

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ENERGETICKÝ ÚSTAV
ENERGY INSTITUTE

HODNOCENÍ ENERGETICKÉ NÁROČNOSTI BUDOV NÁRODNÍM KALKULAČNÍM NÁSTROJEM NKN II A POROVNÁNÍ S VÝSLEDKY ENERGETICKÉ SIMULACE

EVALUATION OF ENERGY DEMANDS OF BUILDINGS USING NKN II AND COMPARISON WITH RESULTS
OF ENERGY SIMULATION

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE Bc. Jakub Hlubinka
AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE doc. Ing. Michal Jaroš, Dr.
SUPERVISOR

BRNO 2016

Zadání diplomové práce

Ústav: Energetický ústav
Student: **Bc. Jakub Hlubinka**
Studijní program: Strojní inženýrství
Studijní obor: Technika prostředí
Vedoucí práce: **doc. Ing. Michal Jaroš, Dr.**
Akademický rok: 2015/16

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Hodnocení energetické náročnosti budov národním kalkulačním nástrojem NKN II a porovnání s výsledky energetické simulace

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Pro účely jednotného hodnocení energetické náročnosti budov a zpracování průkazu ENB byly v minulých letech vytvořeny specializované výpočetní nástroje NKN a NKN II, určené pro energetické specialisty, autorizované osoby, projektanty i širší odbornou veřejnost. Jinou alternativu pro detailnější posouzení energetických nároků budov představuje jejich energetická simulace s využitím vhodných softwarových nástrojů (např. TRNSYS). Nabízí se proto srovnání obou softwarových nástrojů jak z hlediska získaných výsledků, tak i jejich možností, uživatelského komfortu apod.

Cíle diplomové práce:

Zpracujte hodnocení energetické náročnosti vybrané budovy (budov) výpočetním nástrojem NKN II a porovnejte je s energetickou simulací programem TRNSYS. Porovnejte výsledky obou výpočtů, posuňte a zdůvodněte případné rozdíly. Zhodnoťte rovněž možnosti a uživatelský komfort obou nástrojů a jejich přínos pro projektanty a konstruktéry.

Seznam literatury:

VAVERKA, J. a kol. Stavební tepelná technika a energetika budov. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2006. ISBN 80-214-2910-0.

CHMÚRNY, I. Tepelná ochrana budov. Bratislava: Jaga group, 2003. ISBN 80-88905-27-3.

CHYSKÝ, J., HEMZAL, K. a kol. Větrání a klimatizace. 3. vydání. Praha: Česká Matica technická, 1993. ISBN 80-901574-0-8.

BERNARDINOVÁ, A., MAREŠ, M. Zpracování průkazu energetické náročnosti budovy: praktická příručka pro všechny majitele rodinných a bytových domů, bytů a pro realitní kanceláře. Praha: Linde, 2013. ISBN 978-80-7201-914-4.

Vyhláška ze dne 18. června 2007 o energetické náročnosti budov. Sbírka zákonů č. 148/2008, s. 1855-1879.

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

Internetový portál TZB-info (www.tzb-info.cz).

Další internetové, časopisecké a jiné zdroje dle vlastního výběru studenta.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2015/16

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá hodnocením energetické náročnosti dvou typů rodinných domů. Výpočet je proveden pomocí národního kalkulačního nástroje NKN II a simulačním programem TRNSYS. Výsledky obou výpočtů jsou navzájem porovnány a rozdíly zdůvodněny. Oba výpočetní nástroje jsou rovněž porovnány z uživatelského hlediska. Na závěr je hodnocena jejich využitelnost pro projektové pracovníky.

ABSTRACT

The Master Thesis evaluates the energy demands of two types of family houses. The calculations are performed using the national calculation tool NKN II and the simulation software TRNSYS. The results of both methods are compared and their differences explained. Both calculation tools are compared from the user point view and finally their applicability for project designers is evaluated.

KLÍČOVÁ SLOVA

Energetická náročnost, rodinný dům, spotřeba energie, potřeba energie, klimatické podmínky, NKN II, TRNSYS

KEY WORDS

Energy demands, family house, energy consumption, energy requirement, climate conditions, NKN II, TRNSYS,

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

HLUBINKA, J. *Hodnocení energetické náročnosti budov národním kalkulačním nástrojem NKN II a porovnání s výsledky energetické simulace*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2016. 95 s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Michal Jaroš, Dr.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma *Hodnocení energetické náročnosti budov národním kalkulačním nástrojem NKN II a porovnání s výsledky energetické simulace* vypracoval samostatně s využitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který tvoří přílohu této práce.

V Brně 24. května 2016

.....

Podpis

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu práce panu doc. Ing. Michalu Jarošovi, Dr. za odborné vedení při jejím vypracování a Ing. Pavlu Charvátovi, Ph.D. za věnovaný čas a cenné připomínky při vytváření energetických simulací.

Dále pak Terezce za její lásku a trpělivost a celé mé rodině, která mě během studia podporovala a umožnila mi úspěšně dostudovat.

OBSAH

OBSAH	9
1 Úvod.....	11
2 Energetická náročnost budov (ENB)	13
2.1 Legislativa spojená s hodnocením ENB.....	13
2.2 Vymezení pojmu týkajícího se energetiky budov.....	15
3 Metody výpočtu ENB	17
3.1 Ruční metody výpočtu ENB.....	17
3.1.1 <i>Výpočet dle ČSN EN ISO 13 790.....</i>	17
3.1.2 <i>Výpočet potřeby tepla dle tzv. denostupňové metody.....</i>	17
3.1.3 <i>Bilanční hodnocení</i>	18
3.2 Výpočet a hodnocení ENB pomocí výpočetního softwaru	22
3.2.1 <i>NKN II.....</i>	23
3.2.2 <i>TRNSYS.....</i>	23
4 Posuzované objekty	25
4.1 Rodinný dům - bungalow	25
4.1.1 <i>Tepelně technické vlastnosti konstrukcí obálky bungalowu</i>	27
4.1.2 <i>Energetické a technické systémy bungalowu.....</i>	29
4.2 Moderní novostavba RD	29
4.2.1 <i>Tepelně technické vlastnosti konstrukcí obálky moderní novostavby RD....</i>	31
4.2.2 <i>Energetické a technické systémy moderní novostavby</i>	33
5 Výpočet energetické náročnosti budovy pomocí NKN II	35
5.1 Rodinný dům - bungalow	35
5.1.1 <i>Tvorba výpočetního modelu bungalowu</i>	35
5.1.2 <i>Referenční údaje.....</i>	40
5.1.3 <i>Hodnocení ukazatelů ENB</i>	40
5.1.4 <i>Grafické zpracování průkazu energetické náročnosti budovy (PENB)</i>	42
5.1.5 <i>Výsledky energetických potřeb vytápění a chlazení.....</i>	44
5.2 Moderní novostavba RD	45
5.2.1 <i>Hodnocení ukazatelů ENB</i>	47
5.2.2 <i>Grafické znázornění PENB pro moderní novostavbu RD</i>	48
5.2.3 <i>Výsledky energetických potřeb vytápění a chlazení.....</i>	50

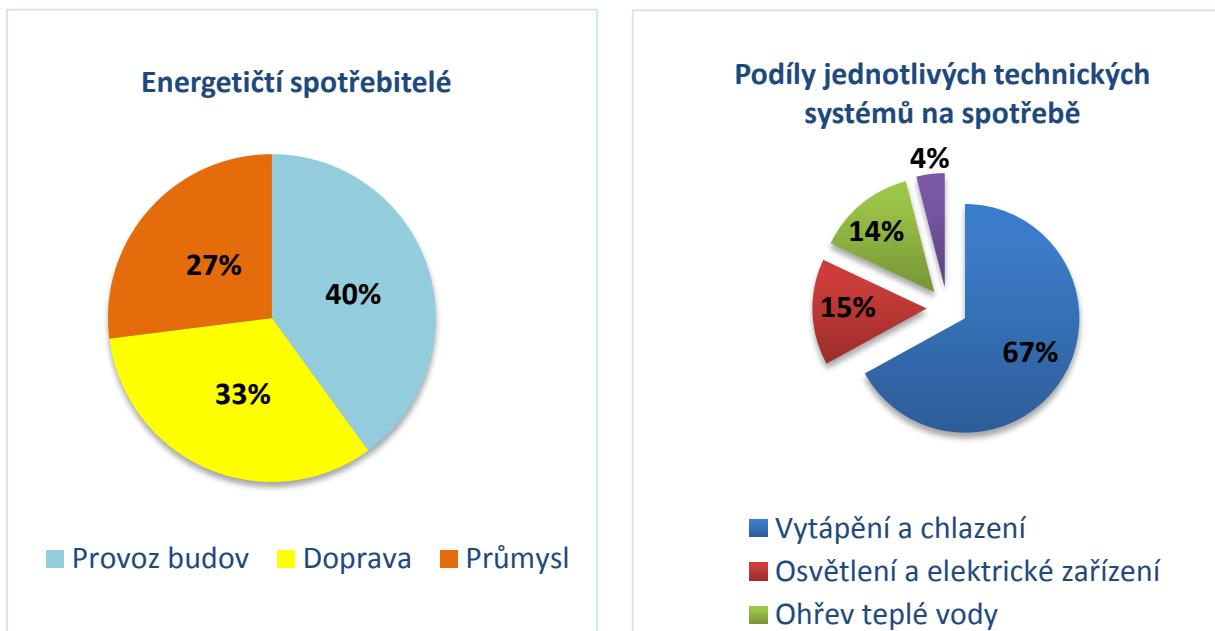
6 Energetická simulace pomocí programu TRNSYS	51
6.1 Rodinný dům - bungalow	52
6.1.1 Výpočetní model bungalowu č. 1 vycházející z metodiky výpočtu NKN II	52
6.1.2 Výpočetní model bungalowu č. 2	54
6.1.3 Výpočetní model bungalowu č. 3 - vliv podrobných klimatických údajů	56
6.1.4 Výpočetní model bungalowu č. 4 s definovaným užíváním zóny	58
6.1.5 Vícezónový výpočetní model bungalowu (č. 5)	62
6.2 Moderní novostavba RD	67
6.2.1 Výpoč. model novostavby RD č. 1 vycházející z metodiky výpočtu NKN II...	67
6.2.2 Výpočetní model novostavby RD č. 2	69
6.2.3 Výpočetní model novostavby RD č. 3, vliv podrobných klimatických údajů	70
6.2.4 Výpočetní model novostavby RD č. 4 s definovaným užíváním zóny	72
6.2.5 Vícezónový výpočetní model novostavby RD č. 5	74
7 Porovnání NKN II a energetické simulace v TRNSYSU.....	77
7.1 Porovnání výpočtů energetických nároků vytápění a chlazení	77
7.1.1 Bungalow	77
7.1.2 Novostavba	79
7.2 Vliv rozdílných energetických nároků na hodnocení ENB dle vyhlášky č. 78/2013	81
7.2.1 Bungalow	82
7.2.2 Novostavba rodinného domu	84
7.3 Diskuze	86
7.4 Porovnání uživatelského komfortu a využitelnosti obou nástrojů pro projektové pracovníky	86
Závěr	89
Použité zdroje	91
Použité symboly a zkratky	93
Přílohy	95

1 ÚVOD

Klimatické změny a rostoucí nedostatek energetických zdrojů jsou velmi diskutovaná téma dnešní doby. Efektivní a udržitelné využívání energie je pro dnešní společnost naléhavou nutností.

Evropské společenství se dlouhodobě snaží snižovat celkovou spotřebu energií a nahrazovat tradiční neobnovitelné zdroje obnovitelnými. Vše je cíleno na ochranu a zlepšení životního prostředí. V roce 2007 Evropská unie (EU) vytyčila nezávazný cíl snížit do roku 2020 předpokládanou spotřebu primární energie o 20 % [1].

Jak můžeme vidět na obr. 1, největším spotřebitelem energie v EU spolu s průmyslem a dopravou je provoz budov. Energie spotřebovaná technickými systémy budov, tedy energetické nároky topení, chlazení, větrání, přípravy teplé vody a osvětlení, činí okolo 40 % veškeré spotřebované energie [2,3].



Obr. 1.1 - Rozdělení spotřebované energie podle sektoru konečného spotřebitele [3]

Obr. 1.2 - Průměrné rozdělení spotřeby energie v budovách [3]

V České republice se aktuálně problematikou spotřeby energie v budovách zabývá vyhláška č. 78/2013 Sb., jež nabyla účinnosti 1. dubna 2013 [1].

Legislativní kroky EU, spolu s dotačními programy cílenými na úspory energie, posílily podnikatelský sektor, který se zabývá komplexním hodnocením energetické náročnosti budov. Za tímto účelem začaly vznikat různé programy, jejichž úkolem je zefektivnění práce energetických specialistů a projektantů. Jen stěží by se ceny průkazů energetické náročnosti budov pohybovaly okolo 3000 Kč, kdyby nebyl v praxi použit vhodný software a výpočet by se prováděl ručně.

Mezi nejznámější používané programy patří Energetika, NKN II, Protech, Energie 2015. NKN II vznikl na katedře technických zařízení budov fakulty stavební ČVUT v Praze. Vývoj tohoto výpočetního nástroje byl financován z grantu České energetické agentury. Jedná se tedy o volně šířitelný software, což je důvod, proč je v hojně míře využíván energetickými znalci, projektanty a další širokou veřejností.

NKN II je primárně navržen k posouzení energetické náročnosti budovy, kdy výstupem je energetický štítek. Autoři programu však uvádějí, že software je možné využít i k určení dílčích energetických potřeb posuzovaného objektu.

Pro tyto účely je však možné využít i simulační programy, např. ESP-r, TRNSYS, EnergyPlus, IDA a další, které řeší komplexní modelování a simulaci energetického chování budov [4].

Zde se otevírá prostor pro srovnání obou metod, což je jedním z hlavních cílů této práce. Výpočet energetické náročnosti bude proveden pro dva objekty. Výsledky dílčích energetických potřeb spočítané pomocí NKN II a výsledky simulace v programu TRNSYS budou následně porovnány. Cílem je zjistit, do jaké míry se mohou výsledky obou přístupů rozcházet, např. v souvislosti s použitím podrobných klimatických údajů a definováním konkrétního užívání jednotlivých zón objektu.

Přeneseno do praxe, ptáme se, jaké chyby se dopouští projektant TZB, který využívá NKN II jako nástroj pro výpočet tepelných ztrát a tepelných zisků, na jehož základě poté navrhuje vytápění a chlazení budovy a zda jsou tyto údaje pro daný účel vůbec použitelné.

2 ENERGETICKÁ NÁROČNOST BUDOV (ENB)

Z energetického hlediska je každá budova charakterizována svými energetickými nároky (potřebami energie), a také svou energetickou náročností (spotřebami energie). Energetické nároky závisí na tepelně technických vlastnostech konstrukcí objektu, okolním prostředí a požadovaném mikroklimatu uvnitř budovy. Nejčastěji mluvíme o nárocích na vytápění a chlazení.

Pojem energetická náročnost budovy nám popisuje skutečnou energii, která by měla být spotřebovávána na provoz budovy (tedy tu, co nakonec zaplatíme). Záleží tedy také na použití konkrétních energetických systémů, jenž pokrývají energetické nároky [5].

