi expandovaného polystyrenu (srovnání pořizovací ceny v CZK/m <sup>2</sup> )													
	λ / mm	100		120		140		160		180		200	
ISOVER ORSIK	0,038	<b>66</b> <sup>13</sup>	155	<b>80</b>	186	<b>93</b>	217	<b>106</b>	247	<b>120</b>	277	<b>133</b>	306
Fasádní izolační desky na bázi expandovaného polystyrenu (srovnání pořizovací ceny v CZK/m <sup>2</sup> )													
EPS 70 F	0,037	<b>97,5</b>	217	<b>126</b>	260	<b>137</b>	303	<b>156</b>	347	<b>176</b>	390	<b>195</b>	433
EPS Greywall	0,032	<b>117</b>	256	<b>151</b>	307	<b>176</b>	358	<b>201</b>	409	<b>226</b>	460	<b>251</b>	511

Podrobná kalkulace a rozbor ceny položky ve směrných cenách a kalkulovaných cenách je součástí přílohy číslo 6a disertační práce. Ke kalkulaci dalších nákladů tvořících cenu položky nebylo překročeno (náklady na mzdy, stroje, režie a zisk), ponechány jsou i náklady na výměnu výplní okenních a dveřních otvorů. Celkové náklady jsou rekapitulovány v tabulce 70 (výňatek z tabulky 67).

**Tab. 70** Celkové náklady optimalizovaných investičních variant – tržní ceny [autor]

Celkové náklady optimalizovaných investičních variant – tržní ceny						
Konstrukce obálky budovy	Materiál izolantu	Tloušťka izolantu	Plocha obálky	Náklady na m. j.	Náklady ostatní	Náklady celkové
	[W/m <sup>2</sup> K]	mm	m <sup>2</sup>	CZK/m <sup>2</sup>	CZK/plocha	CZK
Vnější stěna (SO1-3)	EPS 70F	120	182,01	465,50	12 503,70	97 230,00
	GreyWall	100	182,01	456,50	12 503,70	95 591,00
Strop nad 2. NP (STR1)	ISOVER ORSIK	200	74,40	202,00	-	15 029,00
Výplně otvorů (OZ, DB)	Systém SULKO Classic, deklarovaný U <sub>w</sub> =1,20 W/m <sup>2</sup> K (dvojsklo)					116 180,00 <sup>14</sup>
	Systém SULKO Optimo+, deklarovaný U <sub>w</sub> =0,89 W/m <sup>2</sup> K (trojsklo)					134 770,00 <sup>15</sup>

IRR optimalizovaných variant po kalkulaci nákladů dle tržních cen je patrné z tabulky 71.

<sup>13</sup> Uváděné tržní pořizovací náklady na materiál vychází z aktuálních nabídek (říjen 2014) prodejců izolačních materiálů dostupných na stránkách: [www.levnestavebniny.cz/tepelna-izolace/polystyren](http://www.levnestavebniny.cz/tepelna-izolace/polystyren), <http://www.centrum-zatepleni.cz/polystyren>, <http://www.stavbaonline.cz/fasadni-polystyren>. Vzhledem k tomu, že ceny jednotlivých materiálů se mohou měnit, budou tyto dále modelovány.

<sup>14</sup> Uvedené náklady vychází z cenové nabídky, která je přílohou číslo 3 disertační práce.

<sup>15</sup> Uvedené náklady vychází z cenové nabídky, která je přílohou číslo 3 disertační práce.

**Tab. 71** IRR variant s kalkulovanou tržní cenou [autor]

Technicko-ekonomické hodnocení investičních variant - IRR s kalkulovanou tržní cenou, NPV při 1% dis. sazbě								
Označení varianty	Přidaná tepelná izolace			Investice	Vytápění objektu		Při dis. sazbě 1%	
	SO1-3	STR1	OZ (DB)	IN	Náklady	Úspora	NPV	IRR
	mm; λ	mm; λ	U [W/m <sup>2</sup> K]	CZK	CZK/rok	CZK/rok	CZK	%
1	100; 0,032	200; 0,038	1,20	299 232,30	4 673,09	19 826,95	212 455,77	5,21
55	Greywall		0,89	320 931,48	4 267,38	20 232,65	201 226,82	4,74
109	120; 0,037	200; 0,038	1,20	301 145,42	4 602,87	19 897,16	212 354,78	5,17
163	EPS 70 F		0,89	322 844,60	4 198,22	20 301,81	201 098,62	4,70

Z výsledků je patrné zvýšení IRR až o 3,06 % u varianty číslo 1. V závislosti na nákladech na izolant se výhodnější jeví varianty kalkulující s deskami EPS Greywall. Diskontovaná doba návratnosti při diskontní sazbě 1 % se zkrátí a u uvedených variant nastává mezi šestnáctým až osmnáctým rokem.

Náklady na materiály nezanedbatelně ovlivňují výsledné modelování a dále zpřesňují vyhodnocení jednotlivých investičních variant. Hypotéza disertační práce je dále potvrzována i pro vyšší požadavek zhodnocení investice.

### Dotáční tituly

Na základě aktuálních výzev státních orgánů České republiky, orgánů municipalit, či orgánů Evropské unie lze pro investice zlepšující tepelně-technické vlastnosti budov žádat o nevratné dotáční příspěvky pokrývající část investičních nákladů.

V současné době, do konce roku 2014, je možné žádat o dotace v programu „Nová zelená úsporám“ Ministerstva životního prostředí ČR. Cílem programu je zlepšení stavu životního prostředí snížením emisí skleníkových plynů prostřednictvím snížení energetické náročnosti budov [67].

Pro objekt reprezentanta lze v rámci 1. výzvy programu žádat o dotaci v oblasti A „Snížení energetické náročnosti stávajících rodinných domů“ v hladině podpory A.3.

Podmínkou získání podpory je snížení potřeby tepla na vytápění  $E_A$  na méně než 35 % původní hodnoty (srovnej tabulky 58 a 60); hodnota průměrného součinitele tepla  $U_{em}$  je menší nebo rovna 0,75 [W/m<sup>2</sup>·K] a součinitel prostupu tepla pro každou konstrukci je maximálně roven požadované hodnotě dle tabulky 6.

Při splnění uvedených požadavků, může být žadateli poskytnuta podpora do výše 55 % ze způsobilých výdajů.

**Tab. 72** IRR variant s kalkulovanou tržní cenou a přiznanou dotací [autor]

Technicko-ekonomické hodnocení investičních variant - IRR variant s přiznanou dotací, NPV při 1% dis. sazbě								
Označení varianty	Přidaná tepelná izolace			Investice	Vytápění objektu		Při dis. sazbě 1%	
	SO1-3	STR1	OZ (DB)	IN	Náklady	Úspora	NPV	IRR
	mm; λ	mm; λ	U [W/m <sup>2</sup> K]	CZK	CZK/rok	CZK/rok	CZK	%
1	100; 0,032	200; 0,038	1,20	134 654,50	4 673,09	19 826,95	377 033,57	14,70
55	Greywall		0,89	144 419,20	4 267,38	20 232,65	377 739,10	13,73
109	120; 0,037	200; 0,038	1,20	135 515,40	4 602,87	19 897,16	377 984,81	14,59
163	EPS 70 F		0,89	145 280,10	4 198,22	20 301,81	378 663,12	13,66

IRR optimalizovaných variant po kalkulaci nákladů dle tržních cen a po započítání dotace je patrné z tabulky 72.

