

**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA STAVEBNÍ**  
**ÚSTAV TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ BUDOV**

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING  
INSTITUTE OF BUILDING SERVICES

## **HODNOCENÍ VLIVU VYBRANÝCH PARAMETRŮ BYTOVÝCH DOMŮ NA JEJICH ENERGETICKOU NÁROČNOST**

IMPACT ASSESSMENT OF SELECTED PARAMETERS OF RESIDENTIAL  
BUILDINGS ON THEIR ENERGY PERFORMANCE

**ZKRÁCENÁ VERZE PHD THESIS**

**AUTOR PRÁCE**

**ING. LUCIE VENDLOVÁ**

**VEDOUcí PRÁCE**

**DOC. ING. JIŘÍ HIRŠ, CS.C**

**STUDIJNÍ OBOR**

**3607V STAVEBNÍ INŽENÝRSTVÍ**

**STUDIJNÍ PROGRAM**

**3608V001 POZEMNÍ STAVBY**

BRNO 2013



## Klíčová slova

Energetická náročnost, parametry obytných budov, korelační a regresní analýza, potenciál úspor.

Vysoké učení technické v Brně – Fakulta stavební

Ústav technických zařízení budov

© Lucie Vendlová

Brno 2013

# OBSAH

ÚVOD .....	4
1 SOUČASNÝ STAV PROBLEMATIKY .....	4
1.1 Analýza stávajícího fondu budov v ČR .....	5
1.1.1 <i>Struktura domovního fondu podle účelu budov</i> .....	5
2 CÍLE PRÁCE.....	7
3 METODY ŘEŠENÍ .....	7
4 VÝSLEDKY PRÁCE .....	8
4.1 Úvod.....	8
4.2 Analýza vybraných objektů.....	8
4.2.1 <i>Rozdělení objektů podle lokality</i> .....	8
4.2.2 <i>Rozdělení objektů podle technologie výstavby</i> .....	8
4.2.3 <i>Rozdělení objektů podle konstrukční soustavy</i> .....	8
4.2.4 <i>Rozdělení objektů podle období výstavby</i> .....	9
4.2.5 <i>Rozdělení objektů podle umístění v zástavbě</i> .....	9
4.2.6 <i>Rozdělení objektů podle počtu podlaží</i> .....	9
4.2.7 <i>Rozdělení objektů podle počtu podlaží</i> .....	9
4.2.8 <i>Rozdělení objektů podle průměrného součinitele prostupu tepla</i> .....	10
4.2.9 <i>Rozdělení objektů podle objemového faktoru tvaru</i> .....	10
4.2.10 <i>Rozdělení objektů podle poměru prosklení fasády</i> .....	11
4.2.11 <i>Rozdělení objektů podle typu zdroje</i> .....	11
4.2.12 <i>Spotřeba tepla na vytápění</i> .....	11
4.2.13 <i>Spotřeba energie na přípravu teplé vody</i> .....	13
4.3 Energetická bilance analyzovaného souboru budov .....	15
4.4 Vliv vybraných parametrů bytových domů na spotřebu tepla na vytápění.....	16
4.4.1 <i>Korelační analýza</i> .....	17
4.4.2 <i>Regresní analýza</i> .....	18
4.5 Teoretická analýza .....	22
4.5.1 <i>Energetický kalkulátor</i> .....	23
4.6 Potenciál úsporných opatření v analyzovaném souboru budov .....	27
5 ZÁVĚR.....	28
5.1 Poznatky pro další výzkum a technickou praxi.....	28
5.1.1 <i>Možnosti pro další výzkum</i> .....	29
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY .....	30
ŽIVOTOPIS .....	32
ABSTRAKT .....	34

## ÚVOD

Energetická náročnost. To je stále častěji skloňovaný pojem nejen mezi odborníky, ale i mezi laickou veřejností. Spotřeba energií spojená s budovami se podílí na celkové spotřebě primárních energetických zdrojů více než třetinou. Podobný dopad má na množství vyprodukovaných emisí skleníkových plynů. Energie se využívá k zabezpečení potřeb uživatelů budov s cílem vytvořit podmínky tepelné pohody, hygienické podmínky a všeobecně zlepšit kvalitu života. Spotřeba energie v budovách souvisí s chováním jejich uživatelů. Zabezpečení požadovaných podmínek vnitřního prostředí nabývá v současnosti nový rozměr. Má se uskutečnit za podmínky nízké energetické spotřeby. Proto je zásadní posoudit u nově připravovaných budov, vedle uživatelského komfortu a architektonické výjimečnosti, i budoucí spotřebu energie na vytápění, přípravu teplé vody, chlazení atd. Nemalý potenciál možných úspor je však ve fondu stávajících budov, které byly postaveny v době, kdy jejich energetická náročnost investora ani uživatele příliš nezajímala. Právě tento sektor budov byl zvolen k detailnějšímu bádání. Cílem bylo zjistit míru vlivu vybraných parametrů na jejich energetickou náročnost a vyčíslit také možný potenciál úspor.

## 1 SOUČASNÝ STAV PROBLEMATIKY



Budovu není možné vytvořit bez stavebních konstrukcí, které kromě přenosu zatížení, tedy statické bezpečnosti a stability, zabezpečují také ochranu vnitřního prostředí vzhledem ke klimatickým podmínkám. K tomu je zapotřebí energie. Jaké množství přesně, o tom vypovídá energetická náročnost. V užším pojetí zahrnuje spotřebu energie na vytápění, případně ještě na přípravu teplé vody. V širším pohledu zahrnuje energetická náročnost veškerou spotřebu vnější elektrické energie, tepla a paliv k zajištění provozu stavby z hlediska jejího účelu.

Směrnice EPBD rozlišuje bilanční hodnocení (= energetická náročnost podle ČSN, vypočtená za normových podmínek, pro porovnávání různých staveb) a operativní hodnocení (= energetická bilance podle ČSN, skutečná spotřeba energie ve stavbě).

V současnosti se začíná prosazovat komplexnější pohled na energetickou náročnost staveb, vč. analýzy životního cyklu budovy, která zahrnuje do energetické bilance kromě spotřeby v době užívání budovy rovněž spotřebu energie na těžbu a zpracování surovin, na výrobu stavebních hmot dílců a jejich dopravu a zabudování na stavbě a nakonec i spotřebu energie na likvidaci stavby na konci její životnosti. Při vyhodnocování spotřeby primárních zdrojů se uvažuje kromě užití energie i spotřeba energie na těžbu a zpracování paliv a vlastní spotřeba elektráren při výrobě elektrické energie. Komplexní ekologické studie vyhodnocují kromě spotřeby energie ještě další dopady: produkci oxidu uhličitého a ostatních skleníkových plynů a zdraví škodlivých látek, někdy i celkovou náročnost na obnovitelné i neobnovitelné zdroje.

## 1.1 ANALÝZA STÁVAJÍCÍHO FONDU BUDOV V ČR

Stav bytového a domovního fondu v ČR lze přiblížit ze statistik vyplývajících z posledního sčítání lidu, domů a bytů (SLDB), které bylo provedeno v roce 2011, přesná čísla s porovnáním s rokem 1970 jsou uvedena v **Tab. 1.1**. Vzhledem k dalším analýzám je uvedeno srovnání s Jihomoravským krajem.

	1970	2011
		
<b>BYTY CELKEM</b>	3216631	4756572
v rodinných domech	1740945	2256619
v bytových domech	1406332	2434619
obydlené - abs.	3088841	4104635
obydlené - %	96	86,3
		
<b>BYTY CELKEM</b>	333423	503489
v rodinných domech	-	267703
v bytových domech	-	229168
obydlené - abs.	324551	443358
obydlené - %	97,3	88,1

**Tab. 1.1** Obydlené byty podle období výstavby a podle typu bytu dle ČSÚ – SLDB 2011

Problémem je průměrné stáří bytového fondu, které je relativně vysoké – 42,4 roky, přičemž u rodinných domů bylo průměrné stáří dokonce 60,3 roku. Energetická náročnost takových objektů je poměrně vysoká.

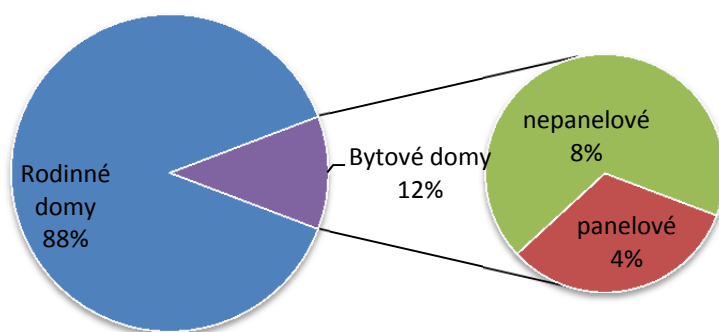
Technická analýza reprezentantů stávajícího fondu budov v ČR (především bytových staveb, vzhledem k jejich dominantnímu množství) byla rozdělena do rozhodujících typových skupin budov s cílem stanovit jejich reprezentativní profily týkající se energetické náročnosti.

### 1.1.1 Struktura domovního fondu podle účelu budov

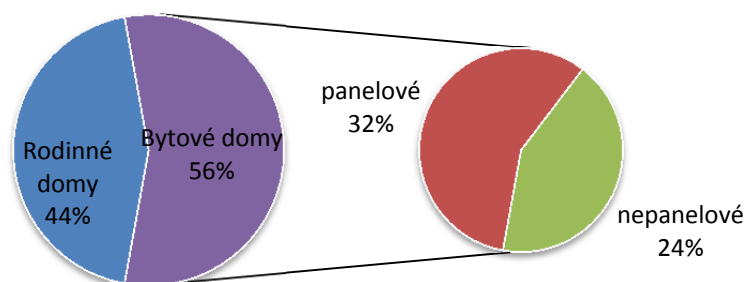
Z hlediska způsobu užívání rozeznává Český statistický úřad dvě základní skupiny budov:

- budovy pro bydlení (obytné budovy):
  - bytové domy
  - rodinné domy
- budovy ostatní (administrativní, školské, průmyslové, zemědělské, atd.)

Počet zastoupení tzv. ostatních budov je v porovnání s budovami pro bydlení zcela zanedbatelné – pouze 2% z celkového počtu budov. Většina domovního fondu tvoří budovy pro bydlení, zejména rodinné domy – 88 % z celkového počtu budov (**Obr. 1.**). Počet zastoupení bytových domů je překvapivě nízké – 12 %. V bytových domech se ovšem nachází 56 % všech trvale obydlených bytů (**Obr. 1.1**) a z toho přibližně třetina se nachází v panelových domech. Konkrétní hodnoty shrnuje **Tab. 1.2**.  
**1.2 Chyba! Nenalezen zdroj odkazů..**



**Obr. 1.1** Struktura domovního fondu v ČR dle ČSÚ - SLDB 2011



**Obr. 1.1** Struktura bytového fondu ČR dle ČSÚ - SLDB 2011

Typ budov	Počet domů	Počet bytů
Rodinné domy	1 554 794	1 795 065
Bytové domy	211 252	2 257 978
panelové	65 641	1 298 189
nepanelové	137 119	959 789
Domy a byty celkem	1 766 046	4 053 043

**Tab. 1.2** Rozdělení domů a bytů podle typu budovy dle ČSÚ – SLDB 2011

### Preambule směrnice 2010/31/EU

„Podíl budov na celkové spotřebě energie v Unii činí 40 %. Tento sektor se rozrůstá, což bude mít za následek zvýšení spotřeby energie. Snížení spotřeby energie a budov proto představují důležitá opatření nutná ke snížení energetické závislosti Unie a emisí skleníkových plynů. Spolu se zvýšeným využíváním energie z obnovitelných zdrojů by opatření přijatá za účelem snížení spotřeby energie v Unii umožnila Unii dodržení závazku splnění Kjótského protokolu k Rámcové úmluvě Organizace spojených národů o změně klimatu (UNFCCC), dlouhodobého závazku zachovat nárůst globální teploty pod 2 °C i závazku snížit do roku 2020 celkové emise skleníkových plynů alespoň o 20 % ve srovnání s hodnotami z roku 1990 a v případě mezinárodní dohody o 30 %. Snížená spotřeba energie a zvýšené využívání energie z obnovitelných zdrojů také hrají důležitou úlohu při podpoře zabezpečování zásobování energií, technologického vývoje a při vytváření příležitostí k zaměstnání a regionálního rozvoje, zejména ve venkovských oblastech.“

## 2 CÍLE PRÁCE

Práce si klade následující vzájemně provázané cíle:

- Aplikace teorie statistiky a pravděpodobnosti na zpracování datového souboru zkoumaných budov.
- Analýza vlivu vybraných parametrů technických a fyzikálních vlastností řešených budov s ohledem na jejich energetickou náročnost.
- Uplatnění výsledků výzkumu na vývoji výpočetního nástroje pro hodnocení energetické náročnosti budov.