2.1 Legislativa spojená s hodnocením ENB

V roce 2002 byla vydána první směrnice Evropského parlamentu a Rady č. 2002/91/EC, která se problematikou ENB zabývala v rámci celé Evropské unie. Ta byla v roce 2010, v návaznosti na stanovené cíle EU, nahrazena směrnicí 2010/31/EU o energetické náročnosti budov, jejímž hlavním účelem je snížení spotřeby energie v budovách. Spolu se směrnicí 2012/27/EU je pak hlavní evropskou legislativní normou, která se komplexně zabývá energetikou budov [2].

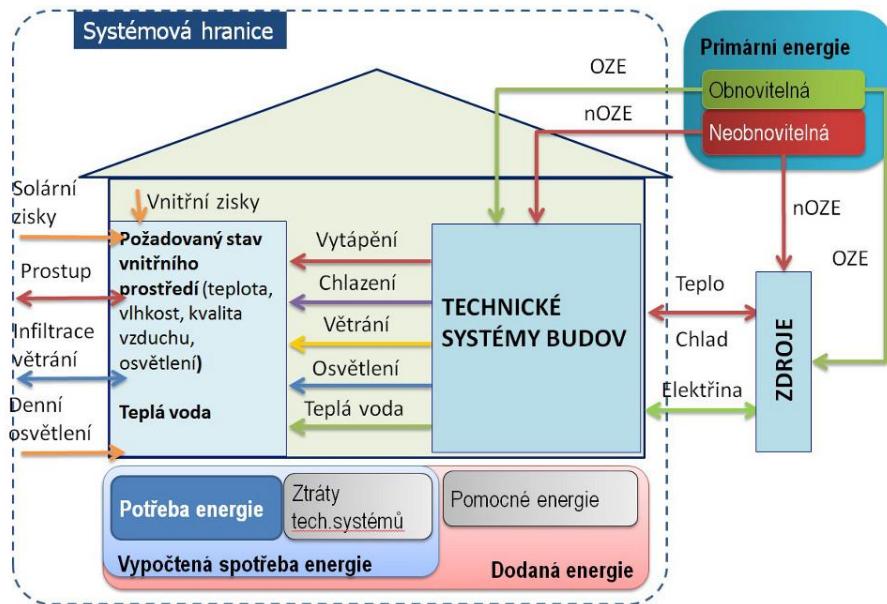
Na základě výše zmíněných evropských direktiv vyšla v České republice nová vyhláška č. 78/2013 Sb. o energetické náročnosti budov. Postup hodnocení ENB se podle této vyhlášky provádí metodou porovnání s tzv. referenční budovou.

Referenční budova je výpočtově definovaná budova téhož druhu, stejného tvaru a velikosti včetně prosklených ploch a částí, stejně orientace ke světovým stranám, stejnými klimatickými údaji atd. jako budova, kterou hodnotíme. Vlastnosti referenční budovy, jako jsou tepelně technické vlastnosti konstrukcí a vlastnosti technických systémů budovy vycházejí z referenčních hodnot, které jsou uvedeny v příloze této vyhlášky.

Jednou ze zásadních změn oproti předchozímu předpisu č. 148/2007 Sb. je, že pro hodnocení ENB se nyní nestanovuje poloha budovy ve vazbě na klimatickou oblast. Výpočetní model referenční budovy i budovy hodnocené je zatížen stejnými klimatickými podmínkami a ve výpočtu jsou použita klimatická data, jenž jsou uvedena v TNI 730331, příloha C [6].

Výpočet se provádí paralelně pro obě budovy, jak pro referenční, tak pro námi hodnocenou budovu. Předpokládá se ustálený stav s maximální délkou časového kroku výpočtu jednoho měsíce. Dynamické vlastnosti jsou zohledněny činiteli využití tepelné kapacity budovy, účinností technických systémů a účinností využití tepelných zisků. Vyhláška odkazuje na celou řadu norem souvisejících s energetikou budov. V této práci se s nimi bude konkrétně pracovat, proto je zbytečné, aby se rozebíraly v této kapitole [5].

Ukazatelé ENB pro referenční budovu odpovídají třídě C (úsporná). Na základě porovnání výsledků hodnocené budovy s těmito referenčními hodnotami se posuzovaný objekt zařazuje do příslušných energetických tříd A - G [6].

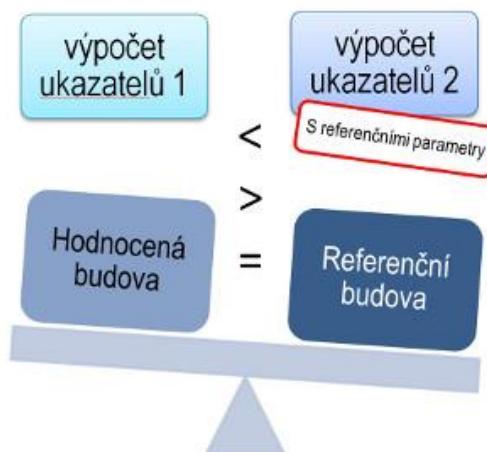


Obr. 2.1 - Princip výpočtu energetické náročnosti budovy dle vyhlášky č 78/2013 Sb [7]

Splnění požadavků ENB závisí na splnění daných ukazatelů energetické náročnosti:

- celková spotřeba primární energie za rok,
- spotřeba neobnovitelné primární energie za rok,
- celková energie dodaná za rok,
- délčí dodané energie pro technické systémy vytápění, chlazení, větrání, úpravu vlhkosti vzduchu, přípravu teplé vody a osvětlení za rok,
- průměrný součinitel prostupu tepla,
- součinitele prostupu tepla jednotlivých konstrukcí na systémové hranici,
- účinnost technických systémů.

To, které ukazatele musí být splněny pro konkrétní budovu, předepisuje také tato vyhláška. Například nové budovy musí splnit současně tři ukazatele ENB (spotřebu neobnovitelné primární energie, celkovou dodanou energii, průměrný součinitel prostupu tepla obálkou budovy). Pro rekonstruované budovy lze jednotlivé ukazatele kombinovat.



Obr. 2.2 - Princip vyhodnocování ukazatelů ENB [7]

2.2 Vymezení pojmu týkajícího se energetiky budov

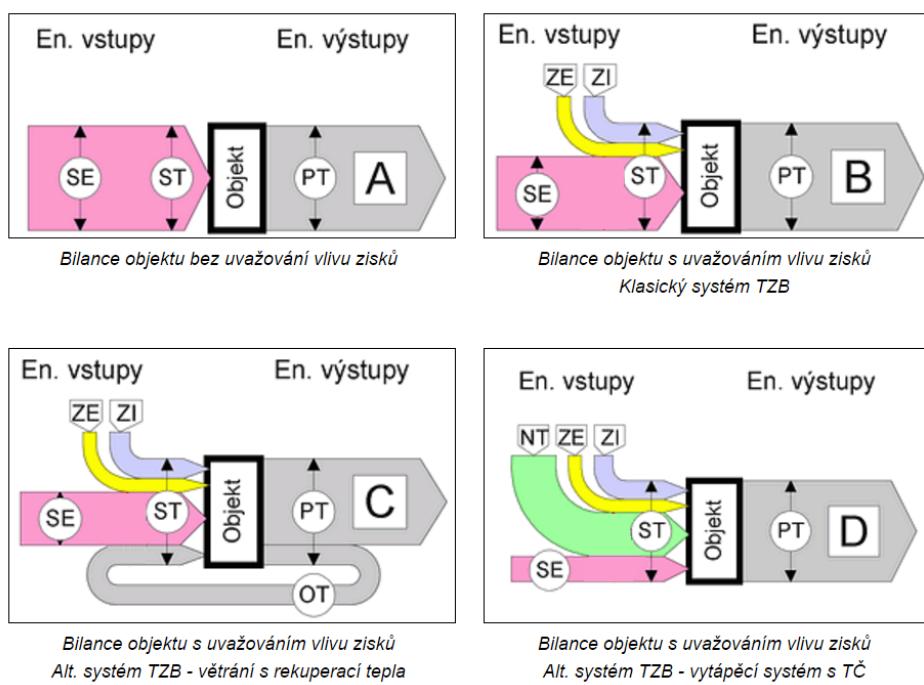
V této práci se velice často vyskytují pojmy jako energetická náročnost, energetické nároky, energetická potřeba a energetická spotřeba. Jak bylo naznačeno na začátku této kapitoly, ne vždy jsou tyto pojmy dobře chápány a mnohdy dochází k jejich zaměňování i mezi odbornou veřejností. Dokonce i v prvních legislativních normách, týkajících se této problematiky, docházelo ke zmatečnému definování těchto pojmu.

Z výše zmíněných důvodů je vhodné uvést rozdíly a vztahy mezi těmito pojmy, tak jak jsou chápány v této práci.

Energetické nároky nebo také **energické potřeby** jsou dány množstvím energie, které objekt pro svou funkci objektivně potřebuje.

Energetickou náročností, respektive **energetickou spotřebou** rozumíme faktické množství tzv. "nakupované" nebo "hnací" energie, jenž pro svou činnost spotřebují technické systémy v budově (vytápění, chlazení, větrání, osvětlení atd.) na pokrytí energetických nároků neboli potřeb.

Možné vztahy mezi energetickou náročností a energetickou potřebou pro systém vytápění názorně ukazuje obr. 2.3 [5].



Obr. 2.3 - Zobrazení spotřeby energie ve vztahu k energetické potřebě [5]

PT - Potřeba tepla pro vytápění - energetické nároky

ST - Spotřeba tepla pro vytápění ST=PT

SE - Spotřeba "hnací" energie - energetická náročnost

ZE - Tepelné zisky vnější

ZI - Tepelné zisky vnitřní

NT - Nízkopotenciální (přírodní) teplo - obnovitelný energetický zdroj

OT - Odpadní teplo - druhotný energetický zdroj

3 METODY VÝPOČTU ENB

Existují různé metody a přístupy vyplývajících z platných právních norem a předpisů České republiky, pomocí nichž se stanovuje energetická náročnost budov. Celkový výpočet může být proveden buď ručními výpočty, nebo použitím nejrůznějších dostupných výpočetních programů. Volba druhu metody vždy záleží na konkrétním případu, účelu výpočtu, požadované přesnosti atd. [8].

3.1 Ruční metody výpočtu ENB

Jednotlivé ruční metody výpočtů se určitou měrou shodují, můžeme je však rozdělit na tři základní druhy, které mají svá specifika. Jedná se o:

- výpočet podle normy ČSN EN ISO 13 790 - spotřeba energie na vytápění a chlazení [9]
- bilanční výpočet vyplývající ze zákona č. 406/2000 Sb. o hospodaření energií, respektující platné normy [10]
- výpočet potřeby tepla dle tzv. denostupňové metody [4].

3.1.1 Výpočet dle ČSN EN ISO 13 790

Tato norma představuje související soubor výpočtových metod o rozdílných úrovních podrobnosti pro určení spotřeby energie na vytápění a chlazení budovy a pro určení vlivu zpětně využitelných tepelných ztrát technických systémů budovy.

Časový interval výpočtu je jeden měsíc nebo jedna hodina. Pro obytné budovy může být časovým úsekem celé otopné nebo chladící období. Dále jsou zde popsány postupy pro využití podrobnějších simulačních metod.

Výpočet dle této normy je velice podrobný a odkazuje na další spoustu souvisejících norem a předpisů, které zde nejsou uvedené [9].

Hlavní výstupní údaje výpočtu podle normy jsou [9]:

- roční potřeby energie na vytápění a chlazení,
- roční spotřeby energie na vytápění a chlazení,
- délka období vytápění a chlazení (pro dobu provozu technických systémů) ovlivňující spotřebu energie a pomocnou energii na pohon technických systémů budov. Provoz těchto systémů je závislý na délce období.

Tato norma může být využita pro tyto aplikace [8]:

- posouzení shody s předpisy vyjadřenými energetickými cílovými ukazateli,
- optimalizace energetického chování plánované budovy výpočtem pro několik variant,
- vyjadření smluvní hodnoty tepelné ochrany existující budovy,
- odhad účinku možných opatření pro úsporu energie u existující budovy, porovnání spotřeby tepla s úsporným opatřením a bez nich,
- odhad budoucích potřeb energetických zdrojů v národním a mezinárodním meřítku.

3.1.2 Výpočet potřeby tepla dle tzv. denostupňové metody

Denostupňová metoda se nejčastěji používá pro výpočet potřeby tepla na vytápění. Základem metody je znalost průběhů venkovních teplot z meteorologických dat. Z těchto

údajů potom vychází délka otopného období v České republice (ČR). Nevýhodou je, že pro jednotlivé stavby v rámci ČR to je velmi individuální. Zatímco u dobře izolovaných budov bývá topná sezóna kratší, u budov neizolovaných to může být mnohem delší období. U bytových domů zásobovaných z centrálního zdroje tepla je dle vyhlášky č. 194/2007 Sb. provozovatel povinen vytápet objekt následující den po dvou po sobě jdoucích dnech, v nichž průměrná denní teplota venkovního vzduchu v příslušném místě nebo lokalitě poklesne pod +13 °C a podle vývoje počasí nelze očekávat zvýšení této teploty nad +13 °C pro následující den [11,12].

Výpočet tzv. denostupňů D se provádí podle vzorce (3.1). Jedná se o součin počtu topných dnů a rozdílu průměrné vnitřní a průměrné venkovní teploty v otopném období. S denostupni se poté pracuje v dalších vztazích, pomocí kterých se určuje potřeba energie.

$$D = d \cdot (t_{im} - t_{em}) \quad (3.1)$$

Průměrné hodnoty pro ČR [12]:

- $D = 3\,678$ (denostupňů)
- $d = 242$ dní (otopného období)
- $t_{im} = 19$ °C (průměrná teplota v interiéru)
- $t_{em} = 3,8$ °C (průměrná teplota v exteriéru v době otopného období)

Tato metoda je vhodná například pro účely, kdy údaj o roční potřebě energie na vytápění nebo chlazení je podkladem pro jednání s dodavatelem energie, případně pro stanovení velikosti úložiště paliva v budově. Je však prakticky nepoužitelná v okamžiku, kdy chceme mezi sebou porovnat více alternativních řešení jednotlivých prvků budovy, jenž ovlivňují potřebu a spotřebu energie [4].

3.1.3 Bilanční hodnocení

Metodika bilančního výpočtu vychází ze zákona č. 406/2000 Sb. o hospodaření energií, ve znění pozdějších předpisů (sbírky zákonů č. 318/2012 Sb. a vyhlášky 78/2013 Sb.).

Bilanční hodnocení se provádí za podmínek standardizovaného užívání budovy a je založeno na výpočtu energie dodané do objektu pro systémy vytápění, mechanického větrání, chlazení, klimatizace, osvětlení a přípravy teplé vody. Započítávají se i pomocné energie těchto systémů. Určí se celková dodaná energie v GJ za rok.

Výpočet dodané energie se provádí intervalovou metodou pro daný časový úsek (měsíc, hodina) v ustáleném teplotním stavu. Je proveden pro všechny časové intervaly v roce a pro všechny zóny budovy.

Energetická bilance je v rámci výpočtu členěna na úrovni budovy (jednotlivých zón) a na úrovni jednotlivých energetických systémů budovy [10].

NKN II, jenž je hlavním výpočetním nástrojem, s kterým se pracuje v této práci, je založen právě na principu bilančního hodnocení [7]. Protože později budeme porovnávat výsledky dílčích energických potřeb na vytápění a chlazení získané pomocí NKN II s energetickou simulací v programu TRNSYS, nastíníme si postup výpočtu dle této metodiky.