Diskontovaná doba návratnosti se při diskontní sazbě 1 % opět zkrátí a u uvedených variant nastává mezi sedmým až devátým rokem. V závislosti na nákladech na izolant se výhodnější jeví varianty kalkulující s deskami EPS Greywall.

Hypotéza disertační práce je i v tomto případě dále potvrzována.

Poznámka: v souvislosti s nenárokovatelností a nevymahatelností dotačních titulů je nutné považovat tuto variantu pouze jako okrajovou. Sběr žádostí první výzvy programu Nová zelená úsporám bude ukončen ke dni 31. 12. 2014, vyhlášení další výzvy a tudíž i podmínky získání dotací jsou značně nejisté.

### **Způsob financování a finanční proveditelnost**

Pro jednotlivé optimalizované varianty může být uvažováno financování z vlastních zdrojů a/nebo financování ze zdrojů cizích, což je rozhodující pro stanovení finančních toků. Finanční toky při financování vlastními zdroji (popsány výše) se od financování zdroji cizími liší zejména v rozložení toků záporných, které jsou reprezentovány splátkami v jednotlivých letech při absenci počátečního investičního nákladu.

Financování cizími zdroji je reprezentováno (hypotečním) bankovním úvěrem ve výši 100% investice s délkou splácení 10 let v režimu splátek s konstantní anuitou. Úroková sazba je uvažována proměnná.

Cílem modelování je srovnání výše uvedených základních a optimalizovaných variant financovaných různými zdroji a stanovení úrokové míry tak, aby bylo patrné, které z modelovaných způsobů financování je výhodnější.

Minimální uvažovaná úroková sazba je pro základní varianty s ohledem na dostupné bankovní produkty stanovena na 3% při investičních nákladech v rozmezí 445 284,46 CZK – 550 607,76 CZK. Vnitřní výnosové procento se u těchto variant sníží o cca 0,65 procentního bodu při 3 % úrokové sazbě a o cca 2,05 procentního bodu při úrokové sazbě 3,5 %. Při úročení 4 % a více, klesá u všech variant IRR pod požadovanou hodnotu 1 % zhodnocení.

Důvodem snížení hodnoty IRR je nedostatečné pokrytí záporných finančních toků (splátek úvěru) finančními toky kladnými (úsporou nákladů na vytápění). Podrobně rozpracování v příloze číslo 5 disertační práce.

Minimální uvažovaná úroková sazba pro varianty nákladově optimalizované je s ohledem na dostupné bankovní produkty stanovena na 4% při investičních nákladech rozmezí 299 232,30 CZK – 322 844,60 CZK. Z tabulky 73 je patrný rozptyl hodnot NPV a IRR. Obecně je v tomto případě možné uvažovat s financováním investice cizími zdroji, rozhodující je výše úrokové sazby.

Pro varianty 1 a 109 je mezní hodnotou 4,75 % úroková sazba. Při nižší úrokové sazbě lze konstatovat, že jsou záporné finanční toky kompenzovány toky kladnými, při rozložení záporných finančních toků v prvních deseti letech investice dokonce hodnota IRR vykazuje vyšší míru ve srovnání s financováním pomocí zdrojů vlastních.

Pro varianty 55 a 163 je mezní hodnotou 4,25 % úroková sazba. Při zohlednění požadavku 1 % diskontní sazby.

Neznámou při uvedeném výpočtu je reálně dosažitelná úroková sazba úvěru, nicméně předkládaný výpočet dostatečně prokazuje platnost hypotézy i při financování investičních variant cizími zdroji a to z hlediska splnění požadavku výše IRR.

Pro varianty uvažující částečné pokrytí investičních nákladů dotačními tituly není financování cizími zdroji uvažováno. Celkové investiční náklady se u těchto variant pohybují v rozmezí 134 654,50 CZK - 145 280,10 CZK. V souvislosti z poměrně nízkými investičními náklady lze očekávat nevýhodnější úvěrové podmínky, nicméně i v tomto případě bude hypotéza potvrzena.

Otázka finanční proveditelnosti investičního záměru není v práci podrobněji rozebírána, jelikož oba uvedené způsoby financování potvrzují hypotézu.

**Tab. 73** NPV a IRR variant s kalkulovanou tržní cenou při využití cizích zdrojů [autor]

Technicko-ekonomické hodnocení investičních variant - IRR s kalkulovanou tržní cenou, NPV při 1% dis. sazbě								
Označení varianty	Při úročení 4%		Při úročení 4,5%		Při úročení 5%		Při úročení 5,5%	
	NPV	IRR	NPV	IRR	NPV	IRR	NPV	IRR
	CZK	%	CZK	%	CZK	%	CZK	%
1	162 266,71	6,10	153 515,29	5,70	144 656,53	5,31	135 691,66	4,92
55	147 398,24	5,30	138 012,21	4,91	128 511,04	4,56	118 896,07	4,20
109	161 844,84	6,04	153 037,47	5,66	144 122,08	5,26	135 099,89	4,88
163	146 949,16	5,26	137 507,17	4,87	127 949,37	4,53	118 277,08	4,16

### Způsob vytápění objektu

Vytápění reprezentanta je zajišťováno dřevní hmotou. Náklady na vytápění nulové varianty i variant modelovaných vychází z poměru ceny (pořizovacích nákladů na dřevní hmotu) a výhřevnosti paliva (pro nulovou variantu uvedeno v tabulce 61). Pro potvrzení hypotézy je nutné prověřit, zdali je možné najít nákladově efektivní modelovou variantu i při využití jiných druhů paliva.

Pro modelování bude využit reprezentant, pro nějž budou uvažovány, při zachování všech technických a tepelně-technických parametrů, rozdílné možnosti vytápění. Modelování dále předpokládá, že objekt disponuje adekvátní otopnou soustavou, do níž není nutné investovat.

Rozhodujícím parametrem pro modelování bude hodnota celkové roční potřeby tepla na vytápění  $Q_{dem}$  [kWh] (pro nulovou variantu tabulka 58); respektive rozdíl mezi variantou nulovou a variantami modelovanými. Celkovou roční potřebu tepla na vytápění je nutné upravit o součinitele přeměny energie podle vztahu (21), čímž je vymezena roční dodaná energie na vytápění  $EP_H$  [kWh/rok]. Na základě hodnoty  $EP_H$  lze stanovit náklady na palivo (pro nulovou variantu a varianty modelované) a úspory na nákladech na palivo.

Pro modelování jsou voleny alternativní způsoby vytápění objektu pomocí hnědého uhlí, elektrických přímotopů a zemního plynu. Parametry vstupující do modelování jsou shrnuty v tabulce 73. Modelování je provedeno pro varianty s optimalizovanými náklady dle kalkulací tržních cen.