## 3 METODY ŘEŠENÍ

Práce se zabývá problematikou energetické náročnosti obytných budov.

Ke splnění deklarovaných cílů práce využívá těchto metod:

- Literární rešerše:
  - mapování trendů ve využívání a spotřebě energie ve světě, EU a v ČR,
  - analýza současného bytového fondu v ČR,
  - popis vývoje energetického hodnocení a tepelně-technických požadavků v České republice,
  - náhled na současnou platnou legislativu spojenou s energetickým hodnocením,
  - stručný princip výpočetní metody energetického hodnocení,
  - shrnutí možností analytického zpracování a vyhodnocování dat.
- Praktická část:
  - průzkum objektů,
  - sběr dat,
  - tvorba výběrového statistického souboru,
  - analýza struktury statistického souboru,
  - aplikace teorie korelační a regresní analýzy při zkoumání vlivu vybraných parametrů.
- Teoretická část:
  - Využití prostředí MS Excel:
    - tvorba statistického souboru
    - analýza struktury statistického souboru
    - korelační a regresní analýza
    - vývoj výpočetního nástroje
  - Obecný teoretický model toků energie budovy – software BSim.



## 4 VÝSLEDKY PRÁCE

### 4.1 ÚVOD

Základním předpokladem bylo vymezení cílové skupiny – vybraného statistického souboru, na níž byla podrobná analýza realizována. Byl zvolen rezidenční sektor, tzn. budovy pro bydlení. Po provedení předběžné analýzy byly k detailnějšímu rozboru vybrány konkrétní objekty bytových domů. Byla zde snaha, aby data byla prostorově a časově vymezena. Při výběru bylo přihlíženo k tomu, že každá budova, byť může vycházet z opakovaného konceptu (typu), je vždy individuální a podstatnou roli vždy sehrávají konkrétní faktory – konstrukční typ, stáří objektu, členitost fasády, míra zasklení, vlastnosti obalových konstrukcí, průběh dílčích či komplexních rekonstrukcí a samozřejmě lokalita a způsob užívání. U každé budovy bylo tedy žádoucí provést individuální průzkum, na základě kterého vznikla výběrová databáze.

### 4.2 ANALÝZA VYBRANÝCH OBJEKTŮ

Statistický vzorek, tj. výběrový soubor, obsahuje celkem 100 bytových domů. U sledovaných bytových domů byly do databáze zaznamenávány parametry zachycující materiálové charakteristiky, geometrické charakteristiky, údaje o technickém zařízení a v neposlední řadě také údaje o skutečných fakturovaných spotřebách energie. Struktura statistického vzorku je podrobněji rozebrána v následujících tabulkách, grafech a histogramech.

#### 4.2.1 Rozdělení objektů podle lokality

Pro účely dalšího vyhodnocování byla snaha všechny zkoumané objekty lokalizovat do jedné oblasti. Z tohoto důvodu spadají všechny budovy do jihomoravského kraje. Nejvíce je jich umístěno v samotném Brně a také v Blansku.

#### 4.2.2 Rozdělení objektů podle technologie výstavby

Panelové domy jsou zastoupeny v počtu 61 objektů, zděné objekty v počtu 41. Mezi zděnými domy jsou zastoupeny i tzv. dvouletkové domy pocházející z 60. let

#### 4.2.3 Rozdělení objektů podle konstrukční soustavy

Stavební soustava	Počet budov
T06B	43
B70	15
G57	1
Larsen Nielsen	1
VVÚ ETA	1
T12 (zděná)	3
T13 (zděná)	6

Zděná (nespec.)	30
Celkem	100

#### 4.2.4 Rozdělení objektů podle období výstavby

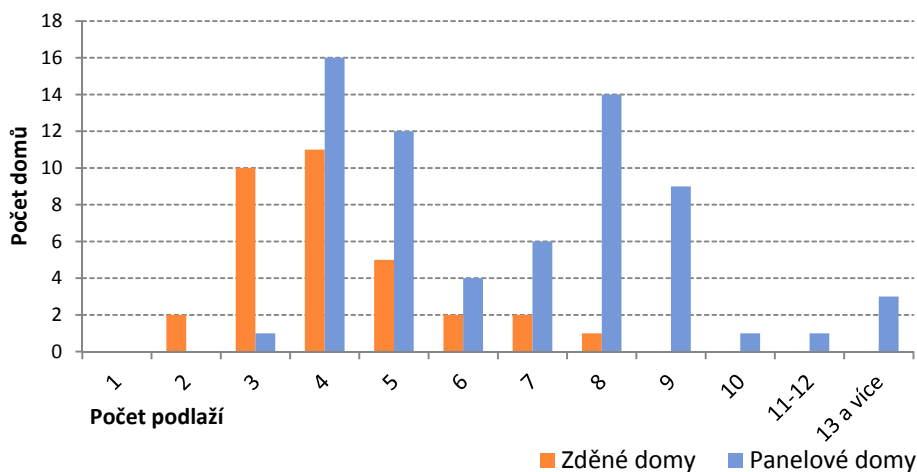
Objekty sledované databáze jsou rozděleny do tří skupin, podle období výstavby. Hranice etap respektují vývoj tepelně-technických požadavků v historii České republiky, o kterých pojednává teoretická část práce.

Období výstavby	Počet domů		
	zděných	panelových	celkem
do r. 1964	31	0	31
1965 - 1978	8	33	41
1979 - 1991	0	28	28

#### 4.2.5 Rozdělení objektů podle umístění v zástavbě

Umístění	Počet domů		
	zděných	panelových	celkem
Samostatně stojící	21	32	53
Polořadový	10	15	25
Řadový	8	14	22

#### 4.2.6 Rozdělení objektů podle počtu podlaží



#### 4.2.7 Rozdělení objektů podle počtu podlaží

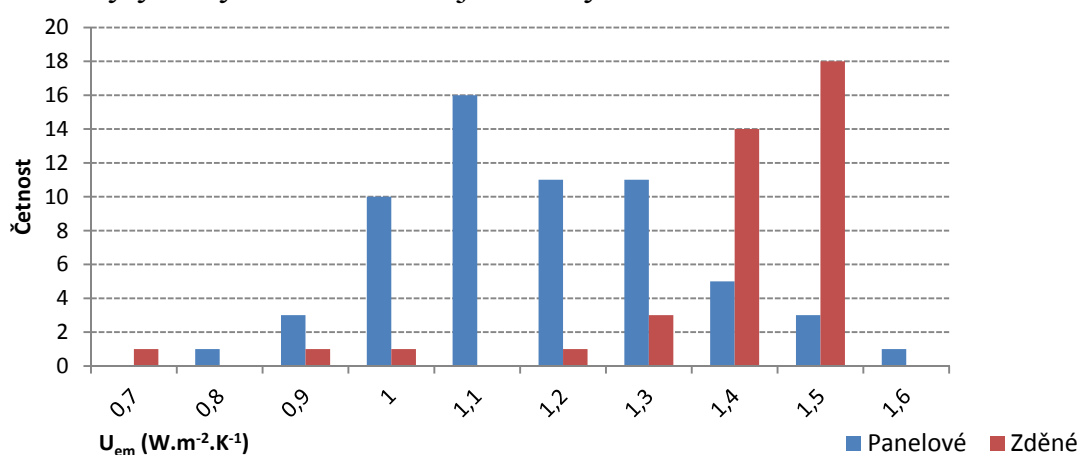
Na výslednou energetickou bilanci mají nejpodstatnější vliv tepelně-izolační vlastnosti, které korespondují s obdobím výstavby objektu. Mimo to ale hrají zásadní roli případné rekonstrukce, které byly u domů také sledovány.

Druh rekonstrukce	Počet domů		
	zděných	panelových	celkem
Bez rekonstrukce	0	5	5
Částečná výměna oken	30	35	65

Úplná výměna oken	8	17	25
Částečná výměna oken a částečné zateplení fasády	0	2	2
Úplná výměna a částečné zateplení fasády	1	2	3

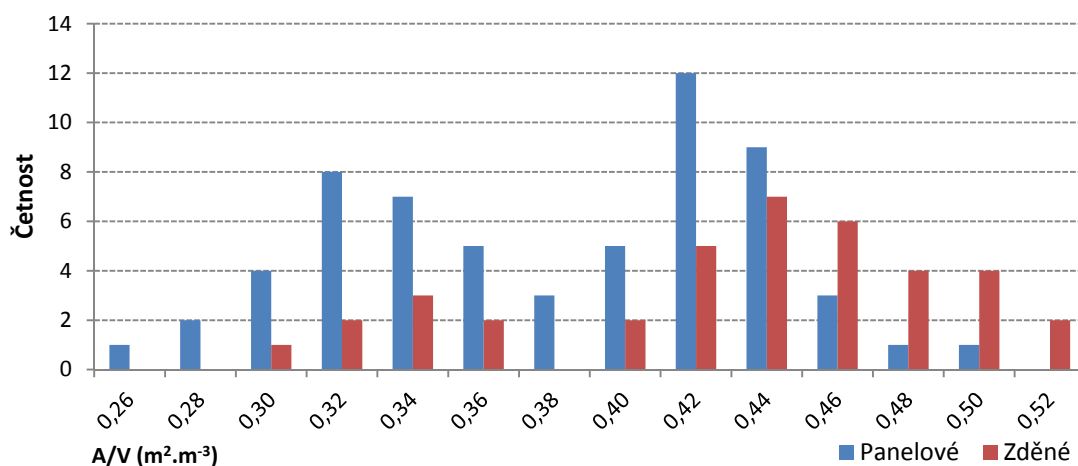
#### 4.2.8 Rozdělení objektů podle průměrného součinitele prostupu tepla

Jednou z nejdůležitějších veličin hodnotících tepelně-technické vlastnosti konstrukce je součinitel prostupu tepla, který byl vyčíslen individuálně u každé z obalových konstrukcí každého objektu z výběrového souboru. Součinitele prostupu tepla byly vypočteny dle ČSN 73 0540, přičemž byl jednotně brán v potaz technický stav objektu, který byl zohledněn přírážkou na tepelné vazby. Skladby konstrukcí byly vždy individuálně zjišťovány.