Roční spotřeba energie na vytápění

Celková roční spotřeba energie na vytápění EP_H se stanoví dle vztahu

$$EP_H = Q_{fuel,H} + Q_{aux,H} \quad (3.2)$$

kde $Q_{fuel,H}$ [GJ] je roční dodaná energie na vytápění,
 $Q_{aux,H}$ [GJ] je roční dodaná pomocná energie systému vytápění.

Roční dodaná energie na vytápění $Q_{fuel,H}$ se stanoví jako součet dílčích dodaných energií na vytápění ve všech z-tých zónách vyrobených ve všech energetických systémech (sys) za j-tý časový úsek. Určí se podle vztahu

$$Q_{fuel,H} = \sum_{j=1}^n \left(\sum_{sys=1}^n \left(\sum_{z=1}^n \frac{Q_{H,dis,z,j} \cdot f_{H,z,sys}}{\eta_{H,sys}} \right) \right) \quad (3.3)$$

kde $Q_{H,dis,z,j}$ [GJ] je dodaná energie do distribučního systému vytápění,
 $f_{H,z,sys}$ [-] je podíl dodané energie do zóny připadající na zdroj tepla, podrobně v [10],
 $\eta_{H,sys}$ [-] je celková účinnost výroby energie zdrojem tepla, podrobně v [10].

V případě, že je do zóny dodávána energie na vytápění pouze systémem vytápění, pak se energie dodaná do distribučního systému $Q_{H,dis,z,j}$ stanoví podle vztahu

$$Q_{H,dis,z,j} = \frac{Q_{H,nd,z,j}}{\eta_{H,em,z} \cdot \eta_{H,dis,z}} - Q_{H,sc,z,j} \quad (3.4)$$

kde $Q_{H,nd,z,j}$ [GJ] je roční potřeba energie na vytápění,
 $Q_{H,sc,z,j}$ [GJ] je energie pro vytápění vyrobená systémem solárních kolektorů,
 $\eta_{H,em,z}$ [-] je účinnost sdílení tepla mezi vytápěnou zónou a systémem sdílení tepla do zóny, podrobně v [10],
 $\eta_{H,dis,z}$ [-] je účinnost systému distribuce energie na vytápění do zóny, podrobně v [10].

Roční potřeba energie na vytápění

Výpočet potřeby energie na vytápění $Q_{H,nd,z,j}$ je stanoven na základě ČSN EN ISO 13 790 viz kapitola 3.1.1, platí vztah

$$Q_{H,nd,z,j} = Q_{H,ht,z,j} - \eta_{H,gn,z,j} \cdot Q_{H,sc,z,j} \quad (3.5)$$

kde $Q_{H,ht,z,j}$ [GJ] je potřeba energie na pokrytí tepelné ztráty v j-tém časovém úseku v z-té zóně,
 $\eta_{H,gn,z,j}$ [-] je stupeň využití tepelných zisků v z-té zóně v j-tém časovém úseku,
 $Q_{H,gn,z,j}$ [-] je velikost tepelných zisků v z-té zóně v j-tém časovém úseku.

Potřeba energie na pokrytí tepelných ztrát $Q_{H,ht,z,j}$ se stanoví dle vztahu

$$Q_{H,ht,z,j} = (H_{tr,z} + H_{ve,z}) \cdot (\theta_{i,z,j} - \theta_{e,j}) \cdot t_j \quad (3.6)$$

kde $H_{tr,z}$ [W/K] je měrný tepelný tok prostupem z-té zóny,
 $H_{ve,z}$ [W/K] je měrný tepelný tok větráním z-té zóny,
 $\theta_{H,i,z,j}$ [°C] je průměrná vnitřní návrhová teplota v z-té zóně v režimu vytápění v j-tém časovém úseku,
 $\theta_{e,j}$ [°C] průměrná venkovní teplota v j-tém časovém úseku,
 t_j [h] je délka j-tého časového úseku.

Měrný tepelný tok prostupem $H_{tr,z}$ se stanoví dle vztahu

$$H_{tr,z} = \sum_{i=1}^n A_{iz} \cdot U_{iz} \cdot b_{iz} + A_{iz} \cdot \Delta U_{tbtm,z} \quad (3.7)$$

kde A_{iz} [m²] je plocha i-té konstrukce ohraničující z-tou zónu,
 U_{iz} [W/(m²·K)] je součinitel prostupu tepla i-té konstrukce ohraničující z-tou zónu,
 b_{iz} [-] je činitel teplotní redukce pro i-tou konstrukci ohraničující z-tou zónu,
 A_z [m²] je celková plocha konstrukcí ohraničujících z-tou zónu budovy,
 $\Delta U_{tbtm,z}$ [W/(m²·K)] je průměrný vliv tepelných vazeb na hranici z-té zóny.

Měrný tepelný tok větráním $H_{ve,z}$ se stanoví dle vztahu

$$H_{ve,z} = \rho_a + c_a \cdot V_{V,z} \quad (3.8)$$

kde ρ_a [kg/m³] je hustota vzduchu,
 c_a [J/(kg·K)] je měrná tepelná kapacita vzduchu při konstantním tlaku
 $V_{V,z}$ [m³/s] je objemový tok vzduchu pro větrání z-té zóny.

Objemový tok vzduchu pro přirozené větrání se stanoví dle vztahu

$$V_{V,z} = n_z \cdot V_{a,z} \quad (3.9)$$

kde n_z [1/s] je násobnost výměny vzduchu při přirozeném větrání v z-té zóně,
 $V_{a,z}$ [m³] je čistý objem vzduchu v z-té zóně.

Tepelné zisky se stanoví dle vztahu

$$Q_{H,gn,j} = Q_{int,z,j} + Q_{H,sol,z,j} \quad (3.10)$$

kde $Q_{int,z,j}$ [GJ] jsou vnitřní tepelné zisky v z-té zóně v j-tém časovém úseku,
 $Q_{H,sol,z,j}$ [GJ] jsou solární zisky v z-té zóně v j-tém časovém úseku.

Solární zisky $Q_{H,sol,z,j}$ se stanoví dle vztahu

$$Q_{H,sol,z,j} = \sum_{i=1}^n I_{sol,i,j} \cdot F_{sh,ob,z,j} \cdot A_{sol,i,z} \quad (3.11)$$

kde $I_{sol,i,j}$ [GJ/m²] je množství dopadající sluneční energie na i-tou průsvitnou konstrukci v j-tém časovém úseku,
 $A_{sol,i,z}$ [m²] je sběrná plocha i-té průsvitné konstrukce náležející z-té zóně,
 $F_{sh,ob,z,j}$ [-] je korekční činitel stínění pevnými překázkami (markýzami, bočními stěnami, okolními budovami apod.) j-té průsvitné konstrukce náležející z-té zóně.

Vnitřní tepelné zisky $Q_{int,z,j}$ se stanoví dle vztahu

$$Q_{int,z,j} = Q_{int,oc,j} + Q_{int,ap,j} + Q_{int,L,j} + Q_{int,u,j} \quad (3.12)$$

kde $Q_{int,oc,z,j}$ [GJ] jsou vnitřní zisky od osob v z-té zóně v j-tém časovém úseku,
 $Q_{int,ap,z,j}$ [GJ] jsou vnitřní zisky od spotřebičů v z-té zóně v j-tém časovém úseku,
 $Q_{int,L,z,j}$ [GJ] jsou vnitřní zisky od osvětlení v z-té zóně v j-tém časovém úseku,

$Q_{\text{int},\text{u},\text{z},\text{j}}$ [GJ] jsou vnitřní zisky z vedlejších nevytápěných prostor v z-té zóně v j-tém časovém úseku.

Využitelnost tepelných zisků závisí především na vhodné regulaci. U zón bez automatické regulace je stupeň využitelnosti $\eta_{H,\text{gn},\text{z},\text{j}}$ nulový.

V případě automatického regulačního soustavy se stupeň využitelnosti tepelných ztrát spočítá dle vztahu

$$\eta_{H,\text{gn},\text{z},\text{j}} = \frac{1 - \gamma_{H,\text{gn},\text{z},\text{j}}^{a_{H,z}}}{1 - \gamma_{H,\text{gn},\text{z},\text{j}}^{a_{H,z}+1}} \quad (3.13)$$

kde $\gamma_{H,\text{gn},\text{z},\text{j}}$ [-] je poměr tepelných zisků a tepelných ztrát v z-té zóně a j-tém časovém úseku,
 $a_{H,z}$ [GJ] je číselný parametr z-té zóny závislý na časové konstantě $\tau_{H,z}$ z-té zóny, podrobněji v [10].

Poměr tepelných ztrát a tepelných zisků se stanoví dle vztahu

$$\gamma_{H,\text{gn},\text{z},\text{j}} = \frac{Q_{H,\text{gn},\text{z},\text{j}}}{Q_{H,\text{ht},\text{z},\text{j}}} \quad (3.14)$$

kde $Q_{H,\text{ht},\text{z},\text{j}}$ [GJ] je potřeba energie na pokrytí tepelné ztráty, stanovená podle (1.5)
 $Q_{H,\text{gn},\text{z},\text{j}}$ [GJ] je velikost tepelných zisků v z-té zóně v j-tém časovém úseku, stanovená podle (1.9).

Roční spotřeba energie na chlazení

$$EP_C = Q_{\text{fuel},C} + Q_{\text{aux},C} \quad (3.15)$$

kde $Q_{\text{fuel},C}$ [GJ] je roční dodaná energie na chlazení,
 $Q_{\text{aux},C}$ [GJ] je roční dodaná energie systému chlazení.

Roční dodaná energie na chlazení $Q_{\text{fuel},C}$ se stanoví jako součet dodané energie na chlazení ve všech z-tých zónách vyrobené ve všech energetických systémech (sys) za j-tý časový úsek, podle vztahu

$$Q_{\text{fuel},H} = \sum_{j=1}^n \left(\sum_{\text{sys}=1}^n \left(\sum_{Z=1}^n Q_{C,\text{dis},\text{z},\text{j}} \cdot f_{C,\text{sys},Z} \cdot \left[\frac{1}{\eta_{C,\text{gen},\text{sys}}} + \left(1 + \frac{1}{EER_{C,\text{sys}}} \right) \cdot e_{r,\text{sys}} \cdot f_{r,\text{sys}} \right] \right) \right) \quad (3.16)$$

kde $Q_{C,\text{dis},\text{z},\text{j}}$ [GJ] je dodaná energie do distribučního systému chlazení,
 $f_{C,\text{sys},Z}$ [-] je podíl dodané energie připadající na příslušný zdroj chladu více v [10],
 $EER_{C,\text{sys}}$ [-] je poměr mezi průměrným chladicím výkonem a příkonem elektrické, nebo tepelné energie příslušného zdroje chladu, více v [10],
 $e_{r,\text{sys}}$ [-] je součinitel odběru elektřiny ventilátoru závislý na typu zpětného chlazení,
 $f_{r,\text{sys}}$ [-] je střední součinitel provozu zpětného chlazení, více v [10],

$\eta_{C,gen,sys}$ [-] je celková účinnost výroby energie v příslušném zdroji chladu, více v [10].

Energie dodaná do distribučního systému chlazení $Q_{C,dis,z,j}$ se stanoví dle vztahu

$$Q_{C,dis,z} = \frac{Q_{C,nd,z,j}}{\eta_{C,em,z} \cdot \eta_{C,dis,z}} \quad (3.17)$$

- kde $Q_{C,nd,z,j}$ [GJ] je potřeba energie na chlazení,
 $\eta_{C,dis,z}$ [-] je účinnost systému distribuce energie na chlazení do z-té zóny [-], více v [10].
 $\eta_{C,em,z}$ [-] je účinnost sdílení chladu mezi vytápěnou zónou a systémem sdílení tepla do zóny, více v [10],

Roční potřeba energie na chlazení

Výpočet potřeby energie na chlazení $Q_{C,nd,z,j}$ je stanoven na základě ČSN EN ISO 13 790 (viz kapitola 3.1.1). Platí vztah

$$Q_{C,nd,z,j} = Q_{C,ht,z,j} - \eta_{C,ls,z,j} \cdot Q_{C,ht,z,j} \quad (3.18)$$

- kde $Q_{C,ht,z,j}$ [GJ] je potřeba energie na pokrytí tepelné ztráty z-té zóny v j-tém časovém úseku, může být kladná i záporná (v takovém případě se jedná o tepelný zisk prostupem přes obalové konstrukce), stanoví se analogicky podle vztahu (3.6) s parametry charakterizující budovu v režimu chlazení,
 $Q_{C,gn,z,j}$ [GJ] je velikost tepelných zisků v z-té zóně v j-tém časovém úseku [GJ], stanoví se analogicky podle vztahu (3.10),
 $\eta_{C,ls,z,j}$ [-] je stupeň využitelnosti tepelných ztrát v z-té zóně v j-tém časovém úseku.

Stupeň využitelnosti tepelných ztrát $\eta_{C,ls,z,j}$ se stanový podle vztahu

$$\eta_{C,ls,z,j} = \frac{1 - \gamma_{C,ls,z,j}^{-a_{C,z}}}{1 - \gamma_{C,ls,z,j}^{-(a_{C,z}+1)}} \quad (3.19)$$

- kde $\gamma_{C,ls,z,j}$ [GJ] je poměr tepelných zisků a ztrát v chladícím režimu analogie s (3.14)
 $a_{C,z}$ [GJ] je číselný parametr z-té zóny závislý na časové konstantě $\tau_{C,z}$, více v [10].

3.2 Výpočet a hodnocení ENB pomocí výpočetního softwaru

Další možností pro hodnocení energetického chování budov je využití výpočetních programů. S vývojem výpočetní techniky v 80. letech minulého století začaly snahy o počítačové simulace energetického chování budov. Cílem bylo vypočítat co možná nejpřesněji spotřebu energie a průběh parametrů vnitřního prostředí budov za daných klimatických podmínek. K nejvyvinutějším programům v tomto odvětví patří simulační programy ESP-r, TRNSYS, EnergyPlus, IDA. Tyto nástroje pracují na obdobném principu a řeší modelovaní a simulovaní energetického chování budov z nejširšího spektra problémů. Dokážou řešit problematiku od tepelně technického chování budov přes modelování systémů technického zařízení budov až po komplexní model budovy. Z této univerzálnosti ovšem vyplývá poměrně náročná formulace daného problému a tvorba modelu. Od uživatele je proto očekávána hluboká znalost fyzikální podstaty problému a schopnost abstraktního

myšlení při vytváření modelu. Z tohoto důvodu se tyto simulační nástroje vesměs využívají na specializovaných pracovištích, univerzitách a v konzultačních firmách [4].

Dalším druhem softwaru jsou výpočetní nástroje, které vznikly za účelem demonstrace filosofie funkčnosti výpočtů při návrhu budovy a jejího technického zařízení. Nejznámější na českém trhu jsou NKN II, Energie, Protech ENB. Jedná se o výpočetní nástroje, které vznikly primárně za účelem posouzení energetické náročnosti budovy. Funkční algoritmus obsažený v těchto programech plně respektuje požadavky evropské směrnice o energetické náročnosti budov a další národní předpisy a technické normy [4].

Jak již bylo řečeno v úvodu, tak jedním z cílů této diplomové práce je porovnání výsledků ENB získaných simulačním programem TRNSYS s výsledky národního kalkulačního nástroje NKN II.

Stručný popis výše zmiňovaných nástrojů je v nadcházejících dvou podkapitolách.