Výsledky modelování jsou shrnuty v tabulce 74. Hodnota vnitřního výnosového procenta jednotlivých variant roste s náklady na vytápění, což však není určující pro volbu otopné soustavy a paliva. Z hlediska nákladů na vytápění je nejvhodnější použití dřevní hmoty, či hnědého uhlí v závislosti na pořizovací ceně. Vytápění zemním plynem je zpravidla

dvojnásobně nákladnější v porovnání s vytápěním dřevní hmotou, vytápění přímotopy i čtyřikrát nákladnější.

**Tab. 74** Stanovení nákladů na vytápění reprezentativního objektu [autor]

Ukazatel (popis)	Označení (vztah)	Jednotka	Vypočítaná hodnota
<b>Reprezentant – vytápění hnědým uhlím (nulová varianta)</b>			
Celková roční potřeba tepla na vytápění	$Q_{dem}$	[kWh]	36 061,60
Součinitele přeměny energie $\eta$	dle kap. 4	-	0,81 <sup>16</sup>
Roční dodaná energie na vytápění	$EP_H$	[kWh/rok]	44 520,50
Pořizovací cena hnědého uhlí	PC	CZK/Kg	3,40 <sup>17</sup>
<b>Náklady na vytápění</b>	potřeba/výhřev x PC	[CZK/rok]	<b>31 018,80</b>
<b>Reprezentant – vytápění zemním plynem (nulová varianta)</b>			
Celková roční potřeba tepla na vytápění	$Q_{dem}$	[kWh]	36 061,60
Součinitele přeměny energie $\eta$	dle kap. 4	-	0,99 <sup>18</sup>
Roční dodaná energie na vytápění	$EP_H$	[kWh/rok]	36 425,60
Pořizovací cena zemního plynu	dle ceníku RWE	CZK/Kwh	1,265 <sup>19</sup>
<b>Náklady na vytápění</b>	potřeba x PC	[CZK/rok]	<b>46 078,39</b>
<b>Reprezentant – vytápění elektrickými přímotopy (nulová varianta)</b>			
Celková roční potřeba tepla na vytápění	$Q_{dem}$	[kWh]	36 061,60
Součinitele přeměny energie $\eta$	dle kap. 4	-	0,98 <sup>20</sup>
Roční dodaná energie na vytápění	$EP_H$	[kWh/rok]	36 797,00
Pořizovací cena zemního plynu	dle ceníku ČEZ	CZK/Kwh	2,358 <sup>21</sup>
<b>Náklady na vytápění</b>	potřeba x PC	[CZK/rok]	<b>86 767,33</b>

Z tabulky jsou patrné náklady na vytápění jednotlivých variant i úspory na vytápění. Vytápění dřevní hmotou (nejlevnějším palivem) vykazuje nejvyšší vnitřní výnosové procento, což ve srovnání s dalšími palivy potvrzuje hypotézu.

Hypotéza by nemusela být potvrzena v případě levnějšího zdroje paliva, které se však nepodařilo nalézt. Náklady na vytápění jsou stanoveny na základě tržních cen v nejbližším okolí reprezentanta (dřevní hmota, hnědé uhlí) nebo z ceníkových cen distributorů (zemní plyn a elektrická energie).

Další zdroje vytápění nebyly s ohledem na nutné další investice uvažovány (například využití tepelného čerpadla a podobně).

16 Součinitel přeměny energie byl stanoven jako součin účinnost zdroje přeměny energie  $\eta_{gen} = 0,9$  a součinitel rozvodu soustavy  $\eta_{distr} = 0,95$ .

17 Pořizovací náklady hnědého uhlí vychází z platného ceníku dostupného například na <http://www.palivove-drevoolomouc.cz/prodej-uhli-olomouc>, výhřevnost hnědého uhlí je 17,6 MJ/kg, resp. 4,88 kWh/kg.

18 Součinitel přeměny energie byl stanoven jako součin účinnost zdroje přeměny energie  $\eta_{gen} = 1,1$  a součinitel rozvodu soustavy  $\eta_{distr} = 0,9$ .

19 Náklady na zemní plyn vychází z platného ceníku společnosti RWE, a. s. při zohlednění odebraného množství. Dostupné na <http://www.tzb-info.cz/prehled-cen-zemniho-plynu>.

20 Součinitel přeměny energie byl stanoven jako součin účinnost zdroje přeměny energie  $\eta_{gen} = 0,98$  a součinitel rozvodu soustavy  $\eta_{distr} = 1,0$ .

21 Náklady na elektrickou energii vychází z platného ceníku společnosti ČEZ, a. s. při využívání tarifu „Přímotop D26d“, cena se s odebraným množstvím energie nemění. (Ceník pro rok 2014.)



**Tab. 75** IRR variant s kalkulovanou tržní cenou při rozdílném způsobu vytápění<sup>22</sup> [autor]

Technicko-ekonomické hodnocení investičních variant - IRR s kalkulovanou tržní cenou, NPV při 1% dis. sazbě								
Označení varianty	Přidaná tepelná izolace			Investice	Vytápění objektu		Při dis. sazbě 1%	
	SO1-3	STR1	OZ (DB)	IN	Náklady	Úspora	NPV	IRR
	mm; λ	mm; λ	U [W/m <sup>2</sup> K]	CZK	CZK/rok	CZK/rok	CZK	%
Vytápění objektu dřevní hmotou								
1	100; 0,032	200; 0,038	1,20	299232,30	4673,09	19826,95	212455,77	5,21
55	Greywall		0,89	320931,48	4267,38	20232,65	201226,82	4,74
109	120; 0,037	200; 0,038	1,20	301145,42	4602,87	19897,16	212354,78	5,17
163	EPS 70 F		0,89	322844,60	4198,22	20301,81	201098,62	4,70
Vytápění objektu hnědým uhlím								
1	100; 0,032	200; 0,038	1,20	299232,30	5916,37	25102,43	348603,81	7,42
55	Greywall		0,89	320931,48	5402,73	25615,57	340147,59	6,91
109	120; 0,037	200; 0,038	1,20	301145,42	5827,47	25191,33	348984,95	7,39
163	EPS 70 F		0,89	322844,60	5315,17	25703,63	340507,18	6,89
Vytápění objektu zemním plynem								
1	100; 0,032	200; 0,038	1,20	299232,30	11290,15	34788,24	598572,50	11,14
55	Greywall		0,89	320931,48	10309,98	35768,42	602169,34	10,62
109	120; 0,037	200; 0,038	1,20	301145,42	11120,51	34957,89	601037,47	11,12
163	EPS 70 F		0,89	322844,60	10142,88	35935,51	604568,56	10,60
Vytápění objektu elektrickými přímotopy								
1	100; 0,032	200; 0,038	1,20	299232,30	16550,05	70217,28	1512914,88	23,43
55	Greywall		0,89	320931,48	15113,23	71654,10	1528296,73	22,28
109	120; 0,037	200; 0,038	1,20	301145,42	16301,37	70465,96	1517419,56	23,37
163	EPS 70 F		0,89	322844,60	14868,24	71899,09	1532706,19	22,22

### Užívání objektu v rámci životního cyklu a předpokládané další využití objektu

Jedním z parametrů v dosavadních úvahách je i předpokládaná délka provozu objektu. U reprezentanta byla stanovena na 30 let, což vychází z předpokladu dalšího obývání objektu a doby životnosti vybraných postupů a technologií. Určujícím kritériem a požadavkem v této oblasti je diskontovaná doba návratnosti investice, která musí být kratší třiceti let.