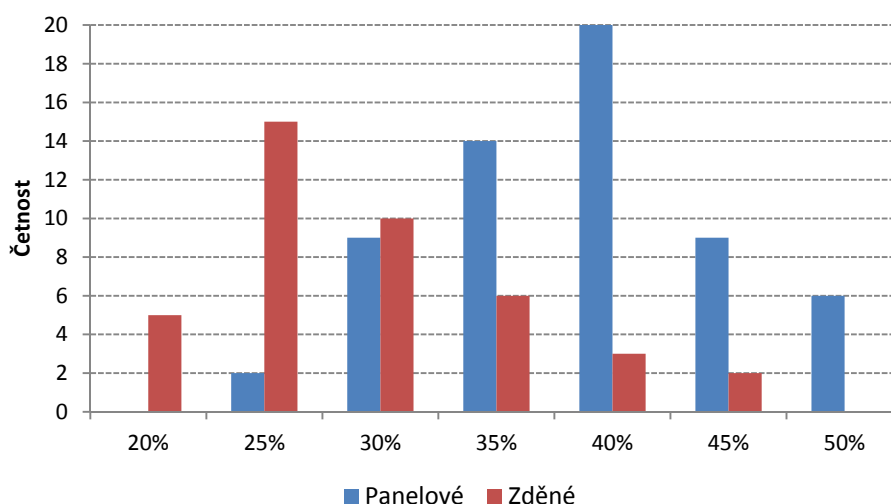
#### 4.2.9 Rozdělení objektů podle objemového faktoru tvaru

Na celkovou energetickou bilanci má nepochybně vliv prostorové řešení objektu (kompaktnost tvaru, členitost povrchu), které charakterizuje tzv. objemový faktor tvaru, dříve známý pod pojmem geometrická charakteristika budovy. Ten vyjadřuje poměr mezi plochou všech obalových konstrukcí, tvořících tzv. systémovou hranici budovy, a obestavěného prostoru, což je objem budovy vč. stavebních konstrukcí.



#### 4.2.10 Rozdělení objektů podle poměru prosklení fasády

Ve výběrovém souboru byla mimo jiné sledována i poměrná plocha průsvitných výplní otvorů. U panelových objektů pozorujeme opět normální rozložení s největším počtem objektů s poměrným prosklením mezi 35 % a 40 %. U zděných objektů je rozložení četností pravostranně asymetrické s vrcholem ve 25 %. Můžeme také konstatovat, že tři čtvrtiny všech zděných objektů mají poměrné prosklení do 30 %. Je tedy patrné, že obecně mají panelové objekty větší poměrnou plochu průsvitných výplní otvorů.



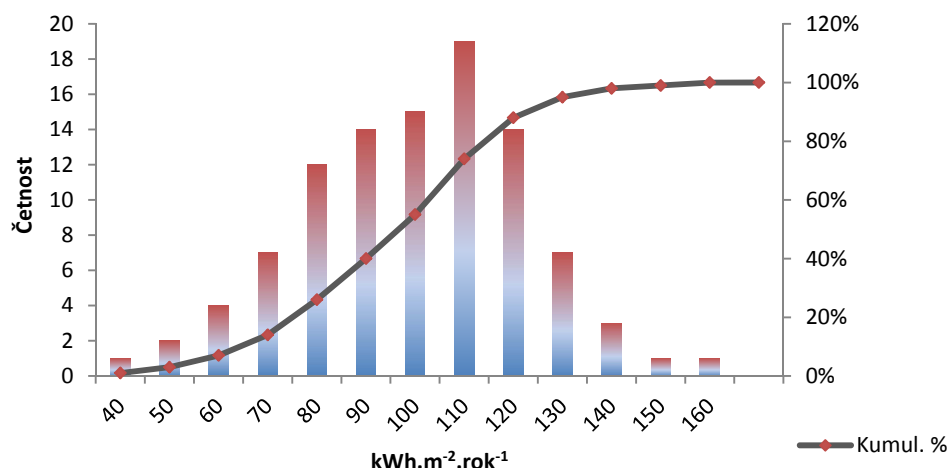
#### 4.2.11 Rozdělení objektů podle typu zdroje

Převládajícím způsobem je centralizované zásobování teplem, které je zdrojem pro bezmála tři čtvrtiny všech objektů. Tento poměr je ještě větší u *panelových objektů* – 84 %. U *zděných budov* je naopak menší - 56 %.

Typ zdroje tepla	Počet domů		
	Panelové	Zděné	Celkem
CZT	51	22	73
Plynová kotelna	10	4	13
Plynový kotel v bytě	0	9	10
Lokální plynová topidla	0	4	4

#### 4.2.12 Spotřeba tepla na vytápění

Spotřeba tepla na vytápění byla zjišťována z fakturovaných spotřeb energií v rozmezí let 2010 až 2012. Spotřeba byla z GJ převáděna na měrnou spotřebu v kWh.m<sup>-2</sup>.rok<sup>-1</sup>. Plochou se rozumí celková podlahová plocha, která byla v době zpracování dat definována jako podlahová plocha všech podlaží budovy vymezená vnitřní stranou vnějších stěn, bez neobyvatelných sklepů a oddělených nevytápěných prostor. Analýza spotřeby tepla na vytápění se uskutečnila na celém souboru dat a zároveň zvláště pro panelové a zděné budovy.



Popisná statistika roční spotřeby tepla na vytápění pro celý soubor dat a zvláště pro panelové a zděné objekty je shrnuta v tabulce. Z údajů v tabulce je zřejmé, že je poměrně velký rozptyl údajů o zjištěné spotřebě tepla na vytápění. Je to způsobené tím, že kromě tepelně-technických vlastností stavebních konstrukcí, které jsou vyjádřené typem a konstrukčním systémem, má vliv na spotřebu tepla na vytápění více dalších faktorů, např. velikost budovy. Z tabulky je zřejmá také odchylka zjištěných hodnot od normálního rozdělení, vyjádřená koeficientem špičatosti a šikmosti.

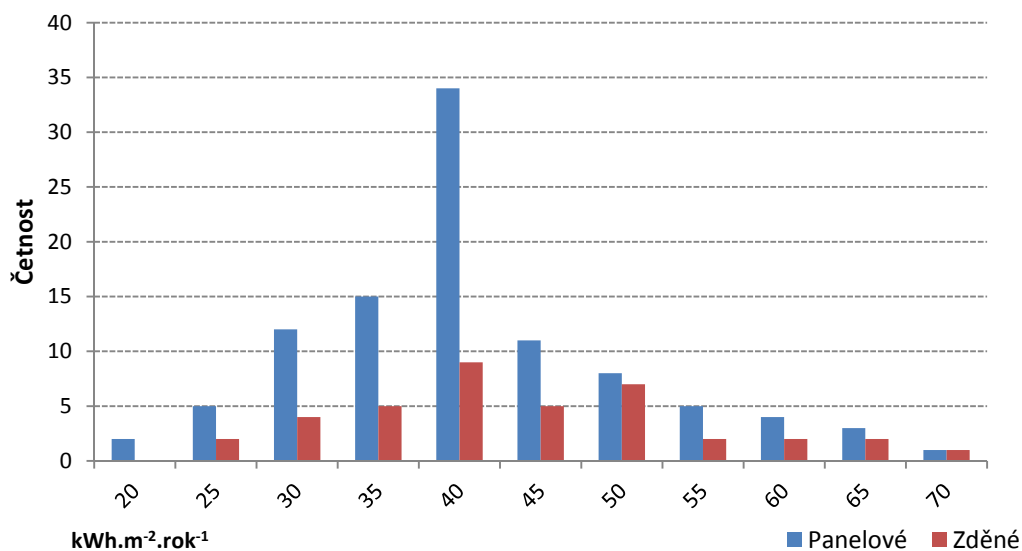
*Koeficient špičatosti* charakterizuje strmost rozdělení. Jestliže se rovná nule, rozdělení je stejně špičaté jako normální rozdělení. Jestliže je menší než nula, jde o plošší rozdělení a v případě kladných hodnot jde naopak o špičatější rozdělení. Jinými slovy větší špičatost rozdělení hodnot indikuje větší koncentraci kolem středu a tedy nižší variabilitu pozorovaných hodnot. *Koeficientem šikmosti* se charakterizuje symetrie nebo asymetrie rozdělení. V případě, že dosáhne hodnotu rovnající se nule, rozdělení je symetrické. V případě kladných hodnot je zešikmení doleva (tj. častější výskyt menších hodnot než průměr). V případě záporných hodnot je zešikmení doprava (tj. častější výskyt větších hodnot než průměr). Spotřeba tepla na vytápění pro celý soubor má, co se týče špičatosti, normální rozdělení, co se týče šikmosti, je velmi mírně asymetrické se zešikmením doprava. Toto rozdělení mají pak také, hodnoceno zvláště, panelové a zděné domy, zároveň mají špičatější rozložení a jejich hodnoty jsou tedy více koncentrovány k vrcholu rozdělení.

Při výskytu extrémních hodnot, jejichž vliv je v některých případech potřebné eliminovat, je vhodnější jako střední hodnotu uvažovat *medián*, ten rozděljuje řadu na dvě stejné velké části co do počtu prvků tak, že hodnoty v jedné části jsou menší než medián, ve druhé části jsou pak větší. Zároveň platí, že čím více se rozdělení blíží normálnímu symetrickému rozdělení, tím více se hodnoty aritmetického průměru, modu a mediánu shodují. Tuto podobnost je možné v tabulce níže pozorovat.

Hodnocení	Celý soubor dat	Panelové objekty	Zděné objekty
Střední hodnota	96,0	88,6	107,4
Chyba střední hodnoty	2,2	2,5	3,5
Medián	98,6	89,5	108,3
Modus	108,3	99,8	108,3
Směrodatná odchylka	22,3	19,7	21,6
Rozptyl výběru	499,0	389,2	465,1
Špičatost	0,0	-0,1	-0,1
Šikmost	-0,1	-0,4	-0,2
Rozdíl max. a min.	113,7	86,4	94,7
Minimum	38,9	38,9	57,9
Maximum	152,6	125,3	152,6
Součet	9595,3	5406,8	4188,5
Počet	100	61	39
Hladina spolehlivosti (95,0%)	4,43	5,05	6,99

#### 4.2.13 Spotřeba energie na přípravu teplé vody

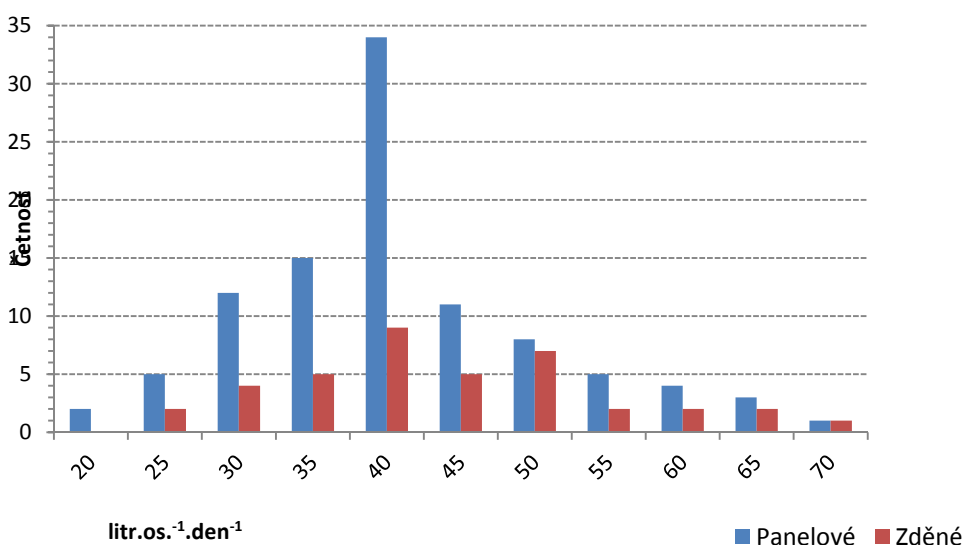
Průměrná hodnota spotřeby tepla na přípravu teplé vody za celý soubor je  $38,4 \text{ kWh}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{rok}^{-1}$ . Tvar rozdělení spotřeby tepla je mezi panelovými a zděnými objekty poměrně podobný, jedná se o normální rozdělení, pravostranně asymetrické.