3.2.1 NKN II

Výpočetní nástroj NKN II je produktem katedry technických zařízení budov fakulty stavební ČVUT v Praze, který vznikl na základě grantu České energetické agentury. Je primárně navrhnut pro posuzování energetické náročnosti budov v souladu s vyhláškou č. 78/2013 Sb. Jedná se o volně šířitelný nástroj, mezi jehož hlavní uživatele patří odborná veřejnost zabývající se touto problematikou, zejména energetičtí auditori a osoby oprávněné zpracovávat průkazy ENB [7].

NKN II je vytvořen v prostředí MS Excel. Je řešen jako otevřený s možností zobrazení vazeb a vztahů zdrojového kódu. Vstupní okrajové podmínky vychází z TNI 730331 - typické hodnoty pro výpočet [4].

Uživatel s nástrojem pracuje prostřednictvím jednoho excelovského sešitu. Vkládá data do odemčených buněk v příslušných listech. Listy s výpočetním algoritmem a listy pomocné pro vlastní výpočet jsou uživateli skryty nebo zamčeny kvůli zamezení možnosti nechtěného, nežádoucího zásahu a následné šíření chyby [4].

3.2.2 TRNSYS

Simulační program TRNSYS je komerčně dostupný od roku 1975. Původně byl vyvíjen pro simulování solárních procesů. V dnešní době je jeho vývoj zaštitován trojicí univerzit v rámci mezinárodní spolupráce Spojených států, Francie a Německa [13].

Jedná se o flexibilní graficky založený nástroj. Funguje na principu spojování vstupů a výstupů jednotlivých komponent, které představují části energetického systému. Snahou vývojářů poslední verze je nabídnout uživatelsky příjemné prostředí. Jednou z největších výhod tohoto nástroje je, že umožňuje jednoduché upravování a přidávání nových vlastních komponent použitím všech běžně známých programovacích jazyků. Tento nástroj je nejčastěji používán pro simulaci dynamických systémů, jako jsou solární a HVAC (Heating, Ventilation and Air Conditioning) systémy pro nízkoenergetické a pasivní stavby. Zde má podrobná znalost jejich energetického chování velké opodstatnění a jednoduchými výpočtovými metodami jí lze jen těžko postihnout. U těchto staveb téměř nelze stanovit potřebu energie bez použití energetických simulací. TRNSYS je také využíván k ověření nových myšlenek a návrhů inženýry a výzkumnými pracovníky po celém světě [13].

4 POSUZOVANÉ OBJEKTY

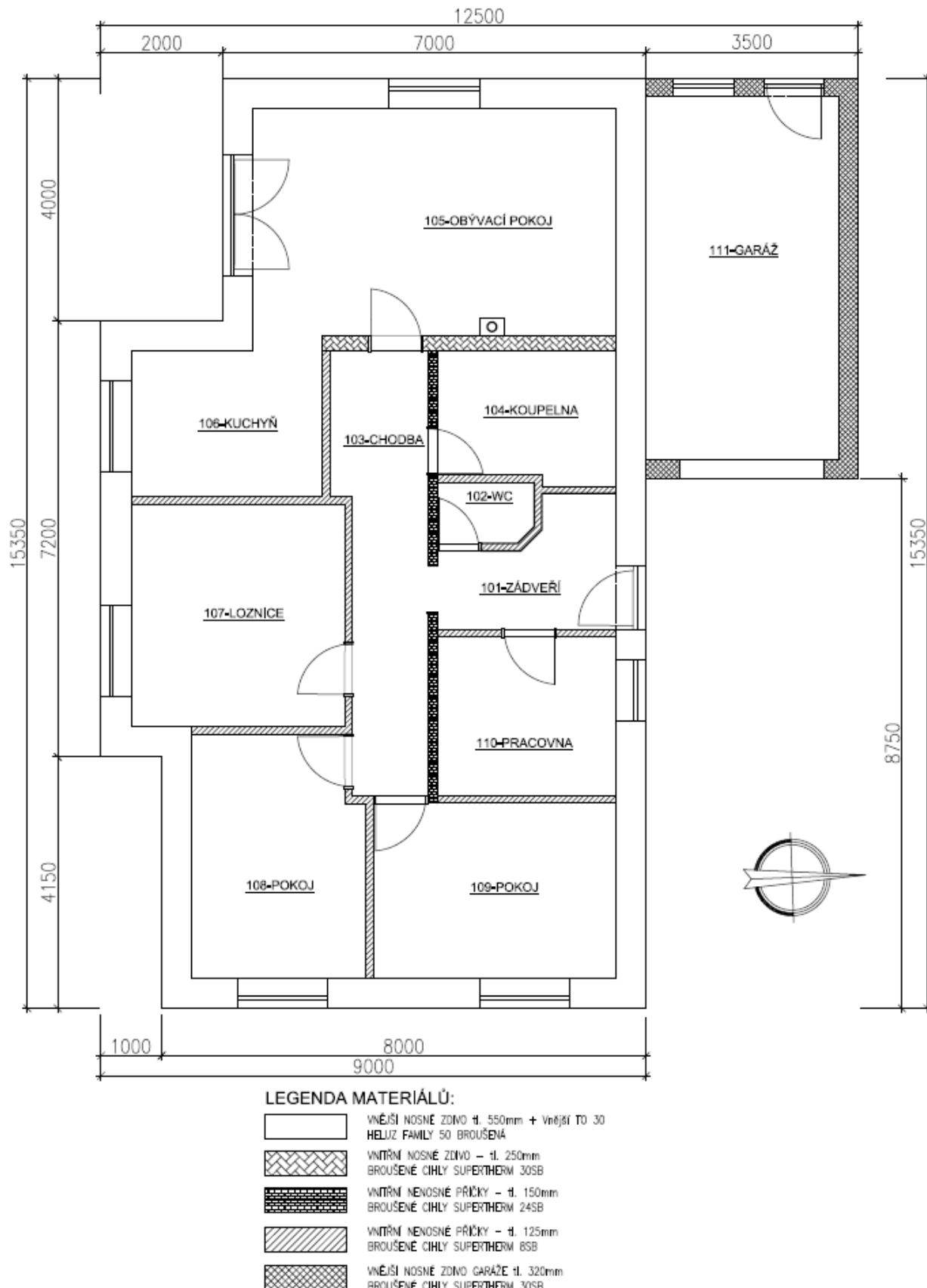
V této práci jsou posuzovány dva objekty rozdílného charakteru. V prvním případě se budeme zabývat tzv. bungalowem, což je zástupce nejčastěji stavěných rodinných domů. Dalším objektem je moderní novostavba rodinného domu (RD) s velkými prosklenými stavebními otvory.

4.1 Rodinný dům - bungalow

Novostavba jednoduchého přízemního rodinného domu členitého půdorysného tvaru je umístěna v obci Suchý v nadmořské výšce 660 m n. m. (obr. 4.1). Jedná se o samostatně stojící dům zastřešený valbovou střechou. Má jednoduchou, ale účelnou dispozici (obr. 4.2). Vstup do domu je ze severní strany. Na krytou terasu se vstupuje francouzskými okny přímo z obývacího pokoje. Ze severní strany s domem přímo sousedí garáž, vstup do ní je řešen samostatně.



Obr. 4.1 - Umístění rodinného domu - bungalowu



Obr. 4.2 - Půdorys bungalovu

4.1.1 Tepelně technické vlastnosti konstrukcí obálky bungalowu

Podrobné složení jednotlivých konstrukcí je uvedeno v tab. 4.1. Hodnoty měrné tepelné kapacity C_i a hustoty ρ_i , jsou uvedeny jen u vrstev, u kterých se počítá s tepelnou akumulací. Hodnoty součinitele tepelné vodivosti λ_i jsou převzaty z katalogů příslušných výrobců, pokud nebyly k dispozici, byly převzaty z webového zdroje *tzbinf* [14].

Vztahy mezi veličinami charakterizující tepelně technické chování konstrukcí jsou následující [20]

$$R_i = \frac{d_i}{\lambda_i} \quad (4.1)$$

$$R = R_{si} + \sum R_i + R_{se} = R_{si} + \sum \frac{d_i}{\lambda_i} + R_{se} \quad (4.2)$$

$$U = \frac{1}{R} \quad (4.3)$$

kde	R_i	[m ² ·K/W]	je tepelný odpor jednotlivé vrstvy konstrukce
	R_{se}, R_{si}	[m ² ·K/W]	jsou tepelné odpory při přestupu tepla mezi povrchem stěny a vzduchem (viz tab. 4.2),
	λ_i	[W/(m·K)]	je součinitel tepelné vodivosti jednotlivé vrstvy konstrukce
	d_i	[m]	Je tloušťka jednotlivé vrstvy konstrukce
	R	[m ² ·K/W]	je tepelný odpor stěny
	U	[W/(m ² ·K)]	je součinitel prostupu tepla stěny

Tab. 4.1 - Tepelně technické vlastnosti jednotlivých konstrukcí bungalowu

Typ a označení stěny	Jednotlivé vrstvy	d_i	λ_i	R_i	C_i	ρ_i
		[mm]	[W/(m·K)]	[m ² K/W]	[kJ/(kg·K)]	[kg/m ³]
Obvodová stěna	Krycí štuk	10	0,88	0,011	0,840	1600
	TO vnější 30	30	0,1	0,300	0,790	2000
	HELUZ FAMILY 50 broušená	500	0,081	6,173	1,000	640
	Vnitřní omítka + Štuk + Malba	10	0,99	0,010	0,840	1600
Podlaha 1.NP - a2	Keramická dlažba	8	1,3	0,006	0,840	2000
	Lepicí tmel	2	0,8	0,003	1,300	1500
	Topný potěr	65	1,3	0,050	0,840	1200
	Systémová deska podl. topení	32	0,035	0,914	-	-
	EPS 100S	70	0,037	1,892	1,250	20
	Elastex special mineral	4	0,05	0,080	0,880	100
	Podkladní beton	120	1,16	0,103	1,020	2100
	Zhutněný štěrkový podsyp	150	0,58	0,259	-	-
Strop nad 1.NP - b1	Geotextilie	4	0,32	0,013	1,400	1330
	Tepelná izolace z minerální vaty	280	0,079	3,544	0,880	100
	Parotěsná folie	2	1	0,002	1,470	1500
	SDK desky Knauf GKB	12	0,21	0,057	1,060	750
Střešní plášt'	Střešní krytina Bramac	20	1	0,020	-	-
	Kontralatě	40	0,13	0,308	1,630	600
Obvodová stěna garáz	Krycí štuk	10	0,88	0,011	0,840	1600
	Supertherm 300 broušená	300	0,167	1,796	1,000	670
	Vnitřní omítka + Štuk + Malba	10	0,99	0,010	0,840	1600

Obvodová stěna sousedící s garáží	Krycí štuk	10	0,88	0,011	0,840	1600
	TO vnější 30	40	0,1	0,400	0,790	2000
	HELUZ FAMILY 50 broušená	500	0,081	6,173	0,640	1000
	Vnitřní omítka + Štuk + Malba	10	0,99	0,010	0,840	1600
Vnitřní stěna 250	Vnitřní omítka + Štuk + Malba	10	0,99	0,010	0,840	1600
	Supertherm 240 broušená	240	0,299	0,803	1,000	670
	Vnitřní omítka + Štuk + Malba	10	0,99	0,010	0,840	1600
Vnitřní stěna 125	Vnitřní omítka + Štuk + Malba	10	0,99	0,010	0,840	1600
	Supertherm 8 SB	120	0,53	0,226	1,000	670
	Vnitřní omítka + Štuk + Malba	10	0,99	0,010	0,840	1600

Pro výpočet celkového součinitele prostupu tepla byly použity dle normy ČSN EN ISO 6946 následující odpory pro přestup tepla mezi vzduchem a povrchem stavebních částí [17]:

Tab. 4.2 - Odpory při přestupu tepla mezi vzduchem a stěnou [17]

Označení	Popis	Hodnota
R_{se}	Odpor při přestupu tepla na vnější straně (vodorovný tepelný tok)	0,04 [$\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$]
R_{si}	Odpor při přestupu tepla na vnitřní straně (vodorovný tepelný tok)	0,13 [$\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$]
R_{sui}	Odpor při přestupu tepla na vnitřní straně (tepelný tok směrem nahoru)	0,1 [$\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$]
R_{sdi}	Odpor při přestupu tepla na vnitřní straně (tepelný tok směrem dolů)	0,17 [$\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$]

Výsledné tepelně technické vlastnosti stavebních konstrukcí spolu s plošnými rozměry vnějších konstrukcí uvádí následující tabulka:

Tab. 4.3 - Shrnutí tepelně technických vlastností jednotlivých konstrukcí bungalowu

Typ stěny	R [$\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$]	U [$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$]	S [m^2]
Obvodová stěna do venkovního prostoru	6,664	0,095	88,0
Podlaha 1NP keramická dlažba - a2	3,477	0,257	126,0
Vodorovný strop nad 1NP-b1	3,816	0,003	126,0
Střešní pláště	0,468	0,006	141,0
Obvodová stěna garáž	1,988	0,170	34,7
Obvodová stěna sousedící s garáží	6,854	0,149	16,8
Vnitřní stěna 250	1,083	0,923	-
Vnitřní stěna 125	0,507	1,974	-

Pro korektní výpočet energetických potřeb budovy je nutné znát také vlastnosti oken a dveří.

Tab. 4.4 - Tepelně technické vlastnosti stavebních výplní bungalowu

Typ	Plocha výplně [m^2]	Počet	g_{gl} [-]	F_{gl} [-]	U_w [$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$]
Okno - délka 1,5	2,25	4	0,622	0,75	1,4
Okno - délka 1,25	1,88	1	0,622	0,75	1,4
Okno – délka 1	1,50	1	0,622	0,75	1,4
Francouzské dveře	4,64	1	0,622	0,75	1,4
Vstupní dveře s výplní	2,44	1	0	0	2,83
Vnitřní dveře	1,58	7	0	0	2

kde g_{gl} [-] je propustnost slunečního záření

F_{gl} [-] je korekční činitel rámu průsvitného prvku

U_w [$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$] je součinitel prostupu tepla stavební výplně

4.1.2 Energetické a technické systémy bungalowu

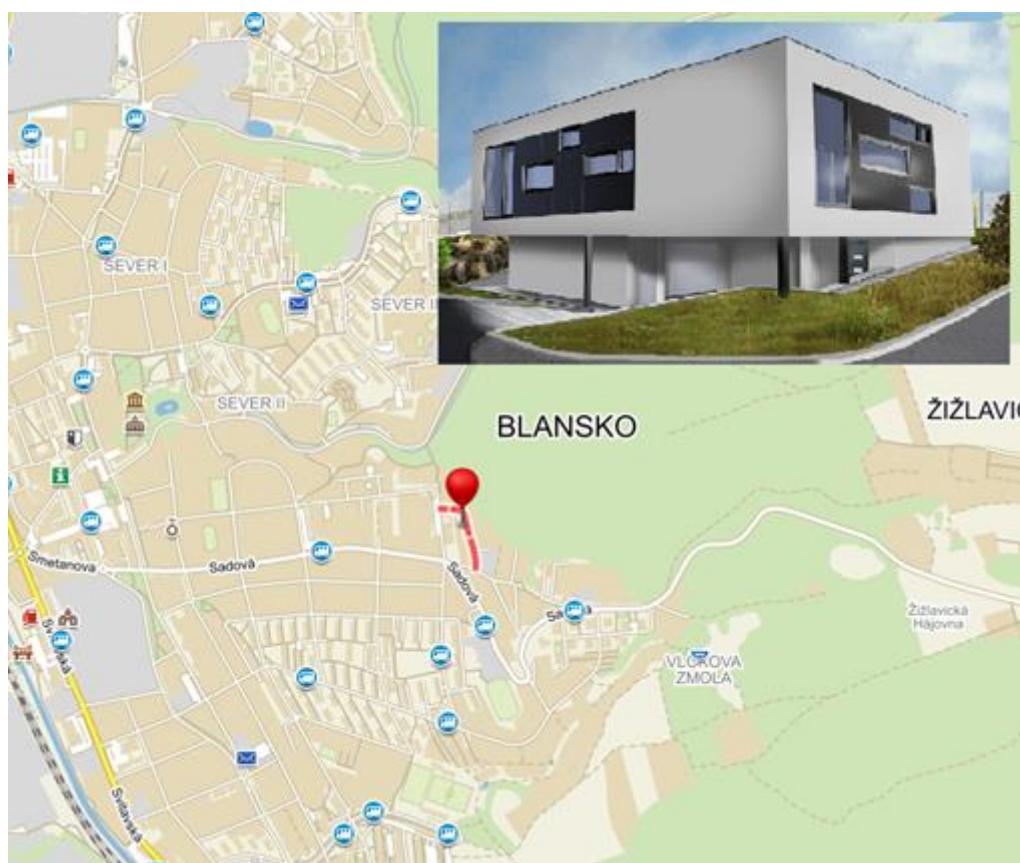
Hlavním zdrojem tepla v bungalowu je elektrické podlahové topení o výkonu 6 kW, v koupelně je dále nainstalován elektrický topný žebřík o výkonu 0,4 kW. Řízení je zajištěno prostorovým termostatem s týdenním programem. V obývacím pokoji je krb, jedná se o doplňkový zdroj s předpokládaným využitím cca 20 % ročně.