U variant základních se diskontovaná doba návratnosti pohybuje v rozmezí mezi 25-tým rokem u varianty 109 až 30-tým rokem u varianty 108. U všech variant je kratší, než požadovaných 30 let.

U variant cenově optimalizovaných nastává diskontovaná doba návratnosti mezi 16-tým až 18-tým rokem a u variant se započítáním dotace se doba návratnosti dále zkrátí a nastává mezi sedmým až devátým rokem.

Při požadavku kratšího užívání objektu cca patnáct, či méně roků nemůže být při splnění všech parametrů hypotéza potvrzena. Investice do zlepšení tepelně-technických reprezentuje projekty s dobou životnosti v horizontu několika desetiletí. Pro splnění uváděných podmínek musí být objekt bezpodmínečně celoročně užívaný, případné výpadky v užívání, zejména v průběhu topné sezony, snižují efektivitu investice. Zejména proto, že snižují kladné finanční toky spojené s úsporou nákladů na vytápění.

<sup>22</sup> Náklady na vytápění objektu RD vypočítané pro různá paliva, srovnej: <http://vytapani.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/138-porovnani-nakladu-na-vytapani-tzb-info>.

## Způsob dodávek stavebních prací

Dosavadně uváděné modelové varianty počítají s kompletní stavební dodávkou a montáží prováděnou autorizovanou stavební firmou. Mohou však nastat situace, kdy je dodávka a montáž prováděna částečně svépomocí. V konkrétním případě mohou být svépomocně obstarány práce související se zlepšením tepelně-technických vlastností stropní konstrukce (prosté položení tepelné izolace) a obvodových stěn (provedení KZS) a demontáž stávajících výplní otvorů.

Pro tento způsob výstavby je však určující dodržení technologických postupů a kvality prováděné práce. Nevýhodou je absence záruky.

Náklady svépomocné výstavby mohou vycházet z kalkulačního vzorce, který je očištěn o mzdy a odvody (při dodávce prací investorem), část režijních nákladů a zisk. Naopak je třeba brát v zřetel vyšší pořizovací cenu materiálů spojenou s daní z přidané hodnoty ve výši 21 %.

Hypotéza bude i v tomto případě s největší pravděpodobností potvrzena, vzhledem k tomu, že se však nejedná o klasickou dodávku stavebních prací, není toto tvrzení podloženo výpočtem.

### 13.7 Simulace akceptovatelných investičních variant

Vzhledem k nejistotě, která je spojena zejména s předpokládanými výchyly investičních nákladů je třeba prověřit platnost závěrů pomocí simulací.

U vybraných investičních variant byly náklady optimalizovány (kapitola 13. 6. 2) při využití kalkulace předpokládaných tržních nákladů. Optimalizovány byly náklady na hlavní materiál (izolant) a náklady na materiály obsažené v příslušné montážní položce odpovídajícího technologického postupu.

Lze však předpokládat, že v reálném tržním prostředí dochází k cenovým výkyvům a uvedené kalkulované náklady se mohou měnit.

Pomocí nastavení simulace lze s určitostí pokrýt všechny pravděpodobnostní scénáře a do jisté míry zmíněné odchylky odhadnout.

Pro simulování byly vybrány modelované varianty číslo 1, 55, 109 a 163 (parametry variant jsou uvedeny v tabulkách 70 a 71). Modelována je předpokládaná změna investičních nákladů následovně:

- změna nákladů na hlavní materiál (izolant)  $\pm 15$  %,
- změna nákladů na montáž  $\pm 15$  %,
- změna nabídkové ceny u výplní okenních a dveřních otvorů,
- změna navazujících nákladů (VRN, DPH).

Předpokládané změny nákladů vychází z odborného odhadu a pokrývají zejména případné množstevní slevy na materiál, navýšení ceny materiálu při ztížených možnostech jeho pořízení, cenové výkyvy, rozdílné kalkulace nepřímých nákladů dodavatelských firem, odchylky mzdových nákladů a podobně. Pro simulaci bylo použito programu CrystallBall, pravděpodobnostního rozdělení beta PERT, nastavení pro 100 000 opakování simulace. Vstupní data pro simulaci jsou shrnuta v tabulce 76. Výsledkem simulace je pravděpodobnostní vyjádření celkové výše investičních nákladů a s tím spojené proměnné hodnoty ekonomických parametrů NPV a IRR (rekapitulováno v tabulce 77). Se vzrůstající odchylkou celkových investičních nákladů klesá pravděpodobnost výskytu těchto variant, nicméně v tabulce jsou vypočítány právě ekonomické parametry pro variantu minimálních a maximálních simulovaných investičních nákladů.

**Tab. 76** Vstupní data pro simulaci celkových investičních nákladů [autor]

Vstupní data pro simulaci celkových investičních nákladů						
Popis		Varianta				Simulace
Konstrukce	Náklady (CZK)	1	55	109	163	
SO1-3	Technologie	61 792,40	61 792,40	61 792,40	61 792,40	±15%
	Materiál	21 295,17	21 295,17	22 933,26	22 933,26	±15%
	Ostatní	12 503,70	12 503,70	12 503,70	12 503,70	-
STR1	Technologie	1 688,88	1 688,88	1 688,88	1 688,88	±15%
	Materiál	9 895,20	9 895,20	9 895,20	9 895,20	±15%
	Ostatní	3 444,72	3 444,72	3 444,72	3 444,72	-
OZ, DB	Dodávka a mont.	116 180,00	134 770,00	116 180,00	134 770,00	±15%
	VRN	3 402,00	3 680,85	3 426,57	3 705,42	-
	Projekt	30 000,00	30 000,00	30 000	30 000,00	-
	DPH 15%	39 030,31	41 860,64	39 279,71	42 110,04	-
	<b>Celkové IN</b>	<b>299 232,30</b>	<b>320 931,48</b>	<b>301 145,42</b>	<b>322 844,60</b>	-

Z tabulky 77 je patrná oscilace hodnot ekonomických ukazatelů NPV a IRR pro varianty se simulovanými maximálními a minimálními investičními náklady. Odchylku hodnoty NPV lze predikovat v přibližném intervalu  $\pm 32\,000,00$  CZK, IRR  $\pm 0,90$  %. Z výsledků je patrná citlivost ukazatelů na celkových investičních nákladech. Pro každou ze simulovaných variant lze hypotézu – při očekávatelných změnách nákladů – potvrdit s vysokou rezervou. Obecně lze říci, že se snižujícími se náklady, roste efektivita investice a naopak.