Jak vyplývá z parametrů popisné statistiky je tvar rozdělení v případě panelových domů špičatější a četnost kolem vrcholu je zhuštěna. Spotřeba tepla je tedy mezi jednotlivými panelovými domy více podobná, než je tomu u domů zděných. Ty mají ve srovnání s panelovými domy plošší rozdělení, s větším výskytem podprůměrných hodnot. Tomu nasvědčuje i nepatrně menší střední hodnota spotřeby tepla oproti panelovým objektům.

Hodnocení	Celý soubor dat	Panelový objekty	Zděné objekty
Střední hodnota	38,4	38,9	37,7
Chyba střední hodnoty	1,0	1,2	1,9
Medián	37,7	37,7	36,5
Modus	36,9	36,9	35,6
Směrodatná odchylka	10,3	9,2	11,9
Rozptyl výběru	105,9	83,9	142,4
Špičatost	0,7	1,5	-0,1
Šikmost	0,6	1,0	0,4
Rozdíl max. a min.	53,4	47,0	48,4
Minimum	15,6	22,0	15,6
Maximum	69,0	69,0	64,0
Součet	3844,2	2375,3	1469,0
Počet	100,0	61,0	39,0
Hladina spolehlivosti (95,0%)	2,0	2,3	3,9

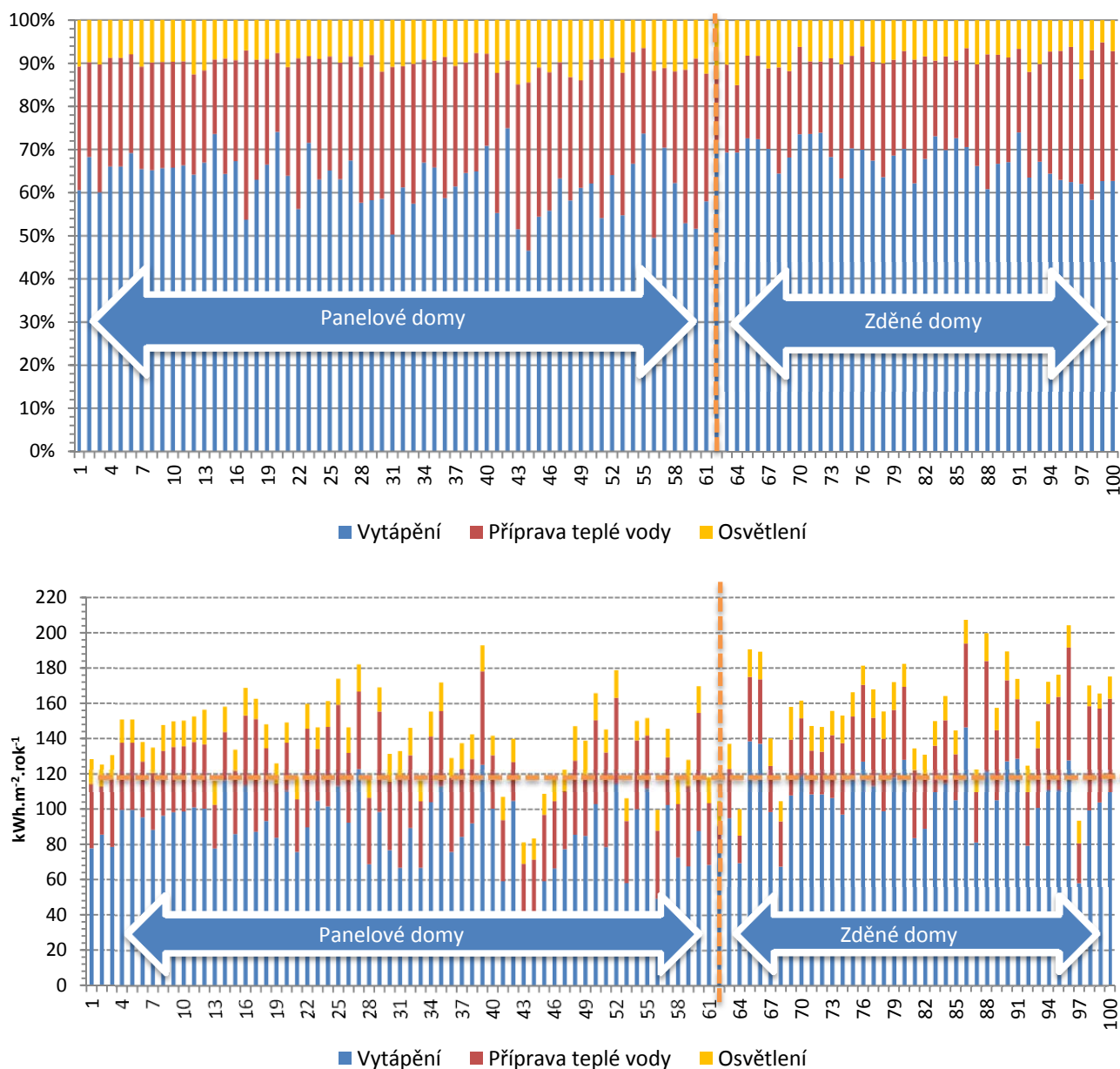
Údaj o spotřebě tepla na přípravu teplé vody udávaný v kWh.m<sup>-2</sup>.rok<sup>-1</sup> má pro posouzení energetické náročnosti své opodstatnění, ale pro představu uživatele je poměrně těžko interpretovatelný. Lépe si utvoříme představu o spotřebě teplé vody udanou v litrech na den a obyvatele. Co se týče průměrné spotřeby teplé vody, potvrdil se předpoklad, že je nižší než hodnota udávaná v ČSN 06 0320, tedy 82 l.os<sup>-1</sup>.den<sup>-1</sup> a to dokonce poměrně výrazně. Pro celý soubor má hodnotu 43 l.os<sup>-1</sup>.den<sup>-1</sup>. Z tohoto pohledu se potvrdila také domněnka o nižší spotřebě teplé vody ve zděných domech. Zde totiž v rámci sledovaného souboru vychází průměrná spotřeba pouze 36 l.os<sup>-1</sup>.den<sup>-1</sup>. V panelových objektech se spotřeba pohybuje na hodnotě 52 l.os<sup>-1</sup>.den<sup>-1</sup>.



### 4.3 ENERGETICKÁ BILANCE ANALYZOVANÉHO SOUBORU BUDOV

Celková energetická bilance budovy zahrnuje podle Vyhl. 78/2013 Sb. o energetické náročnosti, dílčí spotřeby energie na vytápění, přípravu teplé vody, chlazení, mechanické větrání, úpravu vlhkosti vzduchu a osvětlení. Toto jsou také jednotlivé položky udávané v průkazu energetické náročnosti budovy. Každé položce náleží ukazatel dílčí dodané energie – v  $\text{kWh}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{rok}^{-1}$ .

Výsledná energetická bilance pro každý z objektů ve sledovaném souboru budov je zřejmá z obrázku. Jedná se o 100% skládaný sloupcový graf, na kterém je dobře zřetelný poměr jednotlivých spotřeb energií. Pro přehlednost jsou budovy označeny čísly, panelové jsou v rozmezí 1 – 61, zděné v rozmezí 62 – 100.



Celková průměrná spotřeba za celý soubor budov je  $147 \text{ kWh}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{rok}^{-1}$ , u zděných objektů více –  $157 \text{ kWh}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{rok}^{-1}$ , u panelových naopak méně –  $140,7 \text{ kWh}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{rok}^{-1}$



a to i přesto, že poměrově mají panelové budovy větší spotřebu teplé vody než budovy zděné.



Největší položkou v energetické bilanci, jak ve sledovaném souboru budov, tak v celorepublikovém kontextu, je jednoznačně spotřeba tepla na **vytápění**, která tvoří přibližně **dvě třetiny** z celkové spotřeby energie budov v rezidenčním sektoru. Spotřeba tepla na vytápění je dána především tepelně-izolačními vlastnostmi obalového pláště budovy, typem a účinností zdroje tepla a samozřejmě zvolenou regulací otopné soustavy.

Další významnou položkou v energetické bilanci je spotřeba energie na **přípravu teplé vody**, která zaujímá přibližně **čtvrtinový** podíl. Na rozdíl od spotřeby energie na vytápění je spotřeba energie spojená s přípravou teplé vody více závislá na chování a návycích uživatelů. Tento fakt prokázal i samostatný rozbor spotřeby teplé vody ve sledovaném souboru budov. Jeden člověk může spotřebovat průměrně 80 litrů teplé vody denně, ale také 20 litrů, což je jistě podstatný rozdíl, který pak hraje zásadní roli při návrhu nákladově optimálního opatření vedoucího k úspoře energie na přípravu teplé vody.

Poslední významná položka v energetické bilanci analyzovaného souboru budov je tvořena spotřebou energie na **osvětlení**, příp. další provoz elektrických zařízení, a činí přibližně jednu **desetinu**. U budov stávajícího fondu je tento poměr nižší než u budov novějších, s lepšími tepelně-izolačními vlastnostmi.

Zaměříme se nyní na vybrané faktory, které mohou obecně ovlivňovat spotřebu energie nejpodstatnější položky energetické bilance ve sledovaném vzorku budov – vytápění.

#### 4.4 VLIV VYBRANÝCH PARAMETRŮ BYTOVÝCH DOMŮ NA SPOTŘEBU TEPLA NA VYTÁPĚNÍ

Pro sledování závislostí vybraných parametrů na konečné spotřebě tepla byla aplikována regresní a korelační analýza. Teorie k této problematice byla rozebrána v prvních kapitolách práce. Míru těsnosti vztahu dvou spojených znaků vyjadřuje také Pearsonův korelační koeficient a stejně jako koeficient determinace nabývá hodnot od -1 do +1. Pro absolutně závislé veličiny má hodnotu 1 (body leží na přímce), pro hodnoty blízké nule, jsou veličiny nezávislé. Kladné hodnoty značí

pozitivní závislost (přímou úměru), záporné hodnoty negativní závislost. Míru závislosti pro absolutní hodnoty obvykle interpretujeme takto:

- o 0,1–0,3 korelace slabá
- o 0,4–0,6 korelace střední
- o 0,7–0,8 korelace silná
- o Nad 0,9 korelace velmi silná

V případě lineární regrese je koeficient determinace roven druhé mocnině Pearsonova korelačního koeficientu.

Pro účely zkoumání závislosti spotřeby tepla na vytápění byly zvoleny následující parametry: období výstavby, počet podlaží, objemový faktor tvaru, podlahová plocha, průměrný součinitel prostupu tepla, poměrné prosklení fasády, umístění v zástavbě a obestavěný objem.