Teplá užitková voda je ohřívána v elektrickém zásobníkovém ohřívači o výkonu 2 kW a objemu 160 l. Osvětlovací soustava je tvořena úspornými žárovkami a zářivkovými tělesy s nízkou spotřebou elektrické energie. Větrání uvažujeme pouze přirozené. Chladicí zařízení není instalováno.

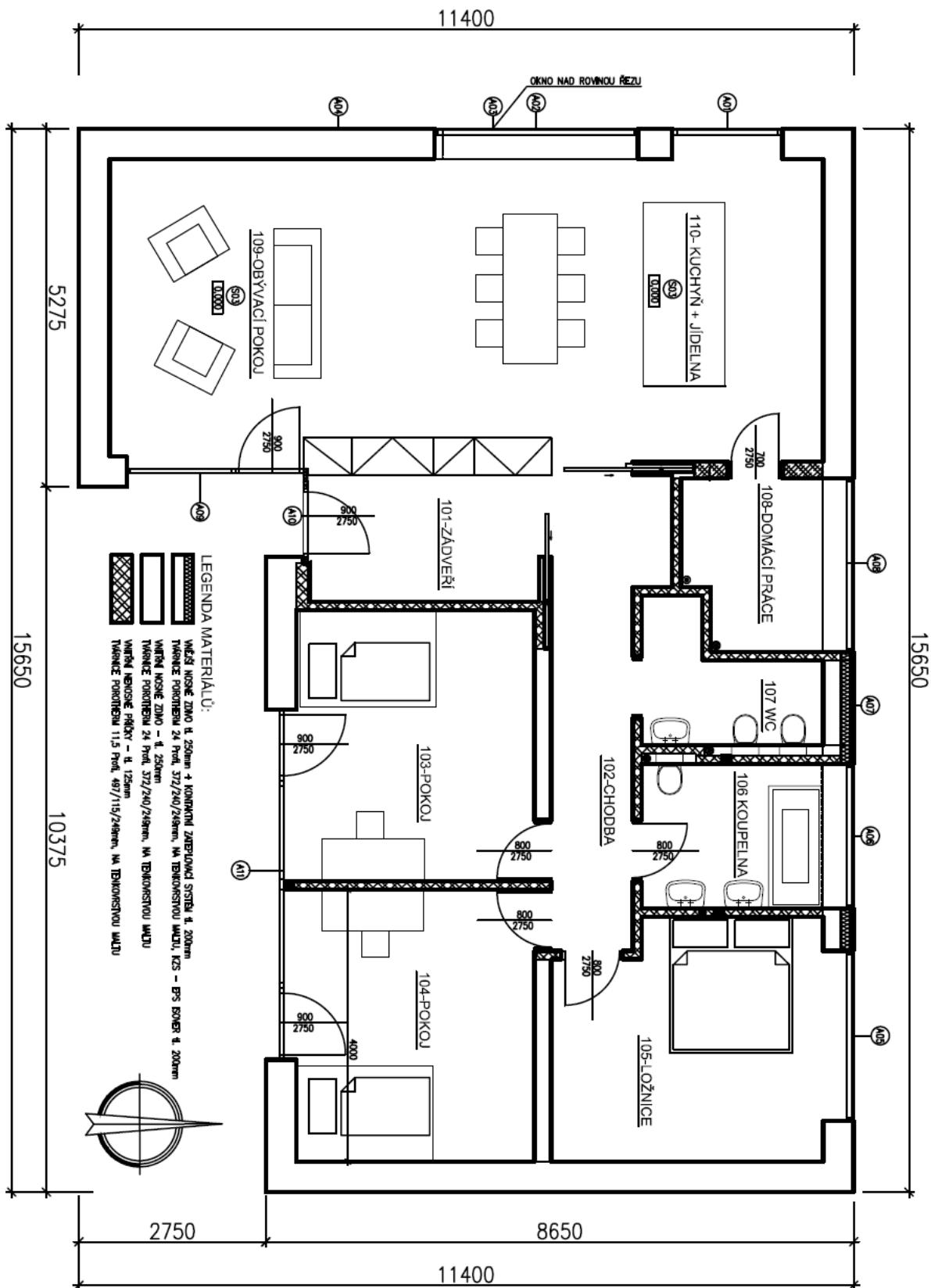
4.2 Moderní novostavba RD

Jedná se o samostatně stojící moderní dvoupodlažní novostavbu rodinného domu s plohou střechou. Stavba je umístěna ve městě Blansko v nadmořské výšce 300 m n. m. Dům je formován do tvaru písmene L a tvoří ho objemem rozdílné hmoty dvou podlaží. Objekt je zasazen do svažitého terénu, spodní část je zastavěna do paty svahu, mírně pod úrovní místní komunikace. Suterénní podlaží tvoří prostory pro parkování celkem tří osobních automobilů.

Ze severní strany vystupuje vykonzolovaná hmota prvního nadzemního podlaží. Zde se nacházejí hlavní obytné místnosti domu. Z pokojů a obývacího pokoje se lze dostat na terasu přes velkorysá francouzská okna.



Obr. 4.3 - Umístění rodinného domu - moderní novostavby



Obr. 4.4 - Pôdorys moderné novostavby RD

4.2.1 Tepelně technické vlastnosti konstrukcí obálky moderní novostavby RD

Tab. 4.5 - Tepelně technické vlastnosti jednotlivých konstrukcí moderní novostavby RD

Typ a označení stěny	Jednotlivé vrstvy	d_i	λ_i	R_i	C_i	ρ_i
		[mm]	[W/(m·K)]	[m ² K/W]	[kJ/(kg·K)]	[kg/m ³]
Obvodová stěna S07	Vnější probarvená omítka	1,5	0,76	0,002	0,840	1600
	Lepicí stěrka vyztužená síťovinou	3,5	0,8	0,004	-	-
	EPS 70 F	200	0,039	5,128	1,270	30
	Lepicí tmel	2	0,2	0,010	1,300	1500
	Zdivo porotherm 24 Profi	240	0,28	0,857	0,960	900
Střecha RD strop nad 1.NP S06	Vnitřní omítka + Štuk + Malba	10	0,99	0,010	0,840	1600
	Hydroizolační PVC folie	2	0,16	0,013	0,960	1400
	Separacní tkanina filtek	2	0,2	0,010	1,400	1400
	Extrapor 100 - 2x120	240	0,031	7,742	0,206	30
	Spádová vrstva perlibeton	100	0,15	0,667	0,115	500
	Parotěs. vrstva glastek hydroizolace	4	0,21	0,019	1,470	1470
	Železobetonová stropní deska	220	2,3	0,096	0,102	2300
Podlaha 1.NP z garáže do obytného prostoru S02	Vnitřní omítka + Štuk + Malba	10	0,99	0,010	0,840	1600
	Nášlapná vrstva Elastoclic vinyl	2	0,2	0,010	2,510	400
	Vyrovnávací stěrka	5	0,8	0,006	1,300	1500
	Anhydritový potěr	38	1,2	0,032	-	-
	Systémová deska podl. topení	50	0,035	1,429	-	-
	EPS 100S	100	0,037	2,703	1,250	20
	Parozábrana Jutafol	0,22	2	0,000	-	-
	Železobetonová stropní deska	260	2,3	0,113	0,102	2300
	EPS 100S	100	0,037	2,703	1,250	20
Podlaha 1.NP z parkovací plochy do obytného prostoru S03	Lepicí stěrka vyztužená síťovinou	3,5	0,8	0,004	1,300	1500
	Vnější probarvená omítka	1,5	0,76	0,002	0,840	1600
	Nášlapná vrstva Elastoclic vinyl	2	0,2	0,010	2,510	400
	Vyrovnávací stěrka	5	0,8	0,006	1,300	1500
	Anhydritový potěr	38	1,2	0,032	-	-
	Systémová deska podl. topení	50	0,035	1,429	-	-
	EPS 100S	100	0,037	2,703	1,250	20
	Parozábrana Jutafol	0,22	2	0,000	-	-
	Železobetonová stropní deska	260	2,3	0,113	0,102	2300
Podlaha 1.NP z venku do obytného prostoru S05	EPS 100S	200	0,037	5,405	1,250	20
	Lepicí stěrka vyztužená síťovinou	3,5	0,8	0,004	1,300	1500
	Vnější probarvená omítka	1,5	0,76	0,002	0,840	1600
	Nášlapná vrstva Elastoclic vinyl	2	0,2	0,010	2,510	400
	Vyrovnávací stěrka	5	0,8	0,006	1,300	1500
	Tekutá elastická hydroizolace	0,5	2	0,000	-	-
	Cementový potěr	40	1,3	0,031	0,840	1200
	Systémová deska podl. topení	50	0,035	1,429	-	-
	EPS 100S	100	0,037	2,703	1,250	20

Obvodová stěna garáže -suteréní zdivo s venkem - S10	Vnější probarevná omítka	1,5	0,76	0,002	0,840	1600
	EPS 70F	100	0,039	2,564	1,270	30
	Ztracené bednění	300	1,3	0,231	1,020	2200
Obvodová stěna garáže suterénní zdivo - styk se zeminou - S09	Nopová folie	1	0,2	0,005	-	-
	Přizdívka k hydroizolaci	150	1,3	0,115	1,020	2200
	Hydroizolace	4	0,21	0,019	1,470	1280
	Ztracené bednění	300	1,3	0,231	1,020	2200
Podlaha suterénu garáže -S01	Betonová mazanina	100	0,6	0,167	0,840	1400
	Izolace proti zemní vlhkosti a	1	0,39	0,003	1,470	1225
	Pokladní beton	150	1,3	0,115	1,020	2100
	hutněný násyp	90	2	0,045	-	-
Vnitřní nosná stěna 250	Vnitřní omítka + Štuk + Malba	10	0,99	0,010	0,840	1600
	Porotherm 24	240	0,39	0,615	1,000	900
	Vnitřní omítka + Štuk + Malba	10	0,99	0,010	0,840	1600
Vnitřní nenosná stěna 125	Vnitřní omítka + Štuk + Malba	10	0,99	0,010	0,840	1600
	Porotherm 11.5 profi	115	0,44	0,261	1,000	1000
	Vnitřní omítka + Štuk + Malba	10	0,99	0,010	0,840	1600

Tab. 3.6 - Shrnutí tepelně technických vlastností moderní novostavby RD

Typ stěny	R [m ² K/W]	U [W/(m ² ·K)]	S [m ²]
Obvodová stěna S07	6,182	0,162	103,4
Střecha RD - strop nad 1NP S06	8,696	0,115	149,1
Podlaha 1NP - z garáže do obytného prostoru -S02	7,341	0,136	47
Podlaha 1NP - z parkovací plochy do obytného prostoru -S03	9,914	0,101	74,1
Podlaha 1NP - z venku do obytného prostoru -S05	9,632	0,104	28
Obvodová stěna garáže -suterénní zdivo s venkem -S10	2,967	0,337	22,3
Obvodová stěna garáže -suterénní zdivo - styk se zeminou - S09	0,500	1,999	24,24
Podlaha suterénu garáže -S01	0,500	2,002	47
Vnitřní nosná stěna 250	0,896	1,117	-
Vnitřní nenosná stěna 125	0,542	1,846	-

Tab. 4.7 - Tepelně technické vlastnosti stavebních výplní moderní novostavby

Typ	Plocha výplně [m ²]	g _{gl} [-]	F _{gl} [-]	U _w [W/(m ² ·K)]
Okno A01	4,55	0,622	0,8	1,4
Okno A02	2,64	0,622	0,75	1,4
Okno A03	1,60	0,622	0,75	1,4
Okno A04	2,17	0,622	0,75	1,4
Okno A05	7,00	0,622	0,8	1,4
Okno A06	2,13	0,622	0,75	1,4
Okno A07	0,94	0,622	0,75	1,4
Okno A08	1,91	0,622	0,75	1,4
Okno a dveře A09	7,28	0,622	0,75	1,4
Vstupní dveře A10	2,80	0,622	0,75	1,4
Francouzka okna A11	14,00	0,622	0,7	1,4
Rozšiřující profily k oknům	0,84	0,00	0	0,57
Vstupní dveře do garáže	1,80	0,00	0	2,83
Garážová vrata	7,35	0,00	0	2,83

4.2.2 Energetické a technické systémy moderní novostavby

Hlavním zdrojem tepla je plynový kotel o výkonu 10 kW. Sekundárním zdrojem je plynový krb o výkonu 5 kW s využitím cca 15 % ročně. Řízení je zajištěno prostorovým termostatem s týdenním programem.

Teplá užitková voda je ohřívána v elektrickém zásobníkovém ohřívači o výkonu 2 kW a objemu 160 l. Osvětlovací soustava je tvořena úspornými žárovkami a zářivkovými tělesy s nízkou spotřebou elektrické energie. Větrání je pouze přirozené. Chladící zařízení není instalováno.

5 VÝPOČET ENERGETICKÉ NÁROČNOSTI BUDOVY POMOCÍ NKN II

Jak už bylo uvedeno dříve, výpočetní nástroj NKN II je primárně určen pro posouzení energetické náročnosti budov, vychází tedy z českých právních předpisů souvisejících s touto problematikou (viz kapitola 2.1).

Při použití NKN II a zadání všech vstupních parametrů, které slouží k vytvoření daného výpočetního modelu budovy, už nemusíme dále samostatně zpracovávat žádné dílčí protokoly či jiné výstupy. Energetickému specialistovi, který zpracovává protokol o energetické náročnosti budov, stačí zákazníkem dodaná technická dokumentace stavby.

NKN II je zpracován v tabulkového editoru MS Excel. Uživatel pracuje s jednotlivými listy, které jsou logicky uspořádány [18].

Hlavními vstupy jsou [18]:

I. Identifikační údaje budovy

Jsou zadány základní identifikační údaje budovy, jako adresa, umístění vlastník atd. Tento záznam nemá vliv na výpočet, je potřebný pro formální správnost protokolu ENB.