**Tab. 77** Simulované hodnoty ekonomických parametrů NPV a IRR [autor]

Simulované hodnoty ekonomických parametrů NPV a IRR					
Výsledná hodnota pro variantu		Varianta			
		1	55	109	163
IN (CZK)	Minimální	268 232,91	288 212,59	270 954,59	289 371,28
	<b>Střed (počáteční)</b>	<b>299 232,30</b>	<b>320 931,48</b>	<b>301 145,42</b>	<b>322 844,60</b>
	Maximální	329 117,10	353 274,58	329 599,66	354 828,01
NPV (CZK)	Minimální	243 455,16	233 945,71	242 545,62	234 571,94
	<b>Střed (počáteční)</b>	<b>212 455,77</b>	<b>201 226,82</b>	<b>212 354,78</b>	<b>201 098,62</b>
	Maximální	182 570,97	168 883,72	183 900,55	169 115,22
IRR (%)	Minimální	6,15	5,70	6,11	5,70
	<b>Střed (počáteční)</b>	<b>5,21</b>	<b>4,74</b>	<b>5,17</b>	<b>4,70</b>
	Maximální	4,36	3,93	4,38	3,92

Hlubší simulační úlohy mohou být provedeny například pro celou kalkulaci nákladů, v tomto případě byla simulace omezena pouze na dílčí materiálové náklady, které jsou však pro stanovení celkových investičních nákladů rozhodující. Výsledky simulace nebyly korelovány, předpokládá se však pozitivní závislost nebo nezávislost modelovaných parametrů. Vzhledem k počtu simulací však použití korelace výsledek zásadně neovlivní. Výstupy simulované úlohy jsou zpracovány v příloze 7 disertační práce.

### 13.8 Shrnutí výsledků modelované úlohy

Pro potvrzení / vyvrácení hypotézy byly modelovány všechny potenciální varianty splňující kombinaci veškerých výše definovaných požadavků. Modelová úloha byla záměrně provedena na objektu s nejhorsími parametry tak, aby byly všechny závěry jednoznačné

prokazatelné a každá další optimalizace vedla k vyšší ekonomické efektivitě modelovaných investičních variant.

Z tohoto hlediska byly prověřeny parametry nastavení cenové úrovně (lépe: hladiny), způsoby financování, možné dotační tituly, či změny vytápění a délky životního cyklu. Pro pokrytí možných odchylek byla vytvořena simulační úloha.

Z výsledků jsou pro každou z potencionálních investičních variant patrné ukazatele ekonomické efektivity, které lze podrobně interpretovat.

Pro všechny modelované varianty byla pro nastavená kritéria hypotéza potvrzena. Výsledkem modelování a simulace je nalezení nákladově optimální investiční varianty.

Následujícím, a posledním krokem, je výběr vhodné investiční varianty...

V úvahu připadají čtyři vybrané a optimalizované varianty s proměnnými tloušťkami izolantů a vlastnostmi výplní okenních a dveřních otvorů. Z modelování a postupné optimalizace jsou patrné vždy dvě a dvě (1 a 109, 55 a 163) varianty s téměř shodnými parametry. Z hlediska ekonomické efektivnosti je za daných podmínek nejvhodnější přijmout variantu číslo 1.<sup>23</sup>

---

<sup>23</sup> Dalšími kritérii pro uskutečnění investičního rozhodnutí mohou být například tloušťka izolantu a s ní provázaná celková tloušťka stěny ve smyslu osazení výplní okenních otvorů z hlediska jejich zastínění. Rozhodovat mohou další technologická omezení, například nutnost chránit desky EPS Greywall při montáži před přímým slunečním zářením a podobně...

## 14 APLIKACE DOSAŽENÝCH VÝSLEDKŮ, DISKUSE

Práce vychází ze současného stavu poznání v oblastech modelování a simulace, tepelné ochrany budov a energetické náročnosti budov, dosažitelných energetických úspor, principů trvale udržitelného rozvoje, technologií využívaných při zlepšování tepelně-technických vlastností budov a izolačních materiálů. Práce taktéž vychází ze standardních způsobů oceňování stavebních dodávek a prací, sestavování nákladů, výpočtů ukazatelů ekonomické efektivity a jejich interpretace.

V práci jsou propojeny základní inženýrské dovednosti: projektová činnost a předinvestiční příprava projektu, identifikace možných technických a technologických řešení, jejich ocenění a následné ekonomické vyhodnocení.

Pro potvrzení či vyvrácení hypotézy byly modelovány a simulovány potenciální investiční varianty zlepšující tepelně-technické vlastnosti reprezentanta. Pro modelování byl vybrán objekt samostatně stojícího rodinného domu vystavěného v polovině 20. století. Výběr byl cílený, přihlédnuto bylo k nejnepohodnějším parametrům (kompletně ochlazená obálka budovy, původnost konstrukcí, celkově nevyhovující tepelně-technické ukazatele).

Výchozím bodem modelování při stanovení nákladů byly směrné ceny dle databáze společnosti ÚRS Praha, a. s., které využívají ceníkové ceny výrobců materiálů, které jsou však zpravidla vyšší, než ceny tržně dosažitelné. Uvažovaným palivem byla dřevní hmota, vzhledem k očekávaným nižším úsporám na vytápění ve srovnání s dalšími palivy.

Výsledkem modelování je vyhodnocení investičních variant na základě kombinace požadovaných kritérií.

Vzhledem k tomu, že je modelován jen jeden objekt, nebyly obdobně stanoveny náklady pro všechny v práci uvedené technologické postupy a izolační materiály. Jejich stanovování by však probíhalo obdobně.

Výsledky práce mohou být aplikovány opakovaně na různé objekty. Výpočet nulové varianty je vždy shodný, výběr potenciálních investičních variant a jejich modelování taktéž.

Předmětem dalšího rozvíjení problematiky může být propojení popsané metodiky s některým existujícím softwarem a jeho doplnění o ekonomickou návaznost. Nebo vytvoření samostatné ucelené aplikace schopné po zadání určujících parametrů a požadavků modelovat a identifikovat nejvýhodnější varianty. Základem pro tuto aplikaci je však potvrzení hypotézy a v práci zpracovaná modelová úloha pomocí tabulkového procesoru MS Excell, která představuje mezikrok mentálního modelu a samostatně pracujícího výpočetního softwaru. Obdobně může být přikročeno i k modelování a simulaci obtížně predikovatelných makroekonomických parametrů, k nimž patří například inflace. Model může umožňovat, mimo jiné, i nastavení cen paliv a jejich očekávané změny. Modelová úloha uvedená v této práci tyto ukazatele pomíjí a to v důsledku jejich spíše pozitivního vlivu na další potvrzování hypotézy (například při – z dlouhodobého hlediska – očekávaném zvyšování cen za energie).

V dalších úlohách mohou být modelovány vlastnosti objektů mladších, splňujících tepelně-technické požadavky alespoň částečně. Nacházet lze také řešení minimalistická, a to taková, která pouze dostojí požadavkům, ovšem bez prokázání nákladové efektivity. Tyto metody mohou být navázány na vývoj požadavku technických norem pro součinitel prostupu tepla  $U$  (tabulka 1a).

Za předpokladu, že posuzovaná budova splňuje požadavek vztahující se k přibližnému datu její realizace, lze dle postupu uvedeném v [53] najít takové řešení zlepšení tepelně-technických vlastností jednotlivých částí obálky budovy, která pokryjí rozdíl mezi hodnotami současně požadovaného (doporučeného) součinitele prostupu tepla  $U$  a hodnotami

požadovanými v době realizace objektu. Uvedenému rozdílu dále odpovídá minimální tloušťka izolantu a navazující technologické postupy, které je možné ocenit. Omezení platnosti hypotézy pro budovy realizované přibližně do roku 1992 vychází jednak z životnosti konstrukcí, která je minimálně 25 let, to znamená, že u budov mladších se celkové rekonstrukce obálky podléhající posuzování neuvažují, jelikož jsou vzhledem k nedovršení doby životnosti neopodstatněné. A dále z poměrně radikálního přehodnocení tepelně-technických požadavků souvisejících s (v době 90-tých let) rozvojem nových technologií a větší dostupností stavebních materiálů.