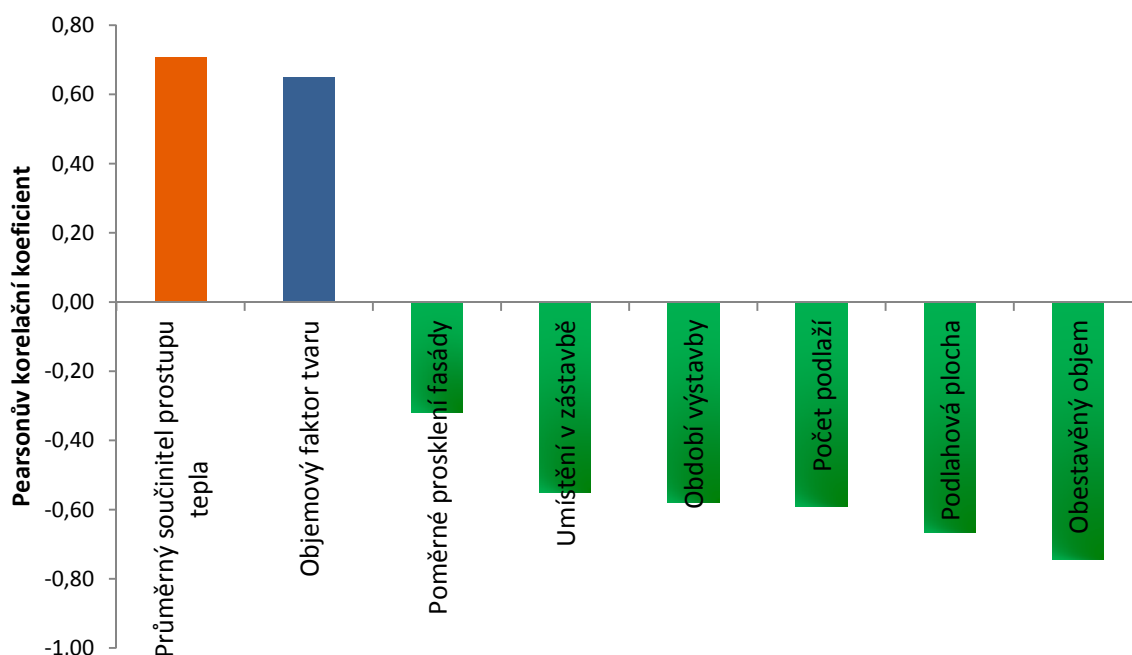
Pro posouzení míry závislosti mezi výše uvedenými parametry byla zvolena korelační analýza, konkrétně Pearsonův korelační koeficient.

#### 4.4.1 Korelační analýza

	Spotřeba tepla na vytápění	Období výstavby	Počet podlaží	Objemový faktor tvaru	Podlahová plocha	Průměrný souč. prostupu tepla	Poměrné prosklení fasády	Umístění v zástavbě	Obestavěný objem
Spotřeba tepla na vytápění	1								
Období výstavby	-0,58	1,00							
Počet podlaží	-0,59	0,38	1,00						
Objemový faktor tvaru	0,65	-0,41	-0,79	1,00					
Podlahová plocha	-0,67	0,42	0,70	-0,72	1,00				
Průměrný součinitel prostupu tepla	0,71	-0,57	-0,44	0,45	-0,46	1,00			
Poměrné prosklení fasády	-0,32	0,44	0,25	-0,42	0,36	-0,31	1,00		
Umístění v zástavbě	-0,55	0,39	0,44	-0,39	0,37	-0,47	0,17	1,00	
Obestavěný objem	-0,74	0,44	0,60	-0,68	0,81	-0,55	0,36	0,33	1

V řádcích i ve sloupcích jsou uvedeny všechny zkoumané znaky. Čísla uvnitř matice jsou hodnoty Pearsonova korelačního koeficientu pro danou dvojici znaků. Zaměříme se na první sloupec, ve kterém je vyjádřena závislost měrné spotřeby tepla na vytápění na vybraných parametrech. Je zřejmé, že nejsilnější pozitivní závislost (nepříznivý vliv) je na průměrném součiniteli prostupu tepla, nejsilnější negativní

závislost (příznivý vliv) je na obestavěném prostoru. Vlivy dalších parametrů shrnuje následující graf.



V korelační matici je možné mezi parametry, které spolu souvisejí, pozorovat také další závislosti, např. velikost průměrného součinitele prostupu tepla obálky budovy na období výstavby.

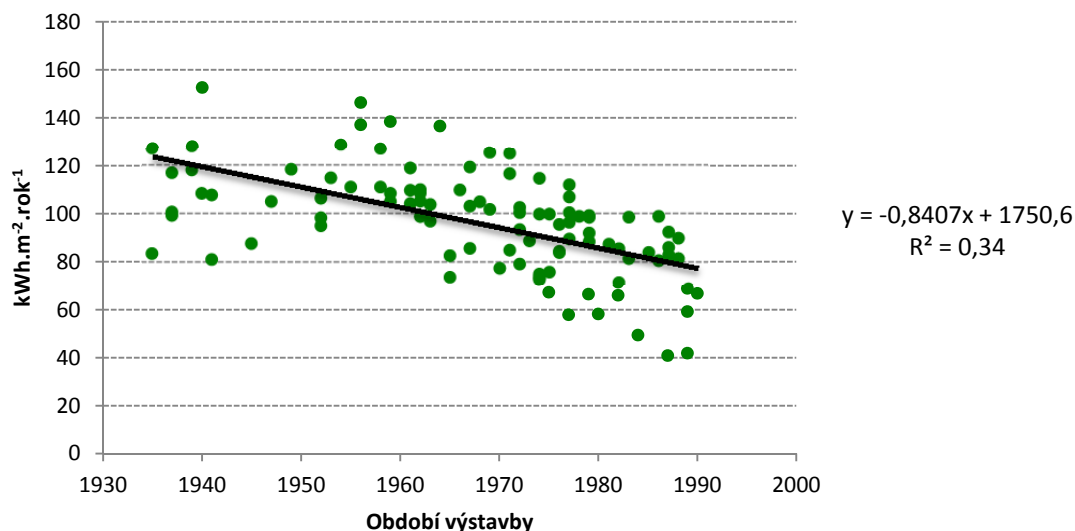
#### 4.4.2 Regresní analýza

Metoda regresní analýzy hledá matematické vyjádření vztahu mezi znaky a dává odpověď na otázku, zda lze jeden znak odhadnout na základě jiných znaků a s jakou chybou. Korelační analýzou byla zjištěna síla závislosti vybraných parametrů a spotřeby tepla na vytápění, nyní provedme regresní analýzu těchto veličin.

##### *Spotřeba tepla na vytápění podle období výstavby*

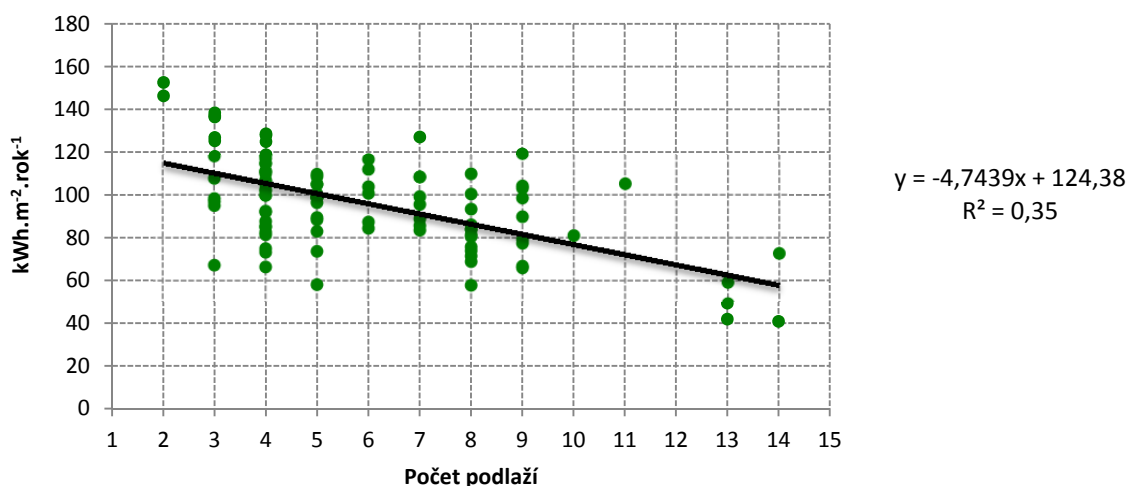
Vlastnosti stavebních konstrukcí a spotřeba tepla na vytápění jsou závislé na materiálu, konstrukci a technologii výstavby. Materiálové řešení bylo v jednotlivých obdobích výstavby ovlivněné tepelně-technickými požadavky kladenými na stavební konstrukce.

V následujícím grafu je znázorněná závislost průměrné spotřeby tepla na vytápění na období výstavby objektu. Hodnota spolehlivosti ( $R^2$ ) udává procento (vynásobeno 100), jakým je rozptyl hodnot spotřeby tepla na vytápění vysvětlen změnami hodnot danými obdobími výstavby.



### *Spotřeba tepla na vytápění podle počtu podlaží*

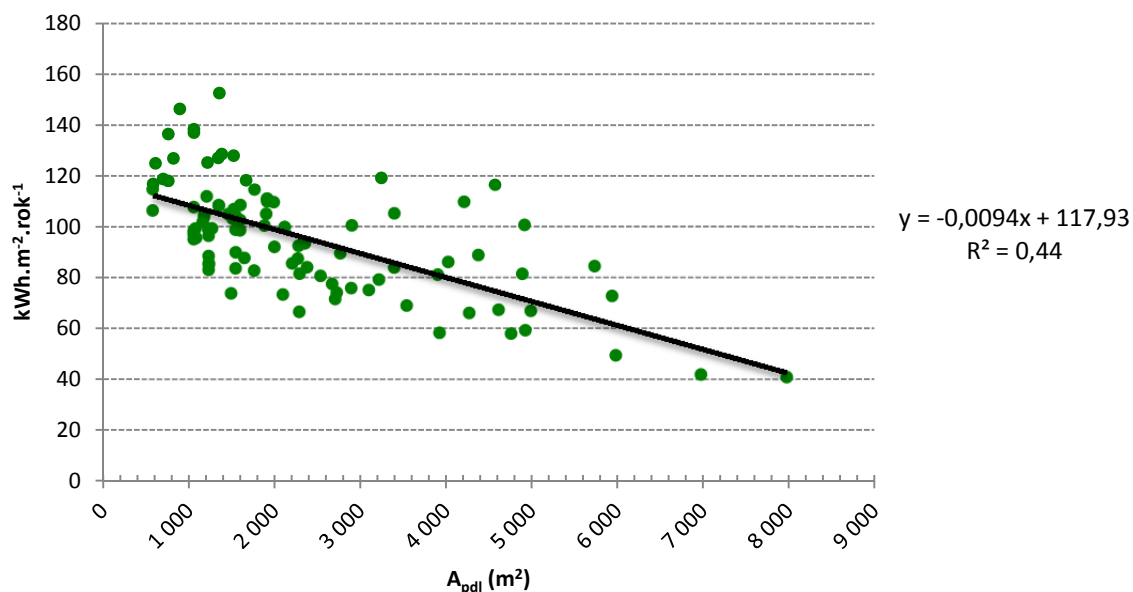
Spotřeba tepla na vytápění také nepřímo závisí na podlažnosti bytového domu. Se stoupajícím počtem podlaží klesá spotřeba tepla vlivem většího obestavěného objemu bytového domu a tedy menšího faktoru tvaru.