II. Zónování budovy

Rozdelení budovy na jednotlivé zóny, je první důležitý krok v procesu tvorby výpočetního modelu. Jedná se o geometrické rozdelení budovy na základě specifik ovlivňující výslednou výši potřeby a spotřeby energie. Takovým specifikem může být např. vnitřní teplota, účel užívání atd.

III. Profily typického užívání

Po rozdelení budovy na zóny, musíme každé zóně přiřadit její typický profil užívání. Tyto profily jsou předdefinovány podle TNI 730331. V případě specifického užívání dané zóny, je možnost nadefinování svého vlastního profilu.

IV. Popis zón

Dalším krokem je podrobný popis zóny z hlediska její geometrie, osvětlení, vytápění, větrání atd.

V. Popis konstrukcí

Pro určení energetických toků procházející obálkou budovy, musíme konstrukcím nadefinovat tepelně technické vlastnosti. Dále je přiřadíme k referenčnímu typu konstrukce např. obvodová stěna, střecha atd. V posledním kroku je potřebné určit rozměry a orientaci ke světovým stranám.

Hlavními výstupy výpočtu jsou [18]:

I. Grafické znázornění průkazu energetické náročnosti budov

II. Protokol průkazu energetické náročnosti budov

III. Analýza energetických potřeb

5.1 Rodinný dům - bungalow

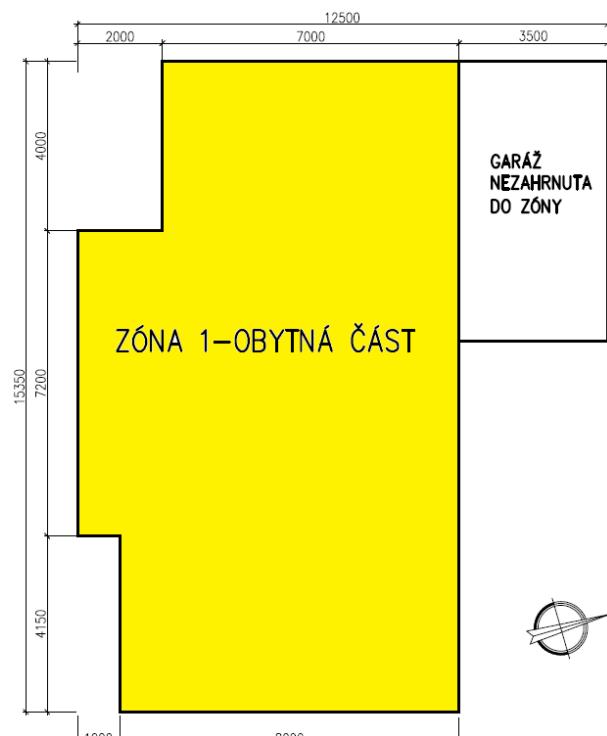
5.1.1 Tvorba výpočetního modelu bungalowu

Jedním z nejdůležitějších kroků při tvorbě výpočetního modelu je správné rozdelení objektu do zón. V tomto případě jsou všechny místnosti zásobovány stejnou skladbou

energetických systémů budovy. S výjimkou nepřímo temperované garáže, jenž je součástí objektu, ale není součástí plného objemu budovy je vnitřní teplota téměř stejná. Jelikož se jedná jen o obytné místnosti, tak podmínky užívání jsou také stejné.

Na základě uvedených charakteristik je vhodné objekt uvažovat jako jednozónový se zohledněním redukovaného tepelného toku přes konstrukce oddělující nevytápěné prostory. Ty sice nejsou přímo obsaženy v zóně, avšak mají vliv na její tepelné chování.

V pracovním listu *Budova – zónování* identifikujeme existující zónu a přiřadíme k ní typický profil užívání. NKN II nabízí 45 přednastavených profilů užívání. Ty definují běžný provoz zóny pomocí pevně stanovených hodnot, které jsou uvedeny v TNI 730331 příloha B [15]. Z této nabídky vybereme profil, jenž nejvíce odpovídá dané zóně. Tomuto případu odpovídá nevhodnější profil *Rodinný dům - obytné prostory*, konkrétní hodnoty jsou uvedeny v tab. 5.2.



Obr. 5.1 - Zónování bungalovu

Tab. 5.1 - Základní informace o bungalowu

Označení	Zóna 1
Název	Obytná část
Profil typického užívání	Rodinný dům - obytné prostory
Energeticky vztažná plocha	126 m ²
Vnější objem	359 m ³
Podíl vnitřních a obvodových konstrukcí	31 %

Tab. 5.2 - Parametry typického užívání zóny podle TNI 730331 pro obytné prostory rodinného domu [15]

Profil typického užívání zóny podle TNI 730331		Parametr	Jednotky	Rodinný dům - obytné prostory
obecné	začátek provozu zóny	-	hodina	0
	konec provozu zóny	-	hodina	24
	provozní doba užívání zóny	$t_{use,h}$	hodina	24
vytápění	roční užívání budovy počet provozních dní	$t_{use,d}$	d	365
	vnitřní výpočtová teplota pro režim vytápění	$\vartheta_{i,H}$	°C	20
	vnitřní teplota pro režim vytápění v režimu útlumu	$\vartheta_{i,H}$	°C	18
chlazení	provozní doba vytápění objektu	$t_{H,h}$	h/den	24
	vnitřní výpočtová teplota pro režim chlazení	$\vartheta_{i,c}$	°C	22
	vnitřní výpočtová teplota pro režim chlazení mimo provozní dobu	$\vartheta_{i,c}$	°C	26
	provozní doba chlazení objektu	$t_{c,h}$	h/den	24
větrání	teplota přiváděného vzduchu pro chlazení	$\vartheta_{supp;n}$	°C	18
	minimální tok větracího vzduchu	$V_{V,k}$	$m^3/h/mj$	25
	měrná jednotka	-	mj	osoby
	průměrná teplota přiváděného vzduchu	$\vartheta_{supp;n}$	°C	0,3 – 0,5
	minimální tok větracího vzduchu	$V_{V,d}$	1/h	0,3
tepelné zisky	doba provozu větracího zařízení	$t_{V,mech,h}$	h/den	24
	měrné tepelné zisky od osob	q_{occ}	W/m^2	1,5
	časový podíl přítomnosti osob	f_{occ}	-	0,7
	měrné tepelné zisky z vybavení	q_{APP}	W/m^2	3
	časový podíl doby provozu	f_{APP}	-	0,2
	doba využití denního světla za rok	t_D	h	1600
	doba využití bez denního světla za rok	t_N	h	1200
	měrná roční spotřeba elektřiny na osvětlení - úsporné osvětlení/zářivky	W_{light}	kWh/m^2rok	2,50
ostatní	měrná roční spotřeba elektřiny na osvětlení - žárovkové osvětlení	W_{light}	kWh/m^2rok	4,17
	m^2 podlahové plochy na osobu		m^2/os	40
	Hodnoty osvětlenosti	E_{pk}	lx	90

V dalším kroku je nutné zónu popsat specificky z pohledu dodávky a distribuce energií pro vytápění, chlazení, větrání a osvětlení. Celá problematika technických systémů z pohledu výpočtu energetické náročnosti budov je obsažena v TNI 730331 v příloze A [15].

V daném případě řešíme ty systémy, které jsou obsaženy v objektu, jedná se o systém vytápění, kde zadáváme tzv. faktory účinnosti sdílení energie do prostoru zóny a účinnosti distribuce energie do zóny. Pro systém osvětlení pak účinnost přeměny tepelných zisků, dále činitele závislosti na denním světle a činitele závislosti na obsazenosti.

Tab. 5.3 - Účinnost využití tepelné energie v bungalowu [15]

Účinnost sdílení tepla mezi vytápěnou zónou a systémem vytápění	$\eta_{H,em,z}$	90 %
Účinnost rozvodů tepla pro vytápění	$\eta_{H,dis,z}$	88 %

Tab. 5.4 - Charakteristika systému osvětlení bungalowu [15]

Typ osvětlovací soustavy	-	Zářivkové
Celkový instalovaný příkon	-	200 W
Součinitel závislosti na denním světle	$P_{I,sys}$	1
Součinitel obsazenosti s regulací osvětlení	F_D	1
Účinnost přeměny tepelných zisků	F_O	90 %

Při definování stavební části objektu vycházíme z tab. 4.3 a 4.4, které nám uvádí tepelně technické vlastnosti stavebních prvků. Jednotlivé konstrukce identifikujeme v pracovním listu *katalog konstrukcí*.

V listu *konstrukce – stavební část* přiřadíme každé konstrukci její plochu, dále příslušnost k dané zóně a prostředí nacházející se za ní. U průsvitných konstrukcí zadáváme i azimutový úhel, který udává orientaci ke světovým stranám. Protože objekt řešíme jako jednozónový, redukci tepelného toku přes nevytápěné prostory musíme řešit pomocí tzv. součinitele teplotní redukce, který je dán vztahem

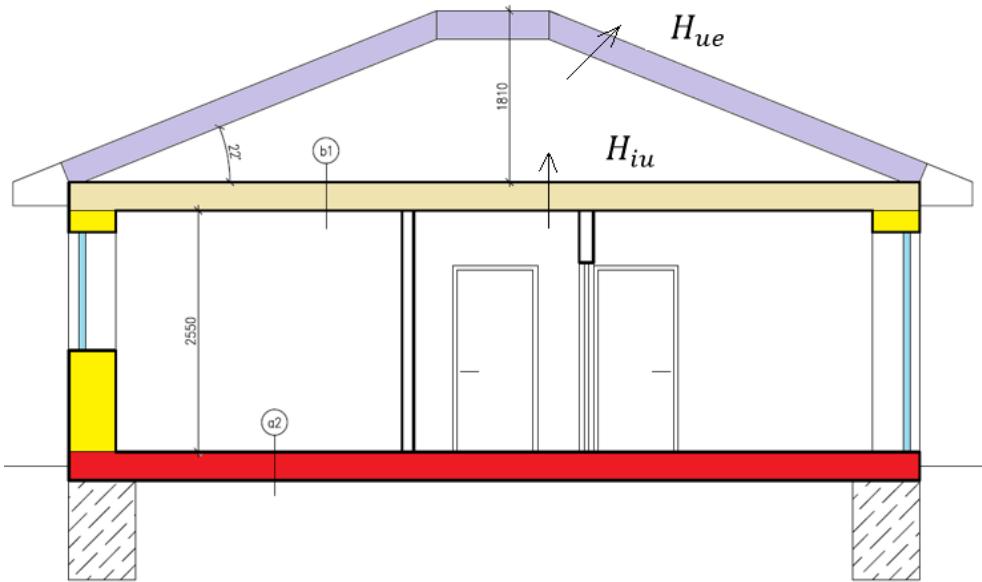
$$b_u = \frac{H_{ue}}{H_{iu} + H_{ue}} \quad (5.1)$$

kde H_{ue} [W/K] je měrný tepelný tok prostupem z nevytápěného prostoru do venkovního prostředí,

H_{iu} [W/K] je měrný tepelný tok prostupem z vytápěného do nevytápěného prostoru.

Tab. 5.5 - Redukční činitelé teploty pro bungalow

Redukční činitelé teploty - popis	H_{ue} [W/K]	H_{iu} [W/K]	b_u [-]
z vytápěného 1.NP do nevytápěné půdy - tepelný tok přes strop	301	36	0,89
z obývacího pokoje do garáže - tepelný tok přes obvodovou stěnu	17	2	0,88



Obr. 5.2 - Rozdělení stavebních konstrukcí a zobrazení redukovaného tepelného toku

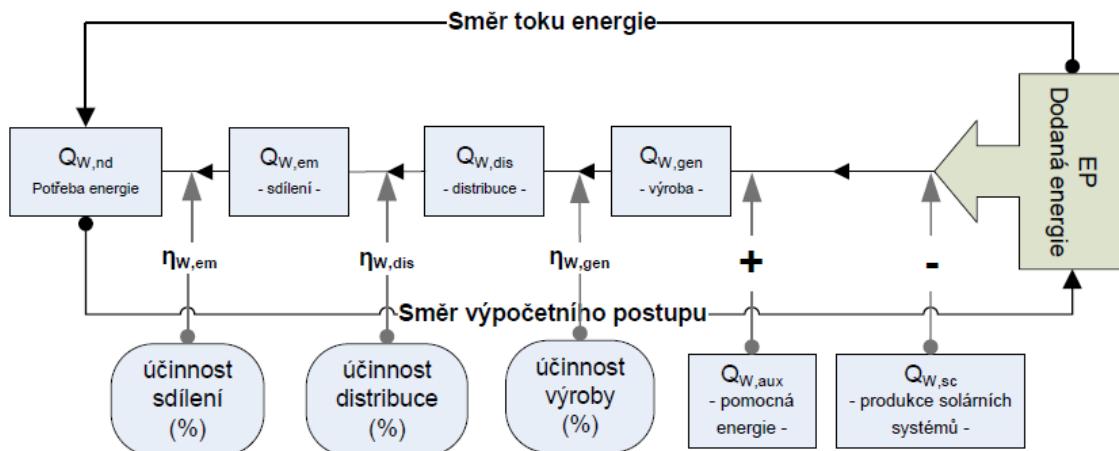
V posledním kroku je třeba definovat jednotlivé energetické systémy. Tímto je zajištěno krytí energetických potřeb prostřednictvím energie dodané z místa výroby do místa odběru, resp. skutečná spotřeba energie jiným slovy tedy celková energie dodaná do budovy.

Energetické systémy jsou v NKN II předdefinovány a vybíráme jednotlivá systémová řešení, která lze libovolně kombinovat vzhledem k jejich technickým možnostem.

Každý energetický systém je charakterizován nepřímým vstupem, který určuje systémové řešení, a přímým vstupem, který zpravidla charakterizuje doplňkovou hodnotu vedoucí k určení účinnosti výroby energie a její distribuce.

Parametr „účinnosti“ je ve smyslu výpočtové metodiky chápán jako nevyužitelná část z energie, která je pomocí dané části dopravena do místa spotřeby energie z místa její výroby.

V tomto případě popisujeme systém vytápění a přípravy teplé vody. Jednotlivé parametry jsou v tab. 5.6 a tab. 5.7.



Obr. 5.3 - Princip výpočtu energie dodané do budovy [4]

Tab. 5.6 - Popis energetického systému vytápění bungalowu

Typ zdroje	Podl. vytápění + ot.	Krb
Energonositel	Elektřina	Dřevo
Jmenovitý tepelný výkon zdroje	6,4 kW	5 kW
Účinnost výroby tepla zdrojem	95 %	70 %
Účinnost regulace zdroje tepla	100% (automatická)	95 % (ruční)
Celkový příkon oběhového čerpadla	0 kW	0 kW
Podíl vytápění zóny	80 %	20 %

Tab. 5.7 - Popis energetického systému přípravy teplé vody bungalowu

Typ přípravy teplé vody	Elektrický ohřívač
Energonositel	Elektřina
Jmenovitý tepelný výkon pro ohřev	2 kW
Objem zásobníku	160 l
Délka rozvodů	10 m
Účinnost výroby	95 %
Denní měrná ztráta tepla zásobníku	6,4 Wh/(l·den)
Denní měrná ztráta rozvodů	30,9 Wh/(m·den)
Roční potřeba teplé vody	72 m ³ /rok
Teplota teplé vody	60 °C
Instalovaný elektrický příkon oběhového čerpadla	100 W

5.1.2 Referenční údaje

Parametry referenčních budov jsou stanoveny tak, aby zajistily nákladově optimální úroveň ENB [4].