Vzhledem k modelově dosaženým výsledkům, lze předpokládat, že nákladově optimální řešení zlepšování tepelně-technických vlastností budov mladších bude odpovídat variantám jen nepatrně splňujícím současné požadavky.

Obdobně může být předkládaný model, po změnách některých parametrů, využíván i mezinárodně a to zvláště tehdy, pokud dojde k avizovanému přibližování národních technických norem a výpočtových postupů.

Dalším využitím předkládaných výstupů může být jejich aplikace u některých řešených problémů, jakými jsou revitalizace panelových sídlišť [13] nebo optimalizace nákladů rekonstrukcí objektů vhodných pro sociální bydlení [20].

Obdobně lze aplikované výsledky zobecňovat, přičemž výchozím bodem může být určení optimální technologie a tloušťky izolantu pro každou z konstrukcí zvlášť pouze na základě jejich stávajících tepelně-technických vlastností.

Předkládaná práce poskytuje ucelený pohled na problematiku energetické náročnosti stávajících budov a může se stát vodítkem pro podobné projekty při hledání optimálních investičních variant.

Praktickým přínosem práce může být aplikace výsledků v projekční činnosti, při provádění výpočtů energetické náročnosti budov a při hledání optimální investiční varianty. Praktické využití najde práce také při investičním rozhodování jako pomůcka k přijetí nákladově optimální varianty projektů zlepšujících tepelně-technické vlastnosti objektů na základě podložitelných výpočtů a nikoli podle domněnek, či empirie architektů, projektantů nebo investorů.

Výzkumným a vědeckým přínosem práce je ucelené shrnutí problematiky týkající se projektů zlepšujících tepelně-technické vlastnosti objektů a návrh a vytvoření podrobné metodiky a funkční modelové úlohy schopné nalézt nákladově optimální investiční variantu.

## 15 ZÁVĚRY

### 15.1 Dosažení cíle práce, potvrzení / vyvrácení hypotézy

Cílem disertační práce bylo zpracování, modelování a simulace jednotlivých investičních variant souvisejících se zlepšováním tepelně-technických vlastností budov a nalezení – v ideálním případě – varianty nákladově optimální.

Hlavním výstupem práce je popsání ucelené metodika (modelová a simulační úloha) využitelná pro definování všech potenciálních investičních variant projektů zlepšujících tepelně-technické vlastnosti objektu. Výsledkem modelování je vyhodnocení investičních variant na základě kombinace požadovaných kritérií.

Z předkládaných výsledků je patrné, že cíle práce byly naplněny.

Cílem disertační práce bylo potvrzení/vyvrácení následující hypotézy:

Investování do zlepšování tepelně-technických vlastností objektů je z hlediska investičních nákladů a následných nákladů životního cyklu ekonomicky efektivní. Pro objekty individuálního bydlení starší dvaceti let lze nalézt nákladově optimální investiční variantu.

**Hypotéza práce byla na základě zpracované modelové úlohy a simulace potvrzena.**

Pro potvrzení hypotézy byla zpracována modelová úloha zlepšování tepelně-technických vlastností budovy. Model byl otestován na samostatně stojícím objektu pro individuální bydlení. První potvrzení hypotézy proběhlo na základě kombinace nejnevhodnějších parametrů, které byly následně optimalizovány, a dále hypotézu práce potvrzovaly. Základním požadavkem bylo zhodnocení přijaté investiční varianty diskontovanými finančními toky minimálně ve výši 1 %.

Hypotéza byla potvrzena:

- u všech základních investičních variant (při financování vlastními zdroji),
- u všech nákladově optimalizovaných investičních variant (při financování vlastními zdroji i při financování zdroji cizími),
- u všech nákladově optimalizovaných investičních variant při využití dotačních titulů,
- u všech alternativ použitého paliva,
- u všech simulovaných alternativ při změnách investičních nákladů,
- splněn byl také požadavek diskontované doby návratnosti u všech variant.

Hypotézu naopak nelze potvrdit u objektů, které jsou vyňaty z posuzování energetické náročnosti budov, u budov, které jsou vyňaty z posuzování podle normy ČSN 73 0540 Tepelná ochrana budov a u objektů památkově chráněných.

### 15.2 Shrnutí

Z výsledků předkládané disertační práce je patrné, že lze nacházet nákladově optimální řešení investičních projektů zlepšujících tepelně-technické vlastnosti budov. Při podrobném prostudování problematiky, zejména při uvědomění si celospolečenských souvislostí, je patrné, že je přijímání takovýchto řešení nezbytné. Ne vždy se při řešení naznačeného problému lze opírat o direktivy, zákony nebo technické normy, velmi důležitou roli hraje také odhad možného chování externího prostředí.

Předkládaná disertační práce se zabývá dlouhodobě aktuálním problémem snižování energetické náročnosti budov při současném řešení její ekonomické efektivity. Z výsledků disertační práce je zřejmé, že výzkumný model byl vyřešen a může přinést dlouhodobý užitek. Celkově je disertační práce koncipována technicko-ekonomicky, avšak řešením problému je nejen výběr nejlepších technicko-ekonomických variant, variant ekonomicky nejefektivnějších, ale takových variant, které vyvažují veškeré objektivní i subjektivní aspekty.