### *Spotřeba tepla na vytápění podle podlahové plochy*

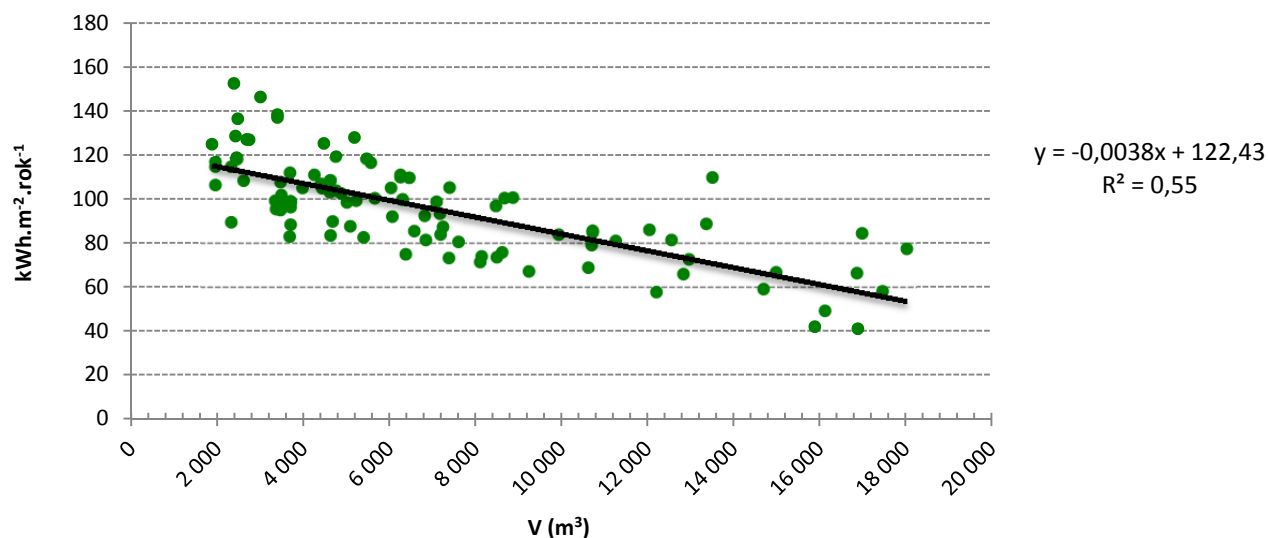
Velikost podlahové plochy<sup>1</sup> má na měrnou spotřebu energie na vytápění také nezanedbatelný vliv. Stejně jako u předchozích sledovaných parametrů, i zde se jedná o nepřímou závislost. Hodnota spolehlivosti značí střední závislost.

<sup>1</sup> V době zpracovávání statistických údajů byla celková podlahová plocha definována jako plocha všech podlaží budovy vymezená mezi vnějšími stěnami.



### *Spotřeba tepla na vytápění podle obestavěného objemu*

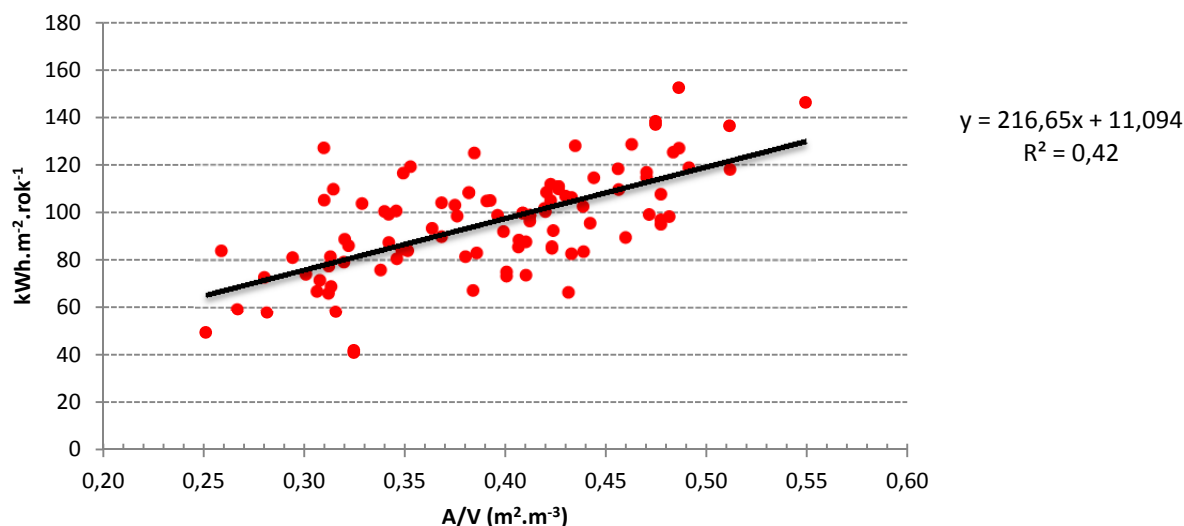
Graf dokazuje nepřímou závislost mezi obestavěným prostorem a spotřebou tepla na vytápění. Tedy, čím větší budovy, tím je energeticky úspornější. Hodnota spolehlivosti vysvětlená regresní analýzou ukazuje, stejně jako Pearsonův korelační koeficient, nejvyšší závislost ze všech předchozích sledovaných parametrů.



### *Spotřeba tepla na vytápění podle objemového faktoru tvaru*

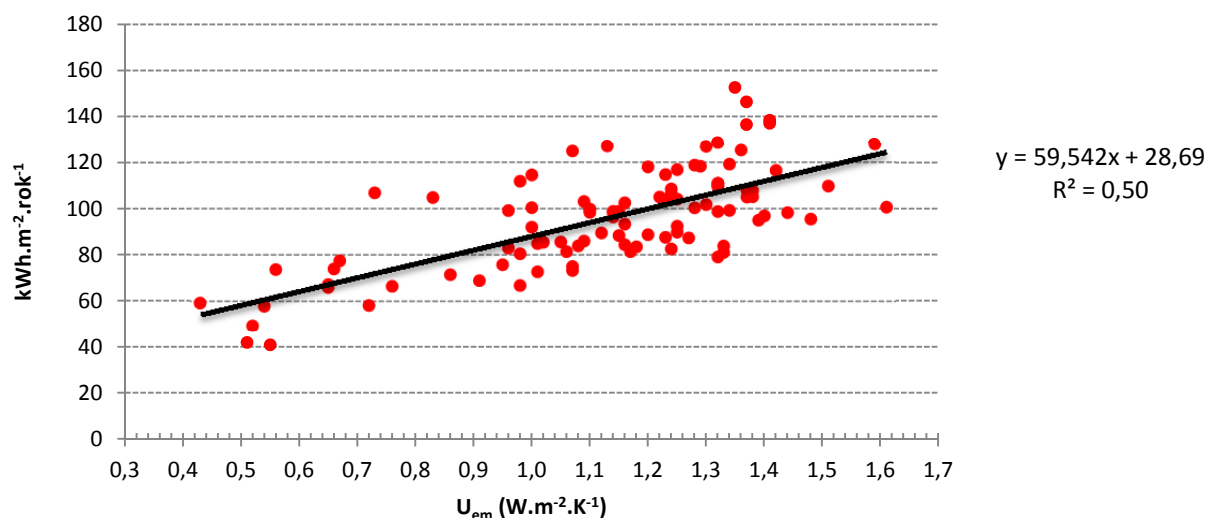
Hodnoty objemového faktoru tvaru a četnosti jejich zastoupení ve sledovaném souboru budov byly již podrobněji analyzovány v předchozích kapitolách (4.2.9).

Na obrázku je prokázána přímá závislost mezi objemovým faktorem tvaru a měrnou spotřebou tepla na vytápění. Můžeme říct, že čím vyšší je faktor tvaru, tím má budovy energeticky horší neboli méně příznivý tvar. O to vyšší pozornost pak musíme cíleně věnovat tepelně-izolačním vlastnostem obálky budovy.



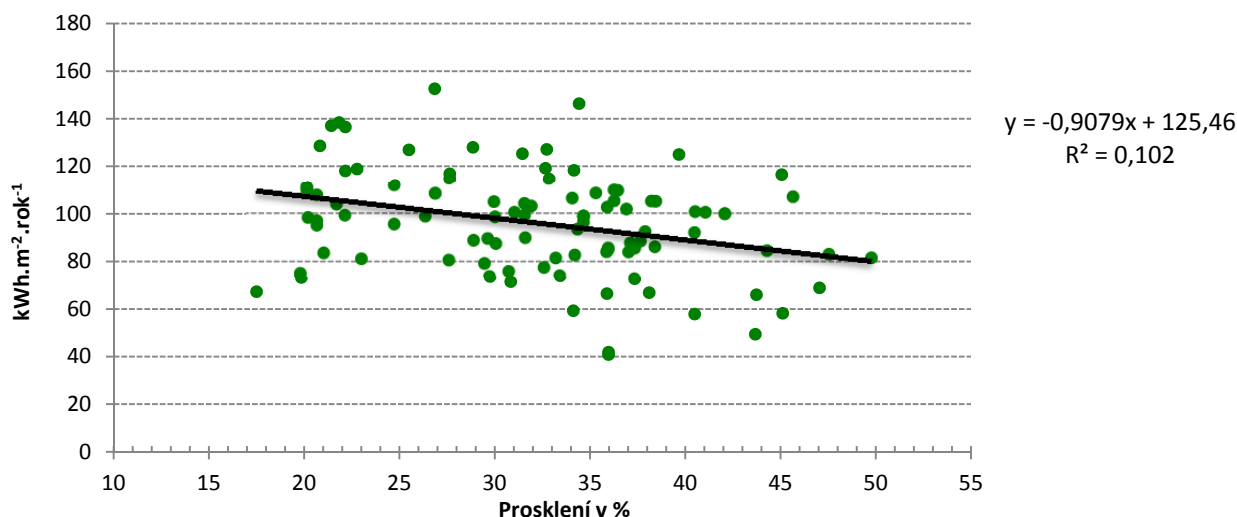
### ***Spotřeba tepla na vytápění podle průměrného součinitele prostupu tepla***

Součinitel prostupu tepla konstrukcemi je pro výslednou spotřebu tepla na vytápění nejzásadnější veličina a dokazuje to také na následujícím grafu.



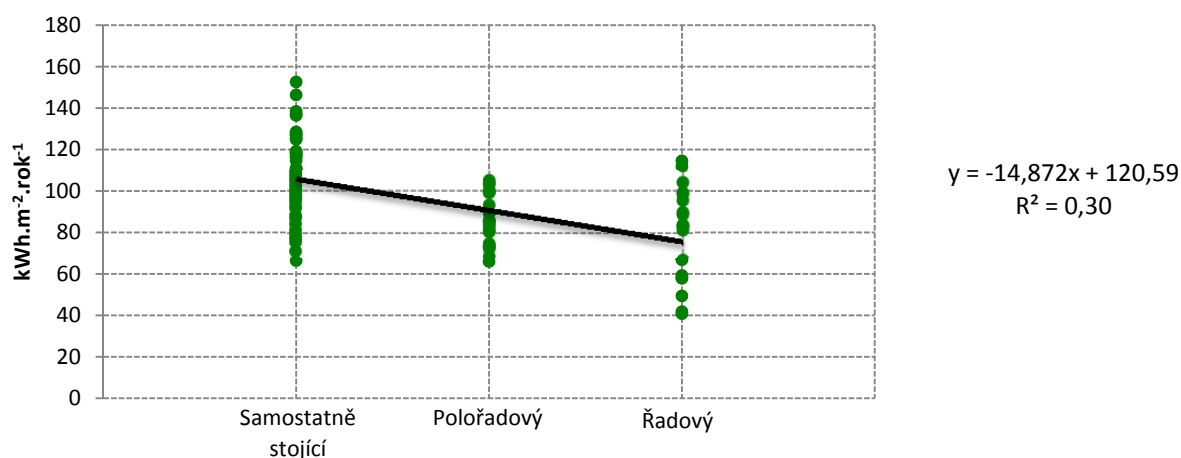
### ***Spotřeba tepla na vytápění podle poměrného prosklení fasády***

Jistou závislost můžeme pozorovat i mezi poměrem průsvitných konstrukcí k celkové ploše fasády. Nízká hladina spolehlivosti je dána samozřejmě různorodostí objektů, ale také tím, že poměr prosklení byl vyčíslen obecně, bez vlivu světových stran. V okamžiku, kdybychom tento jev cíleně zkoumali zvlášť, došli bychom k závěru, že prosklení orientované na jih má na spotřebu tepla na vytápění příznivý vliv a naopak prosklení na sever vliv spíše nepříznivý, ochuzený o tepelné zisky.