V příloze 1 vyhlášky č. 78/2013 Sb. jsou uvedeny vztahy pro výpočet průměrného součinitele prostupu tepla $U_{\text{em},R}$ a stanoveny další hodnoty referenční budovy. V NKN II jsou všechny tyto údaje uloženy a vstupují do výpočtu ukazatelů energetické náročnosti referenční budovy, s kterými je pak hodnocená budova porovnána.

5.1.3 Hodnocení ukazatelů ENB

U nových budov jsou kontrolovány tři ukazatele energetické náročnosti:

- průměrný součinitel prostupu tepla obálkou budovy,
- celková dodaná energie za rok,
- neobnovitelná primární energie za rok.

Průměrný součinitel prostupu tepla U_{em} celkově charakterizuje tepelně technické vlastnosti obálky budovy. Navzdory tomu, že obvodová konstrukce vykazuje dobrou hodnotu součinitele prostupu tepla, průměrné hodnoty stropní konstrukce, podlahy a výplní, zařazují budovu z pohledu tepelně izolačních vlastností do energetické třídy C, slovně ohodnocenou jako úsporná, viz tab. 5.8.

Tab. 5.8 - Hodnocení součinitele prostupu tepla bungalowu

1. Průměrný součinitel prostupu tepla obálkou budovy			
Hodnocená budova	U_{em}	W/(m ² ·K)	0,3
Referenční budova	$U_{\text{em},R}$	W/(m ² ·K)	0,34
Splnění požadavku ukazatele ENB	Ano	- požadavek splněn	
Třída energetické náročnosti		C - úsporná	

Celková energie dodaná do budovy se stanoví součtem dílčích dodaných energií. V našem případě se jedná o dílčí energie na vytápění, ohřev teplé vody a osvětlení.

Tab. 5.9 - Hodnocení dodané celkové energie do bungalowu

2. Celková energie dodaná do budovy			
		kWh/rok	kWh/(rok·m ²)
Hodnocená budova	Q_{fuel}	18936,2	150,3
Referenční budova	$Q_{fuel,R}$	27053,5	214,7
Splnění požadavku ukazatele EN		Ano - požadavek splněn	
Třída energetické náročnosti		B - velmi úsporná	

Primární energií nazýváme energii, která neprošla žádným procesem přeměny. Neobnovitelná primární energie tedy udává celkovou spotřebu neobnovitelných přírodních zdrojů. Tento ukazatel ENB, tedy mimo jiné ohodnocuje původ energie využívaný v budově vzhledem k životnímu prostředí a obnovitelným zdrojům.

Neobnovitelná primární energie se stanovuje jakou součet součinů dodané energie a faktorů neobnovitelné primární energie. Tyto faktory jsou závislé na daných energonositelých a jsou uvedeny v č. 3 vyhlášky 78/2013 Sb. [6].

Protože jako hlavní zdroj pro vytápění je využito elektrické podlahové topení, je hodnota neobnovitelné primární energie vyšší než referenční. Budova tedy spadá do kategorie D slovně vyjádřeno jako méně úsporná.

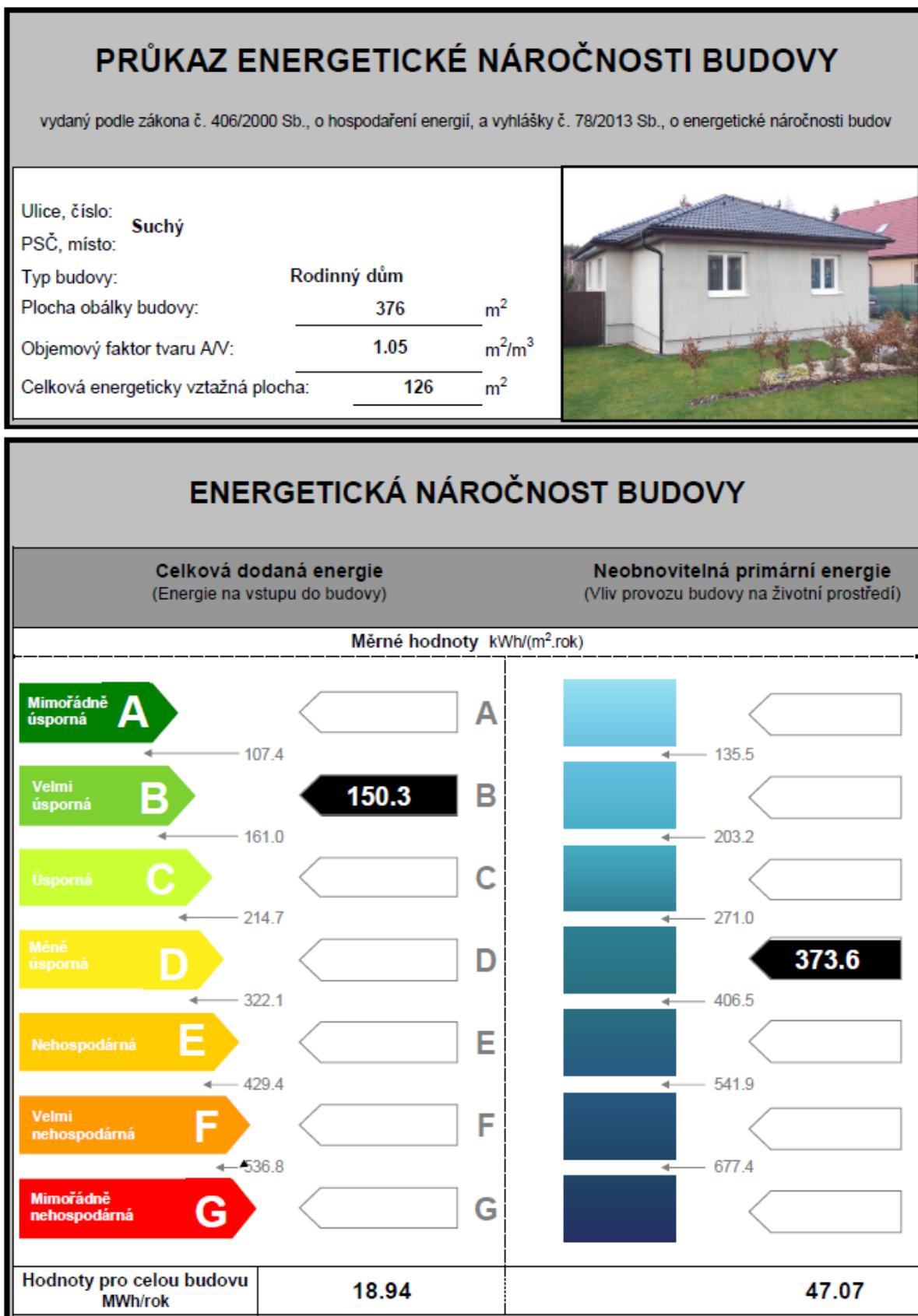
Tab. 5.10 - Hodnocení neobnovitelné primární energie pro bungalow

3. Neobnovitelná primární energie			
		kWh/rok	kWh/(rok·m ²)
Hodnocená budova	EnP	47074,8	373,6
Referenční budova	EnP _R	34141,9	271
Splnění požadavku ukazatele EN		Ne - požadavek není splněn	
Třída energetické náročnosti		D - méně úsporná	

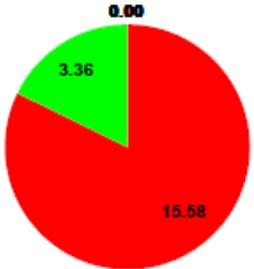
V jednom případě je hodnota ukazatele energetické náročnosti vyšší než referenční hodnota, z tohoto důvodu posuzovaný objekt nesplňuje požadavky na energetickou náročnost nové budovy ve smyslu vyhlášky 78/2013 Sb.

Navržené opatření by spočívalo nejspíše ve změně typu zdroje tepla s jiným energonositelem, nebo například využití fotovoltaických panelů. Návrh opatření, díky kterým by budova splňovala předepsanou energetickou náročnost, není předmětem této práce, a proto se jimi nebudeme dále zabývat. V následující kapitole 5.1.4 můžeme vidět grafické zpracování výsledného průkazu ENB.

5.1.4 Grafické zpracování průkazu energetické náročnosti budovy (PENB)



Obr. 5.4 - Průkaz energetické náročnosti bungalovu (1. strana)

DOPORUČENÁ OPATŘENÍ		PODÍL ENERGONOSITELŮ NA DODANÉ ENERGII							
Opatření pro	Stanovena	Hodnoty pro celou budovu MWh/rok							
Vnější stěny:	<input type="checkbox"/>	 <table border="1"> <tr> <td>Propan-butanol/LPG</td> <td>0.00</td> </tr> <tr> <td>Elektřina</td> <td>15.58</td> </tr> <tr> <td>Dřevěné peletky</td> <td>3.36</td> </tr> </table>		Propan-butanol/LPG	0.00	Elektřina	15.58	Dřevěné peletky	3.36
Propan-butanol/LPG	0.00								
Elektřina	15.58								
Dřevěné peletky	3.36								
Okna a dveře:	<input checked="" type="checkbox"/>								
Střechu:	<input type="checkbox"/>								
Podlahu:	<input type="checkbox"/>								
Vytápění:	<input checked="" type="checkbox"/>								
Chlazení/klimatizaci:	<input type="checkbox"/>								
Větrání:	<input type="checkbox"/>								
Přípravu teplé vody:	<input checked="" type="checkbox"/>								
Osvětlení:	<input type="checkbox"/>								
Jiné:	<input type="checkbox"/>								
<small>Popis opatření je v protokolu průkazu a vyhodnocení jejich dopadu na energetickou náročnost je znázorněn šípkou</small>		<small>Doporučení</small>							

UKAZATELE ENERGETICKÉ NÁROČNOSTI BUDOVY							
	Obálka budovy	Vytápění	Chlazení	Větrání	Úprava vlhkosti	Teplá voda	Osvětlení
Mimořádné úsporník	U_{em} W/(m².K)	Dílčí dodaná energie Měrné hodnoty kWh/(m ² .rok)					
A							6.3
B							
C	0.297					42.7	
D							
E							
F							
G							
Mimořádní nevhodnosti							
Hodnoty pro celou budovu MWh/rok	12.8	0.0	0.0	0.0	5.4	0.8	

Zpracovatel:	Bc. Jakub Hlubinka	Osvědčení č.:	13589
Kontakt:	Suchý 62	Vyhотовено dne:	23. březen 2016
		Podpis:	

Obr. 5.5 - Průkaz energetické náročnosti bungalovu (2. strana)

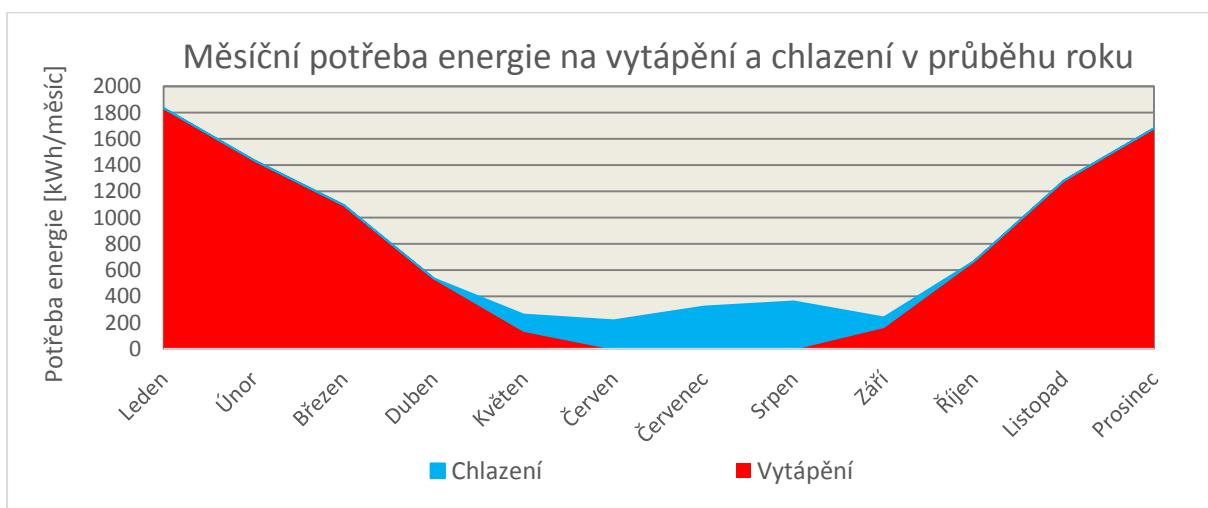
5.1.5 Výsledky energetických potřeb vytápění a chlazení

Autoři NKN II uvádí, že nástroj je možné využít i pro analýzu energetických potřeb bez ohledu na hodnocení objektu. Metodika bilančního výpočtu, s kterou program pracuje, je naznačena v kapitole 3.1.3. Výpočet je prováděn v měsíčním kroku, klimatické údaje vychází z TNI 730331 (příloha C).

Můžeme si položit otázku, jak se budou lišit výsledky při použití hodinových dat a do jaké míry jsou tyto výsledky použitelné pro projektanta TZB. Odpověď bychom měli najít v kapitole 7, kde se srovnávají různé přístupy výpočtu potřeb vytápění a chlazení.