## 16 POUŽITÁ LITERATURA

- [1] ARLT, J., *Ekonomické časové řady*. Praha: GRADA Publishing, 2007. 288 s. 1. vydání. ISBN 978-80-247-1319-9
- [2] BALÍK, M. a kolektiv, *Odvlhčování staveb*. Praha: GRADA, 2008. 312 s. 1. vydání. ISBN 978-80-247-2693-9
- [3] BENKREIRA, H., KHAN, A., HOROSHENKOV, K.V., *Sustainable acoustic and thermal insulation materials from elastomeric waste residues*. Journal Chemical Engineering Science 66 (2011) p. 4157–4171
- [4] BROŽOVÁ, H., a kol. *Modely pro vícekritériální rozhodování*. Praha: CREDIT, 2003. 178 s. ISBN 80-213-1019-7
- [5] CROSBIE, T., BAKER, K., *Energy-efficiency interventions in housing: learning from the inhabitants*, Building Research & Information, 38:1, 70-79 2010
- [6] ČERMÁKOVÁ, B., MUŽÍKOVÁ, R., *Ozeleněné střechy*. Praha: GRADA, 2009. 248 s. 1. vydání. ISBN 978-80-247-1802-6
- [7] DLOUHÝ, M., a kol. *Simulace pro ekonomy*. Praha: OECONOMICA, 2005. 152 s. 1. vydání. ISBN 80-245-0973-3
- [8] DODOO, A., GUSTAVSSON, L., SATHRE, R., *Building energy-efficiency standards in a life cycle primary energy perspective*. Journal Energy and Buildings 43 (2011) p. 1589–1597
- [9] DOSTÁL, P., *Pokročilé metody analýz a modelování*. Brno: CERM, 2006. 64 s. 1. vydání. ISBN 80-214-3324-8
- [10] DROZDEN, F., *Cena – hodnota – model*. Praha: OECONOMICA, 2003. 128 s. 1. vydání. ISBN 80-245-0501-0
- [11] FAJKOŠ, A., *Ploché střechy*. Brno: Akademické nakladatelství CERM 2002. 80 s. 1. vydání. ISBN 80-7204-247-5
- [12] GIESELER, U. D. J., HEIDT, F. D., BIER, W., *Evaluation of the cost efficiency of an energy efficient building*, Renewable energy 29 (2004) page 369-376.
- [13] HANÁK, T., RADUJKOVIČ, M., VUKOMANOVIČ, M., *Economic evaluation of energy-saving measures on panel buildings in the Czech Republic*. Tehničky vjestnik – Technical gazette, 2013, roč. 20, č. 3, s. 497-504. ISSN: 1330- 3651.
- [14] HUNT, A., GREENSTONE, M., *Is There an Energy Efficiency Gap?* Journal of Economic Perspectives, 26(1): 3-28.
- [15] CHALOUPKA, K., SVOBODA, Z., *Ploché střechy, praktický průvodce*. Praha: GRADA, 2009. 268 s. 1. vydání. ISBN 987-80-247-2916-9
- [16] CHYBÍK, J., *Přírodní stavební materiály*. Praha: GRADA, 2009. 272 s. 1. vydání. ISBN 978-80-247-2532-1
- [17] KORYTÁROVÁ, J., *Celoživotní náklady budov*. Recenzovaný časopis Stavební obzor číslo 7/2010 s. 219-221. Praha: FS ČVUT, FS VŠB TU Ostrava, FS VUT v Brně, ČKAIT 2010, ISSN 1210-4027.
- [18] KORATÁROVÁ, J., *Ekonomika investic*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. 170 s. Studijní opora pro studijní programy s kombinovanou formou studia.
- [19] KORYTÁROVÁ J., HROMÁDKA V., MARKOVÁ L., *Náklady životního cyklu budov*. Brno: CERM, 2006. Příspěvek na konferenci Lidé, stavby, příroda 2006 ISBN 80-214-3189-X
- [20] KOVACEVIC, I., SUMMER, M., ACHAMMER, C., *Life-cycle Oriented Renovation Strategies for Social Housing Stock*, Organization, technology and management in construction · a ninternational journal · 5(2)201, ISSN 1847-6228 (Online)
- [21] KUŽELA, M., *Stropy*. Brno: ERA Group, 2005. 130 s. 2. vydání. ISBN 80-7366-014-8
- [22] LANK, J., HLAVÁČEK, P., *Rekonstrukce fasád*. Brno: ERA Group, 2006. 94 s. 1. vydání. ISBN 80-7366-072-5
- [23] LEDENER, H., *Vom Altbau zum Niedrigenergiehaus*. Staufen bei Freiburg: Ökobuch Verlag GmbH, 1997. 216 s. ISBN 3-922964-64-8
- [24] MALPAS, R., *Global forces towards greater energy efficiency*, Project Appraisal, 4:1, 9-16 1989

- [25] MAŇAS, M., *Optimalizační modely pro ekonomické rozhodování*. Praha: Vysoká škola ekonomická, 1993. 102 s. 1. vydání. ISBN 80-7079-915-3
- [26] MILDEOVÁ, S., VOJTKO, V., *Manažerské simulace dynamických procesů*. Praha: OECONOMICA, 2006. 106 s. 1. vydání. ISBN 80-245-1055-3
- [27] MWASHA, A., WILLIAMS, R. G., IWARO, J., *Modeling the performance of residential building envelope: The role of sustainable energy performance indicators*. Journal Energy and Buildings 43 (2011) p. 2108–2117
- [28] MOTYKOVÁ, A., *Okna, správná řešení pro novostavby i rekonstrukce*. Praha: GRADA, 2008. 112 s. 1. vydání. ISBN 978-80-247-2674-8
- [29] NYČ, M., *Sádrokarton*. Praha: GRADA, 2005. 328 s. 1. vydání. ISBN 80-247-0986-4
- [30] PEJCHAL, J., ZLATNÍK, T., *Když chci stavět dům (od pozemku ke kolaudaci)*. Brno: Computer Press, 2007. 88 s. 1. Vydání. ISBN 978-80-251-1482-7
- [31] PUŠKÁR, A., FUČILA, J., SZOMOLÁNYIOVÁ, K., MRLÍK, J., *Okna, dveře, prosklené stěny*. Bratislava: JAGA Group, 2003. 256 s. 1. české vydání. ISBN 80-88905-47-8
- [32] RYAN, E. M., SANQUIST, T. F., *Validation of building energy modeling tools under idealized and realistic conditions*. Journal Energy and Buildings 47 (2012) p. 375–382
- [33] ŘEHÁNEK, J., *Tepelně-technické a energetické vlastnosti budov*. Praha: GRADA, 2002. 248 s. ISBN 80-7169-582-3
- [34] SADINENI S. B., MADALA, S., BOEHM R, F., *Passive building energy savings: A review of building envelope components*, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2011, Vol.15(8), pp.3617-3631
- [35] SOLAŘ, J., *Poruchy a rekonstrukce zděných staveb*. Praha: GRADA, 2008. 192 s. 1. vydání. ISBN 978-80-247-2672-4
- [36] SOZER, H., *Improving energy efficiency through the design of the building envelope*. Journal Building and Environment 45 (2010) 2581e2593
- [37] SU, B., *The impact of passive design factors on house energy efficiency*, Architectural Science Review, 54:4, 270-276 2011
- [38] SRDEČNÝ, K., MACHOLDA, F., *Úspory energie v domě*. Praha: GRADA, 2004. 112 s. 1. vydání. ISBN 80-247-0523-0
- [39] SRDEČNÝ, K., *Energeticky soběstačný dům, realita či fikce?* Brno: ERA Group, 2007. 94 s. 2. vydání. ISBN 978-80-7366-103-8
- [40] STEINER, I., *Podlahy*. Praha: GRADA, 2008. 136 s. 1. vydání. ISBN 80-247-1242-3
- [41] ŠÁLA, J., KEIM, L., SVOBODA, Z., TYWONIAK, J., *Tepelná ochrana budov, komentář k ČSN 73 0540*. Praha: ČKAIT 2008. 292 S. ISBN 978-80-87093-30-6
- [42] ŠEVČŮ, O., ŠTUMPA, B., *100 osvědčených stavebních detailů*. Praha: GRADA, 2010. 216 s. 1. vydání. ISBN 978-80-247-3114-8
- [43] ŠUBRT, R. a kolektiv, *Tepelné mosty pro nízkoenergetické a pasivní domy*. Praha: GRADA, 2011. 224 s. 1. vydání. ISBN 987-80-247-4059-1
- [44] ŠUBRT, R., ZVÁNOVCOVÁ, P., ŠKOPEK, M., *Katalog tepelných mostů, 1 – běžné detaily*. České Budějovice: Energy consulting, 2008. 232 s. 1. Vydání. ISBN 978-80-254-2715-6
- [45] TICHÁ, A., KORYTÁROVÁ, J., ŠANCOVÁ, L., AIGEL, P., *Životnost funkčních dílů budovy*. Seminář Cena, životnost a ekonomická efektivita stavebního díla, VUT v Brně, Ústav stavební ekonomiky a řízení, 2007.
- [46] TYWONIAK, J. *Nízkoenergetické domy, Principy a příklady*. Praha: GRADA, 2005 (dotisk 2007). 200 s. ISBN 80-247-1101-X
- [47] TYWONIAK, J. *Nízkoenergetické domy 2, Principy a příklady*. Praha: GRADA, 2008. (dotisk 2010) 204 s. ISBN 978-80-247-2061-6
- [48] TYWONIAK, J. *Nízkoenergetické domy 3, Nulové, pasivní a další*. Praha: GRADA, 2012. 204 s. ISBN 978-80-247-3832-1
- [49] TYWONIAK, J. *Stanovení parametrů pro novou generaci energeticky úsporných budov*. Závěrečná zpráva projektu 122 142 0506 MPO EFEKT, Praha: Fakulta stavební ČVUT, 2011
- [50] VAVERKA, J., *Tepelná ochrana budov (Souhrn fyzikálních veličin stavebních materiálů a výpočtů k ČSN 73 0540)*. Brno: VUT v Brně, Fakulta architektury, 1997. 108 s. 1. vydání. ISBN 80-214-0854-X