### *Spotřeba tepla na vytápění podle umístění v zástavbě*

Umístěním v zástavbě se rozumí poloha objektu vůči ostatním objektům. Objekty byly z tohoto pohledu rozděleny do tří skupin (viz kapitola **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.**). Dále byla zkoumána závislost tohoto parametru na spotřebě tepla na vytápění. Výsledky ukazují, že objekty řadové mají bez ohledu na ostatní parametry obecně nižší spotřebu tepla na vytápění, než objekty samostatně stojící či polořadové.



## 4.5 TEORETICKÁ ANALÝZA

V návaznosti na statistickou analýzu byl sestaven komplexní výpočetní kalkulátor, který v sobě zahrnuje nutné geometrické, fyzikální a technické okrajové podmínky budovy tak, aby mohla být řešená budova zkoumána nejen po jednotlivých faktorech ovlivňujících její energetickou náročnost, ale také ekonomické ukazatele jednotlivých technických opatření.

Kalkulátor se skládá z jednotlivých výpočetních modulů, které jsou mezi sebou vzájemnou logikou propojeny. Kalkulátor je postupně rozšiřován (podle aktuálních

potřeb současného stavu poznání a požadavků legislativy) v prostředí MS Excel. V současné době je kalkulátor komerčně využíván v praxi v auditorské firmě pro přípravu technických podkladů za účelem vypracování energetických auditů, energetických posudků a energetických průkazů.

Aktuálně je kalkulátor upravován tak, aby mohl být využíván jako prostředí pro tvorbu obecných energetických průkazů budov. Pro představu je na následujících obrázcích ukázka vstupních a výstupních oken.

#### 4.5.1 Energetický kalkulátor

Vzhledem k velikosti jednotlivých výpočetních modulů, jsou níže uvedeny ukázky pouze vstupních okrajových podmínek výpočtu a vybraných výstupů.

Okrajové podmínky	
Lokalita	
Typ budovy	
Počet bytů	
Počet osob	
Délka otopného období (sezónní výpočet) d (den)	#####
Vnější průměrná teplota (sezónní výpočet) $t_{es}$ ( C)	#####
Vnější návrhová zimní teplota $t_e$ ( C)	#####
Vnitřní průměrná teplota $t_m$ ( C)	#####
Měrná tepelná ztráta budovy H (W.K <sup>-1</sup> )	
Účinná vnitřní tepelná kapacita C (kJ.K <sup>-1</sup> .m <sup>2</sup> )	
Časová konstanta zóny t (h)	#####

Geometrické parametry budovy	
Podlahová plocha A <sub>p</sub>	0,00
Obestavěný vytápěný prostor	0,00
Objem vzduchu vytápěného prostoru	0,00
Obalová plocha ohraničujících konstrukcí	0,00
Geometrická charakteristika budovy A/V	#DĚLENÍ_NULO!

Řádek	Varianta 1 Ukazatel	Před realizací projektu		Po realizaci projektu			
		Spotřeba energie	Provozní náklady	Spotřeba energie	Provozní náklady	Úspora energie (potenciál)	Úspora provozních nákladů
		GJ.rok <sup>-1</sup>	tis Kč.rok <sup>-1</sup>	GJ.rok <sup>-1</sup>	tis Kč.rok <sup>-1</sup>	GJ.rok <sup>-1</sup>	tis Kč.rok <sup>-1</sup>
1	Vstupy paliv a energie	#####	#####	#####	#####	#####	#####
2	Změna zásob paliv	0	0	0	0	0	0
3	Spotřeba paliv a energie	#####	#####	#####	#####	#####	#####
4	Prodej energie cizím	0	0	0	0	0	0
5	Konečná spotřeba tepla v objektu	#####	#####	#####	#####	#####	#####
6	Ztráty ve vlastním zdroji a rozvodech	#####	#####	#####	#####	#####	#####
7	Spotřeba energie na vytápění	#####	#####	#####	#####	#####	#####
8	Spotřeba energie na TUV	0	0	0	0	0	0
9	Spotřeba energie na technologické a ostatní procesy	15	20	15	20	0	0



Údaje - Varianta 1	Kč - ost. jedn.
Investiční výdaje projektu (počáteční, jednorázové výdaje na realizaci opatření v navržených variantách) včetně dotace	0
Změna nákladů na energii (- snížení, + zvýšení)	#DĚLENÍ_NULOU!
Změna ostatních provozních nákladů, v tom:	
změna osobních nákladů (mzdy, pojistné, ...) (- +)	0
změna ostatních provozních nákladů (opravy a údržba, služby, režie, pojištění majetku, ...) (- +)	0
změna nákladů na emise resp. i odpady (- +)	0
Změna tržeb (za teplo, elektřinu, využití odpady) (+ zvýšení, - snížení)	#DĚLENÍ_NULOU!
Přínosy projektu celkem	#DĚLENÍ_NULOU!
Doba hodnocení	30
Diskont	3%
Prostá doba návratnosti Ts (PB)	#DĚLENÍ_NULOU!
Reálná doba návratnosti Tsd (PO)	#DĚLENÍ_NULOU!
Čistá současná hodnota NPV (tis. Kč)	#DĚLENÍ_NULOU!
Vnitřní výnosové procento IRR	0,0

<b>ÚT</b>		
Dodaná energie	#DĚLENÍ_NULOU!	GJ
Pomocná energie	0,670	GJ
ÚT celkem	#DĚLENÍ_NULOU!	GJ
Epa	#DĚLENÍ_NULOU!	kWh/m2.rok-1
<b>TV</b>		
Dodaná energie	0,000	GJ
Pomocná energie	0,518	GJ
TV celkem	0,518	GJ
Epa	#DĚLENÍ_NULOU!	kWh/m2.rok-1
<b>VZT</b>		
Dodaná energie	0,000	GJ
Pomocná energie	0,000	GJ
VZT celkem	0,000	GJ
Epa	#DĚLENÍ_NULOU!	kWh/m2.rok-1
<b>Osvětlení</b>		
Dodaná energie	0,000	GJ
Osvětlení celkem	0,000	GJ
Epa	#DĚLENÍ_NULOU!	kWh/m2.rok-1
<b>Celkem EP</b>	#DĚLENÍ_NULOU!	GJ

### **Simulační program BSim 2010**

Program Building simulation (BSim) vytvořila společnost Danish Building and Urban Research. Program slouží pro tepelné a energetické modelování budov v průběhu celého roku.

Při tvorbě 3D modelu budovy se postupně vkládají jednotlivé místnosti. Ke každému povrchu místnosti a konstrukci se přiřazuje materiál konstrukce včetně

jeho povrchu. Po vytvoření modelu se jednotlivé místnosti seskupují do tzv. „teplotních zón“.

U jednotlivých teplotních zón se zadává operativní teplota, způsob vytápění, chlazení, provoz vzduchotechniky, osvětlení a obsazení zóny osobami v průběhu celého dne. Před spuštěním výpočtu se zadává místo stavby a to zeměpisnou šířkou, zeměpisnou délkou, nadmořskou výškou a časovým pásmem. Pro přesnější simulaci lze použít skutečně naměřená klimatická data ve formátu den, měsíc a hodina, teplota venkovního vzduchu, relativní vlhkost, přímá a difúzní sluneční radiace, celková doba slunečního svitu, směr a rychlost větru.

Pro simulaci v průběhu celého roku se volí krok časové a prostorové diskretizace pro numerické řešení sdílení tepla vedením. Krok prostorové diskretizace je volen automaticky. Po spuštění výpočtu je provedena simulace v průběhu celého roku s vloženými klimatickými daty a zadaným provozem soustav TZB a modelem užíváním budovy v průběhu typického dne pro každý měsíc roku. Výstupem je tabulkové a grafické shrnutí všech potřebných energií pro provoz jednotlivých součástí systému TZB. Nestacionární tepelně – vlhkostní chování budovy je programem převedeno ve velmi krátkých časových intervalech na stacionární tepelně – vlhkostní chování podle Fourierovy rovnice sdílení tepla. Program vyhodnocuje vnitřní prostředí budovy (teplota vzduchu v interiéru, povrchová teploty, relativní atmosférická vlhkost, výměna vzduchu) v hodinových intervalech. Krok prostorové diskretizace je programem volen automaticky. Při přenosu tepla konstrukcí, považuje program konstrukci za homogenní. Pokud je ale příliš mohutná, je rozdělena do více tenkých vrstev (metoda kontrolních objemů). K řešení těchto dynamických stavů používá program BSim iterační metody.

### ***Modelování energetických toků v budově***

Pro další analyzování a možnosti zkoumání vlivu vybraných parametrů byl v simulačním výpočtovém nástroji BSim vytvořen geometrický model obytného domu. Při zadávání okrajových podmínek byla použita klimatická data ve formátu TMY platné pro stanici Brno-Tuřany. Jako nadmořská výška byla použita hodnota 237 m n. m.

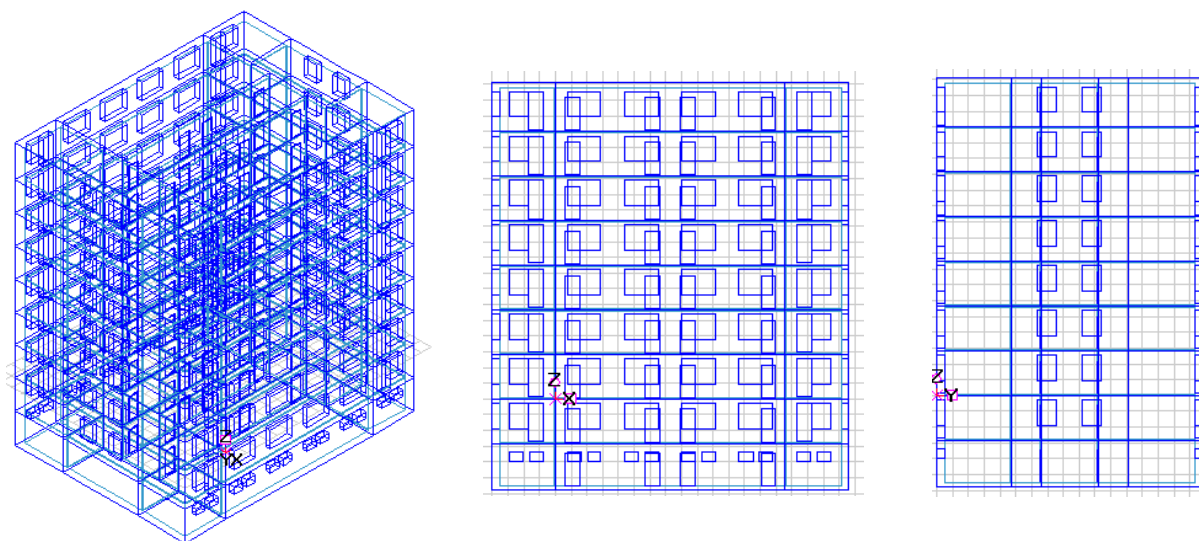
### ***Popis modelu obytného domu***

Při volbě vhodného modelu konkrétního bytového domu padl výběr na objekt reprezentující nejčastěji se vyskytující vzorek ve výběrovém souboru a také mezi panelovou výstavbou v celé ČR – tedy panelový dům konstrukční soustavy T06 B. Jde o objekt s osmi nadzemními a jedním částečně podzemním podlažím. V každém podlaží jsou situovány 4 bytové jednotky, každá o celkové užité ploše 72 m<sup>2</sup>. Celkem je v budově 32 bytových jednotek o celkové podlahové ploše 2304 m<sup>2</sup>. Otopná soustava je v objektu teplovodní dvoutrubková. Otopné plochy jsou tvořeny převážně deskovými radiátory s regulačními ventily a termostatickými hlavicemi.

Zdrojem tepla je předávací stanice. Je důležité zmínit, že objekt je již po celkové revitalizaci. Hodnoty součinitelů prostupu tepla uvádí tabulka:

Typ konstrukce	U ( $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$ )
Obvodová stěna	0,20
Střecha	0,10
Výplně otvorů	1,20
Podlaha přilehlá k zemině	0,85
Podlaha nad sklepem	0,50

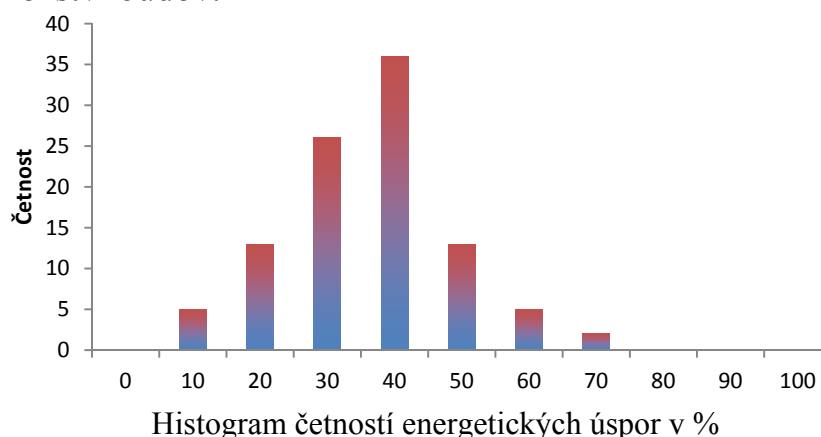
**Tab. 4.1** Hodnoty součinitelů prostupu tepla



## 4.6 POTENCIÁL ÚSPORNÝCH OPATŘENÍ V ANALYZOVANÉM SOUBORU BUDOV

U každého ze sledovaných objektů bylo v rámci objektivních možností navrženo také optimální energeticky úsporné opatření, které se týkalo především zkvalitnění tepelně-izolačních vlastností obálky budovy. Hodnocení navrhované úrovně energetické náročnosti bytových domů bylo na rozdíl od výchozího stavu objektu, jehož energická náročnost vycházela z reálných hodnot, provedeno v energetickém kalkulátoru v MS Excel.

Potenciál energetických úspor vyjádřený mírou snížení energetické náročnosti oproti výchozímu stavu je patrný z obrázku. Z něj je zřejmé, že realizací běžných opatření (zateplení obálky budovy) je teoreticky možné snížit energetickou náročnost o 10 – 70 % (ve výjimečných případech). Energetické úspory do 40 % dosáhlo ve sledovaném souboru budov přibližně 80 % všech objektů. Vyšší úspory jsou spíše výjimkou a svědčí o tom, že se ve výchozím stavu jednalo o objekt nedotčený jakoukoli předchozí rekonstrukcí zahrnující tepelně-izolační zásah do obálky budovy. Naopak objekty s malým potenciálem úspor již mají revitalizaci ve větší míře za sebou. 40% úspory oproti výchozímu stavu je reálně dosaženo u největšího množství budov.



## 5 ZÁVĚR

Vzhledem k rozsahu řešených problémů jsou výsledky práce rozděleny podle jednotlivých cílů práce.

V kapitole **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.** je provedeno statistické vyhodnocení reálných budov pravděpodobnostní analýzou. Vyhodnocení předkládá pro v praxi využívané parametry popisující budovy jejich důležitost a jejich statistickou významnost při popisu charakteru tepelně technických vlastností každé zkoumané budovy. Takřka pro každý hodnocený parametr byl sestaven histogram četností, ze kterého je možné vyčíst pravděpodobnostní rozdělení sledovaného faktoru a utvořit si obecnou představu o charakteru stávajícího bytového fondu ČR.

Energetickou bilancí sledovaného statistického souboru budov se zabývá kapitola 0. Jsou hodnoceny jednotlivé dílčí složky energetické bilance jak pro jednotlivé objekty, tak komplexně pro celý soubor.

V kapitole 4.4 je formou korelační a regresní analýzy provedeno vyhodnocení vlivu vybraných parametrů technických a fyzikálních vlastností řešených budov s ohledem na jejich energetickou náročnost resp. spotřebu tepla na vytápění.

V kapitole 4.5 byl v hrubých obrysech představen výpočtový nástroj („Energetický kalkulátor“). Pomocí kalkulátoru byly provedeny výpočty jednotlivých energetických toků ve zkoumaném statickém vzorku budov, navrženy opatření na nákladově optimální úrovni a vyčíslen možný potenciál úspor (kapitola 0). Výpočtový nástroj je využíván v praxi za účelem orientace pracovníka při tvorbě energetických auditů a energetických průkazů budovy.

### 5.1 POZNATKY PRO DALŠÍ VÝZKUM A TECHNICKOU PRAXI

Na kategorizaci stávajících objektů bytových domů podle energetické náročnosti mají vliv tyto parametry (seřazeno podle jejich důležitosti – respektive vlivu):

- Průměrný součinitel prostupu tepla budovy spolu s obestavěným prostorem budovy
- Objemový faktor tvaru budovy spolu s vytápěnou plochou budovy respektive energeticky vztažnou plochou budovy
- Období výstavby objektu spolu s počtem podlaží a umístěním v zástavbě.
- Poměrné prosklení obvodové konstrukce (fasády) budovy.

Ani u jednoho ze sledovaných parametrů nebyla vyzorována velmi silná míra korelace, tedy energetickou náročnost ovlivňuje vždy souhra více faktorů a je žádoucí hodnotit každý objekt individuálně. Z tohoto pohledu se jeví klasifikace do tříd energetické náročnosti budov podle referenční budovy jako optimální.

Základem snížení energetické náročnosti budov (a také emisí) jsou úpravy jejich stavebního řešení. Další a neméně důležité opatření by mělo vést k zajištění optimálního vnitřního prostředí.

Úspory energie nelze zajistit jen technickými prostředky, stejně významný je i přístup a dlouhodobé chování lidí.

### **5.1.1 Možnosti pro další výzkum**

- Teoretické experimentování s tepelně-technickými vlastnostmi a dalšími vstupními parametry a ověřování dopadů na citlivost modelu.
- Rozšíření modulů a algoritmu Energetického kalkulátoru.
- Analýza úspor nejen na řešeném vzorku, ale na modelech obecných budov.
- Vytvořit databázi analyzovaných dat budov s různým využitím s cílem predikce výsledků jednotlivých technických opatření podle vybraných parametrů budovy.

## SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

### *Právní předpisy a normy*

1. ČSN 06 0210. *Výpočet tepelných ztrát při ústředním vytápění*. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 1994.
2. ČSN EN 12 831. *Tepelné soustavy v budovách – Výpočet tepelného výkonu*. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2005.
3. ČSN EN 13 790. *Energetická náročnost budov – Výpočet spotřeby energie na vytápění a chlazení*. Český normalizační institut, 2009.
4. ČSN 73 0540. *Tepelná ochrana budov – Část 2: Požadavky*. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.
5. Zákon č. 406/2000 Sb., o hospodaření energií, ve znění pozdějších předpisů.
6. Vyhláška č. 78/2013 Sb., o energetické náročnosti budov. Platná od 1. 4. 2013.
7. Vyhláška č. 148/2007 Sb., o energetické náročnosti budov. Platná do 31. 3. 2013.

### *Knihy a akademické práce*

8. DODGE, Mark – DOUGLES, Craig, Stinson. *Mistrovství v Microsoft Excel 2010*. Computer Press, 2011. ISBN 978-80-251-3354-5.
9. HENDL, Jan. *Přehled statistických metod zpracování dat: Analýza a metaanalýza dat*. Portál, 2012. ISBN 978-80-262-0200-4.
10. MELOUN, Milan – MILITKÝ, Jiří. *Statistická analýza experimentálních dat*. 2. Vydání. Academia, 2004. ISBN 80-200-1254-0.
11. VAVERKA, Jiří a kolektiv. *Stavební tepelná technika a energetika budov*. Vysoké učení technické v Brně, 2006. ISBN 80-214-2910-0.

### *Časopisy*

12. URBAN, Miroslav. Hodnocení energetické náročnosti budov podle platné legislativy. *Vytápění, větrání, instalace*. 3/2013. ISSN: 1210-1389.

### *Elektronické zdroje*

13. ČESKÝ STATISTICKÝ ÚŘAD>*Sčítání lidu, domů a bytů 2011* [online]. [cit. 2013-02-06]. URL: <<http://www.scitani.cz/>>

14. TZB-INFO / ENERGETICKÁ NÁROČNOST BUDOV. *Nové požadavky na hodnocení energetické náročnosti budov od 1. dubna 2013.*[online]. [cit. 2013-07-25]. URL: < <http://www.tzb-info.cz/energeticka-narocnost-budov/9745-nove-pozadavky-na-hodnoceni-energeticke-narocnosti-budov-od-1-dubna-2013>>



# ŽIVOTOPIS

## *Osobní údaje*

jméno / příjmení	Lucie Vendlová
adresa	Zahradníková 502/16, 602 00 Brno
e-mail	vendlova.l@fce.vutbr.cz
státní příslušnost	Česká republika
datum narození	25. listopadu 1981

## *Pracovní zkušenosti*

období	říjen 2005 – červenec 2007
funkce	Projekce vytápění a zdravotně-technických instalací
zaměstnavatel	Domia art, s.r.o. (Barvičova 4, 602 00 Brno)
období	červen 2008 - září 2008
funkce	Referentka pro zahraničí – mobility studentů a akademických pracovníků
zaměstnavatel	Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební
období	duben 2009 – současnost
funkce	asistent na Ústavu technických zařízení budov
zaměstnavatel	Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební
období	únor 2010 – současnost
funkce	Energetický specialista
zaměstnavatel	Suchánek s.r.o. (Mezírka 1, 602 00 Brno)

## *Vzdělání*

období	2006 – současnost
dosažená kvalifikace	složena státní doktorská zkouška
obor	stavební inženýrství
organizace	Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební
období	2001 – 2006
dosažená kvalifikace	ukončeno státní magisterskou zkouškou, titul Ing.
obor	stavební inženýrství
organizace	Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební

### *Schopnosti, znalosti a dovednosti*

mateřský jazyk	český
jazykové znalosti	angličtina poslech – C1, čtení – C1, mluvení – B2, psaní – B2 němčina poslech – B2, čtení – B2, mluvení – B1, psaní – B1
počítačové znalosti	Microsoft Office, Autodesk AutoCAD (2D kreslení), Google SketchUp, Svoboda Software
řidičský průkaz	A, B
sociální schopnosti a dovednosti	dobré komunikační schopnosti získané při jednání s klienty a při práci se studenty, příjemné vystupování, schopnost týmové práce
další schopnosti, znalosti a dovednosti	Samostatnost, kreativita, flexibilita

## **ABSTRAKT**

Práce se zabývá zkoumáním vlivu vybraných parametrů bytových domů na jejich energetickou náročnost. V rámci aplikace teorie statistiky je analyzován datový soubor zkoumaných budov z hlediska různých vlastností, které jej charakterizují. Jedná se zejména o tepelně-technické vlastnosti a jednotlivé dílčí položky energetické bilance. Míra závislosti vybraných parametrů ovlivňujících energetickou náročnost je zkoumána pomocí korelační a regresní analýzy. Výsledky jsou uplatněny při vývoji výpočetního nástroje pro hodnocení energetických toků v budově.