- [51] VÝSKALA, M., KORYTÁROVÁ, J. *Náklady na zlepšení tepelně technických vlastností budov*. recenzovaný časopis Stavební obzor číslo 9/2010 s. 279 - 282, Praha: FS ČVUT, FS VŠB TU Ostrava, FS VUT v Brně, ČKAIT
- [52] VÝSKALA, M., *Creating Models for Projects Improving the Thermal-Technical Properties of Buildings - Theoretical Basis*. International Scientific Conference People, Buildings and Environment 2012. Brno: VUT v Brně, Fakulta stavební, ISBN 978-80-214-4616-8
- [53] VÝSKALA, M., *Investment costs of the Building Envelope Reconstructions*. International journal of Build Environment, Szent István University, Budapest
- [54] WANG, S., YAN, Ch., XIAO, F., *Quantitative energy performance assessment methods for existing buildings*. Journal Energy and Buildings 55 (2012) p. 873–888
- [55] ZMEŠKAL, ZDENĚK *Finanční modely*. Praha: EKOPRESS, 2004. 236 s. 1. vydání. ISBN 80-86119-87-4
- [56] [www.tepelnymost.cz](http://www.tepelnymost.cz)
- [57] [www.isover.cz](http://www.isover.cz)
- [58] [www.rockwool.cz](http://www.rockwool.cz)
- [59] [www.baumit.cz](http://www.baumit.cz)
- [60] [www.tzb-info.cz](http://www.tzb-info.cz)
- [61] [www.dcd-ideal.cz](http://www.dcd-ideal.cz)
- [62] [www.pasivnidomy.cz](http://www.pasivnidomy.cz)
- [63] [www.weber-terranova.cz](http://www.weber-terranova.cz)
- [64] [www.cz.foamglas.com](http://www.cz.foamglas.com)
- [65] [www.konopnaizolace.cz](http://www.konopnaizolace.cz)
- [66] [www.naturwool.cz](http://www.naturwool.cz)
- [67] [www.novazelenausporam.cz](http://www.novazelenausporam.cz)
- [68] [www.czb.cz](http://www.czb.cz)
- [69] ČSN 01 3420 *Výkresy pozemních staveb – kreslení výkresů stavební části*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2007.
- [70] ČSN 73 0540-1, *Tepelná ochrana budov – Část 1: Terminologie*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009.
- [71] ČSN 73 0540-1, *Tepelná ochrana budov – Část 2: Požadavky*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.
- [72] ČSN 73 0540-1, *Tepelná ochrana budov – Část 1: Návrhové hodnoty veličin*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2005.
- [73] ČSN 73 0540-1, *Tepelná ochrana budov – Část 1: Výpočtové metody*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009.
- [74] ČSN EN ISO 10077-1, *Tepelné chování oken, dveří a okenic – Výpočet součinitele prostupu tepla – Část 1: Všeobecně*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2007.
- [75] ČSN EN ISO 10077-1, *Tepelné chování oken, dveří a okenic – Výpočet součinitele prostupu tepla – Část 2: Výpočtová teplota pro rámy*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2004
- [76] ČSN EN ISO 10211, *Tepelné mosty ve stavebních konstrukcích– Tepelné toky a povrchové teploty – Podrobné výpočty*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009.
- [77] ČSN EN ISO 13370, *Tepelné chování budov – Přenos tepla zeminou – Výpočtové metody*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009.
- [78] ČSN EN ISO 13789, *Energetická náročnost budov – Měrná ztráta prostupem tepla*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009.
- [79] ČSN EN ISO 13790, *Energetická náročnost budov – Výpočet potřeby energie na vytápění a chlazení*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009.

- [80] TNI CEN/TR 15615, *Vysvětlení obecných vztahů mezi různými evropskými normami a směrnici o energetické náročnosti budov (EPBD) – Zastřešující dokument*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009.
- [81] TNI 73 0329, *Zjednodušené výpočtové hodnocení a klasifikace obytných budov s velmi nízkou potřebou tepla na vytápění - Rodinné domy*. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2010.
- [82] Directive of the European Parliament and of the Council 2010/31/ES Energy Performance of Buildings Directive (EPBD II) (revision).
- [83] EU: Commission delegated regulation of 16. 1. 2012 establishing a comparative methodology framework for calculation cost-optimal levels of minimum energy performance requirements for buildings and building elements.
- [84] Zákon č. 406/2000 Sb. O hospodaření energií, uveřejněno v: č. 115/2000 Sbírky zákonů na straně 5314.
- [85] Zákon č. 183/2006 Sb. o územním plánování a stavebním řádu (stavební zákon) (Aktualizované znění zákona podle č. 257/2013 Sb. s účinností od 1.1.2014)
- [86] Vyhláška č. 78/2013 Sb. O energetické náročnosti budov, uveřejněno v: č. 36/2013 Sbírky zákonů na straně 738.

## 17 SEZNAM PŘÍLOH

<b>Příloha 1</b>	Projektová dokumentace reprezentanta
<b>Příloha 2</b>	Kontrolní výpočet programem PROTECH
<b>Příloha 3</b>	Nabídkové ceny dodávky a montáže výplní okenních a dveřních otvorů
<b>Příloha 4</b>	Výpočtové tabulky využité při modelování investičních variant
<b>Příloha 5</b>	Parametry základních modelovaných variant
<b>Příloha 6a</b>	Kalkulace položky třídění TSKP 622 211 021 „Montáž zateplení vnějších stěn z polystyrénových desek tl. do 120 mm“
<b>Příloha 6b</b>	Vstupní cenové podklady pro stanovení nákladů konstrukcí zlepšujících tepelně-technické vlastnosti budov
<b>Příloha 7</b>	Simulace optimalizovaných variant programem CrystalBall