Tab. 5.11 - Výsledky energetické bilance pro bungalow vypočítané pomocí NKN II

Energetická bilance na úrovni budovy podle ČSN EN 13790			
Režim vytápění	Označení	Jednotky	Hodnocená budova
Potřeba energie na vytápění	$Q_{H,nd}$	kWh/rok	8839
Solární tepelné zisky	$Q_{H,gn,sol}$	kWh/rok	4959
Vnitřní tepelné zisky	$Q_{gn,int}$	kWh/rok	1715
Celkové tepelné zisky	$Q_{H,gn}$	kWh/rok	6674
Množství tepla přeneseného větráním	$Q_{H,v}$	kWh/rok	2474
Množství tepla přeneseného prostupem	$Q_{H,tr}$	kWh/rok	11281
Režim chlazení			
Potřeba energie na chlazení	$Q_{C,nd}$	kWh/rok	1098
Solární tepelné zisky	$Q_{C,gn,sol}$	kWh/rok	4959
Vnitřní tepelné zisky	$Q_{gn,int}$	kWh/rok	1715
Celkové tepelné zisky	$Q_{C,gn}$	kWh/rok	6674
Celk. množství přeneseného tepla větráním	$Q_{C,v}$	kWh/rok	2904
Celk. množství přeneseného tepla prostupem	$Q_{C,tr}$	kWh/rok	13240
Dílčí parametry			
Průměrný součinitel prostupu tepla	U_{em}	W/(m ² ·K)	0,3
Tepelná ztráta budovy	Q_C	kW	4,8



Obr. 5.6 - Grafické znázornění potřeby energie na vytápění a chlazení pro bungalow

Tab. 5.12 – Měsíční potřeba energie na vytápění a chlazení pro bungalow

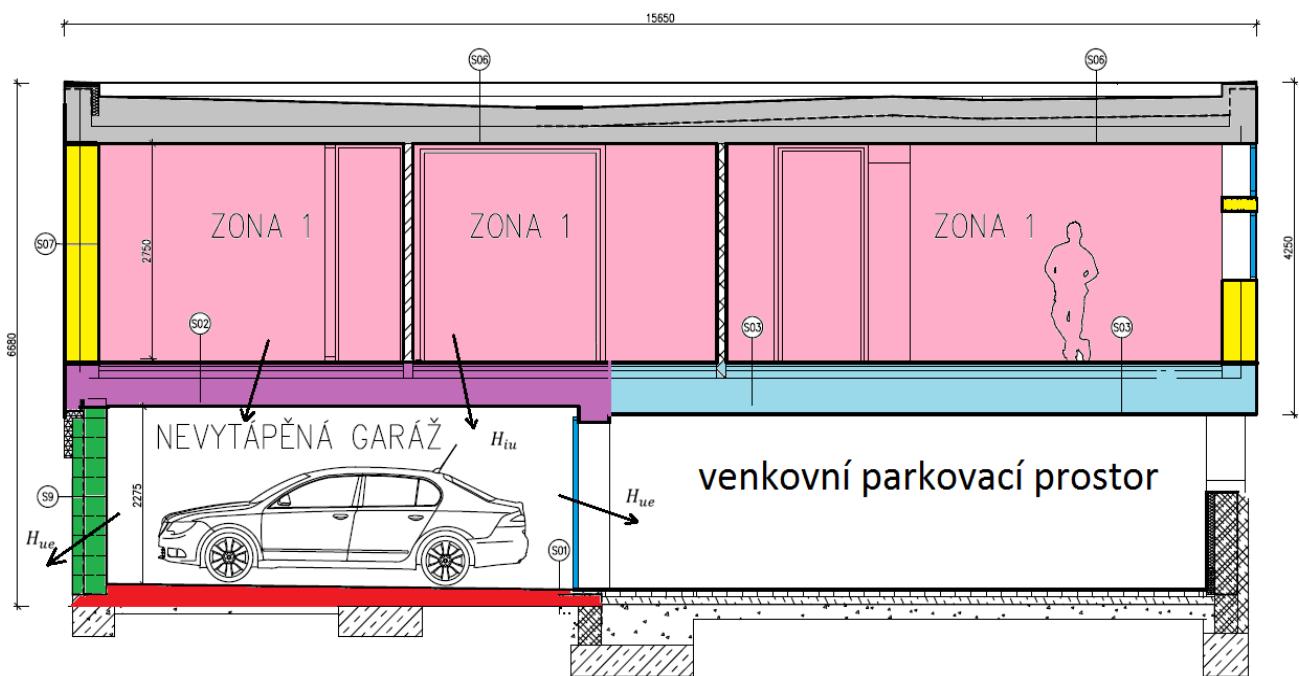
		Leden	Únor	Březen	Duben	Květen	Červen	Červenec	Srpna	Září	Říjen	Listopad	Prosinec	Celkem
Vytápění	kW	1834	1439	1095	536	137	0	0	0	166	668	1282	1681	8839
Chlazení	kW	0	0	0	0	125	217	322	361	73	0	0	0	1098

5.2 Moderní novostavba RD

Postup při vytváření výpočetního modelu této budovy je téměř stejný jako u bungalowu (kap. 5.1.) Proto jej popíšeme jen stručně.

Při zónování tohoto objektu máme dvě možnosti. Bud' můžeme budovu řešit dvouzávodově s tím, že jednou zónou bude obytná část a druhou nepřímo temperovaná garáz pod ní. Druhá možnost je, že zónou bude jen obytná část a vliv garáže na tepelný tok přes podlahu bude vyjádřen pomocí redukčního činitele. Vzhledem k tomu, že garáž je nevytápěná, je využívána jen pro parkování auta a nepředpokládá se zde jiná činnost, volíme druhou variantu a objekt řešíme jednozávodově. Nutno také dodat, že pokud bychom řešili dvouzávodovou variantu, museli bychom definovat svůj vlastní profil užívaní garáže, protože ve výběru není žádný vhodný.

Zóně 1 odpovídá přednastavený profil *Rodinný dům* – obytné prostory. Hodnoty typického užívání jsou tedy stejné jako u bungalowu (tab. 5.2).



Obr. 5.7 - Zónování a zobrazení skladby konstrukcí moderní novostavby RD

Pozn. do objemu zóny 1 se započítávají i konstrukce, které zónu ohraňují, což nemusí být z obr. 5.7 patrné.

Tab. 5.13 - Základní údaje moderní novostavby RD

Označení	Zóna 1
Název	Obytná část – 1.NP
Profil typického užívání	Rodinný dům – obytné prostory
Energeticky vztazná plocha	150 m ²
Vnější objem	594 m ³
Podíl vnitřních a obvodových konstrukcí	42 %

V budově jsou instalovány energetické systémy vytápění, ohřevu teplé vody a osvětlení.

Tab. 5.14 - Účinnost využití tepelné energie u moderní novostavby RD

Účinnost sdílení tepla mezi vytápěnou zónou a systémem vytápění	$\eta_{H,em,z}$	90 %
Účinnost rozvodů tepla pro vytápění	$\eta_{H,dis,z}$	88 %

Tab. 5.15 - Charakteristika systému osvětlení v moderní novostavbě RD

Typ osvětlovací soustavy	-	zářivkové
Celkový instalovaný příkon	-	300 W
Součinitel závislosti na denním světle	$P_{I,sys}$	1
Součinitel obsazenosti s regulací osvětlení	F_D	1
Účinnost přeměny tepelných zisků	F_O	90 %

Tab. 5.16 - Popis energetického systému vytápění moderní novostavby RD

Typ zdroje	Plynový kondenzační kotel	Plynový krb
Energonositel	Zemní plyn	Zemní plyn
Jmenovitý tepelný výkon zdroje	15 kW	5 kW
Účinnost výroby tepla zdrojem	85 %	83 %
Účinnost regulace zdroje tepla	100 % (automatická)	100 % (automatická)
Celkový příkon oběhového čerpadla	150 W	0 W
Podíl vytápění zóny 1	85 %	15 %

Tab. 5.17 - Popis energetického systému pro přípravu teplé vody v moderní novostavbě RD

Typ přípravy teplé vody	Plynový ohřívač Enbra
Energonositel	Zemní plyn
Jmenovitý tepelný výkon pro ohřev	8 kW
Objem zásobníku	114 l
Délka rozvodů	11 m
Účinnost výroby	95 %
Denní měrná ztráta tepla zásobníku	6,4 Wh/(l.den)
Denní měrná ztráta rozvodů	41,2 Wh/(m.den)
Roční potřeba teplé vody	75 m ³ /rok
Teplota teplé vody	60 °C
Instalovaný elektrický příkon oběhového čerpadla	100 W

Při definování stavební části objektu vycházíme z tab. 4.6 a tab. 4.7, které nám uvádí tepelně technické vlastnosti stavebních konstrukcí a výplní. Redukční činitel teploty se vypočte dle vztahu 5.1. Tepelný tok přes nevytápěnou garáž je znázorněn na obr. 5.7.

Tab. 5.18 - Redukční činitelé teploty u moderní novostavby RD

Redukční činitelé teploty - popis	H_{ue} [W/K]	H_{iu} [W/K]	b_u [-]
Z vytápěněho 1.NP do nevytápěné garáže - tepelný tok přes podlahu	31	7	0,82

5.2.1 Hodnocení ukazatelů ENB

Tab. 5.19 - Hodnocení součinitele prostupu tepla moderní novostavby RD

1. Průměrný součinitel prostupu tepla obálkou budovy			
Hodnocená budova	U_{em}	W/m ² ·K	0,29
Referenční budova	$U_{em,R}$	W/m ² ·K	0,36
Splnění požadavku ukazatel EN	Ano - požadavek splněn		
Třída energetické náročnosti	B - velmi úsporná		

Tab. 5.20 - Hodnocení celkové energie dodané do moderní novostavby RD

2. Celková dodaná energie do budovy			
		kWh/rok	kWh/(m ² ·rok)
Hodnocená budova	Q_{fuel}	16797,5	112
Referenční budova	$Q_{fuel,R}$	26118,5	174,1
Splnění požadavku ukazatele EN	Ano - požadavek splněn		
Třída energetické náročnosti	B - velmi úsporná		

Tab. 5.21- Hodnocení neobnovitelné primární energie u moderní novostavby

3. Neobnovitelná primární energie			
		kWh/rok	kWh/(m ² ·rok)
Hodnocená budova	E_{nP}	21938,3	146,3
Referenční budova	E_{nPR}	31225	208,2
Splnění požadavku ukazatele EN	Ano - požadavek splněn		
Třída energetické náročnosti	B - velmi úsporná		

Všechny tři posuzované ukazatele energetické náročnosti mají nižší hodnotu, než jsou referenční hodnoty pro daný typ stavby. Budova tedy splňuje požadavky na energetickou náročnost podle vyhlášky 78/2013 Sb.

5.2.2 Grafické znázornění PENB pro moderní novostavbu RD



Obr. 5.8 - Průkaz energetické náročnosti moderní novostavby RD (1. strana)

DOPORUČENÁ OPATŘENÍ		PODÍL ENERGONOSITELŮ NA DODANÉ ENERGII	
Opatření pro	Stanovena	Hodnoty pro celou budovu MWh/rok	
Vnější stěny:	<input type="checkbox"/>	■ Zemní plyn 15.86	
Okna a dveře:	<input type="checkbox"/>	■ Elektřina 1.83	
Sádrokarton:	<input type="checkbox"/>		
Podlahu:	<input type="checkbox"/>		
Vytápění:	<input type="checkbox"/>		
Chlazení/klimatizaci:	<input type="checkbox"/>		
Větrání:	<input type="checkbox"/>		
Přípravu teplé vody:	<input type="checkbox"/>		
Osvětlení:	<input type="checkbox"/>		
Jiné:	<input type="checkbox"/>		
Popis opatření je v protokolu průkazu a výhodnocení jejich dopadu na energetickou náročnost je znázorněn šípkou		Doporučení	

UKAZATELE ENERGETICKÉ NÁROČNOSTI BUDOVY							
	Obálka budovy	Vytápění	Chlazení	Větrání	Úprava vlhkosti	Teplá voda	Osvětlení
Mimořádné úsporné	U_{em} W/(m².K)						
A	0.258	74.8					6.5
B							
C							
D							
E							
F							
G							
Mimořádně neúsporné							
Hodnoty pro celou budovu MWh/rok	11.2	0.0	0.0	0.0	5.5	1.0	

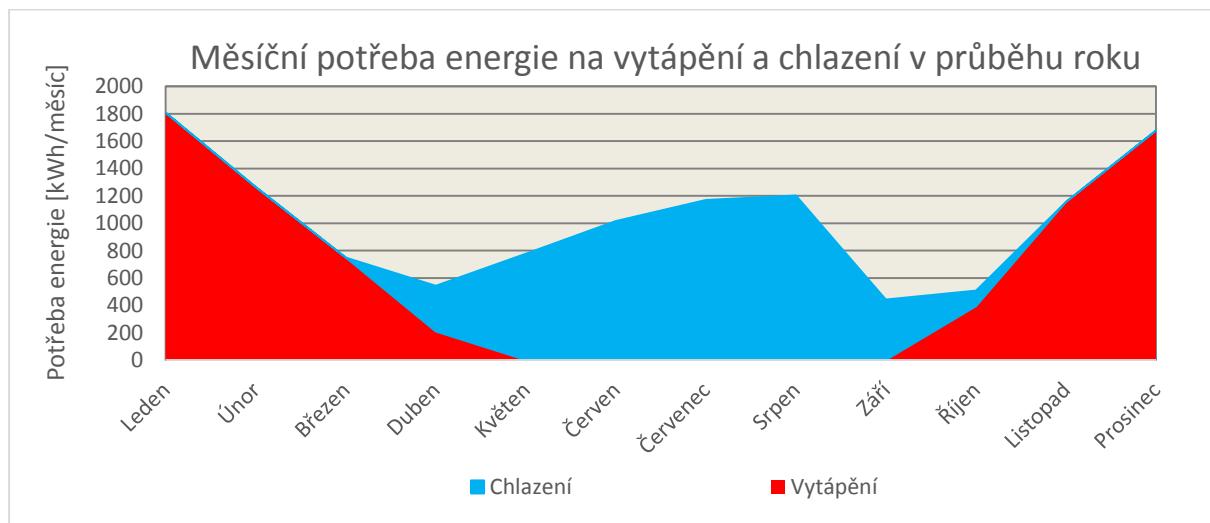
Zpracovatel:	Bc. Jakub Hlubinka	Osvědčení č.:	14539
Kontakt:	Suchý 62 680 01 Boskovice	Vyhodoveno dne:	25. březen 2016
Podpis:			

Obr. 5.9 - Průkaz energetické náročnosti moderní novostavby RD (2. strana)

5.2.3 Výsledky energetických potřeb vytápění a chlazení

Tab. 5.22 - Výsledky energetické bilance vypočtené pomocí NKN II

Energetická bilance na úrovni budovy podle ČSN EN 13790			
Režim vytápění	Označení	Jednotky	Hodnocená budova
Potřeba energie na vytápění	$Q_{H,nd}$	kWh/rok	7261
Solární tepelné zisky	$Q_{H,gn,sol}$	kWh/rok	12019
Vnitřní tepelné zisky	$Q_{gn,int}$	kWh/rok	2088
Celkové tepelné zisky	$Q_{H,gn}$	kWh/rok	14107
Množství tepla přeneseného větráním	$Q_{H,v}$	kWh/rok	3441
Množství tepla přeneseného prostupem	$Q_{H,tr}$	kWh/rok	11686
Režim chlazení			
Potřeba energie na chlazení	$Q_{C,nd}$	kWh/rok	5053
Solární tepelné zisky	$Q_{C,gn,sol}$	kWh/rok	12019
Vnitřní tepelné zisky	$Q_{gn,int}$	kWh/rok	2088
Celkové tepelné zisky	$Q_{C,gn}$	kWh/rok	14107
Celk. množství přeneseného tepla větráním	$Q_{C,v}$	kWh/rok	4038
Celk. množství přeneseného tepla prostupem	$Q_{C,tr}$	kWh/rok	13716
Dílčí parametry			
Průměrný součinitel prostupu tepla	U_{em}	W/(m ² ·K)	0,26
Tepelná ztráta budovy	Q_C	kW	5,2



Obr. 5.10 - Znázornění potřeby energie na vytápění a chlazení pro moderní novostavbu RD

Tab. 5.23 – Měsíční potřeba energie na vytápění a chlazení pro moderní novostavbu RD

		Leden	Únor	Březen	Duben	Květen	Červen	Červenec	Srpen	Září	Říjen	Listopad	Prosinec	Celkem
Vytápění	kWh	1809	1267	748	209	0	0	0	0	0	394	1157	1677	7261
Chlazení	kWh	0	0	0	333	777	1015	1169	1203	442	114	0	0	5053

6 ENERGETICKÁ SIMULACE POMOCÍ PROGRAMU TRNSYS

V této kapitole bude proveden výpočet energetických potřeb hodnocených budov pomocí programu TRNSYS. Lze předpokládat, že v důsledku rozdílných vstupních údajů oproti NKN II, se budou lišit konečné výsledky. Nejprve však porovnáme případné rozdíly vzniklé použitím různých výpočetních metod. Konkrétně měsíční metody, s kterou pracuje NKN II a dynamické simulace v programu TRNSYS. Pro tento účel je vytvořen první, základní výpočetní model (označený č. 1), který vychází z podmínek uvedených v TNI 730331 a používá tedy stejné vstupní údaje.

Samotný výpočet je proveden pro budovu, u které není přímo definována měrná tepelná kapacita. Dynamické vlivy jsou zahrnuty faktory využitelnosti tepelných zisků a tepelných ztrát. Okna jsou uvažována neprůsvitná. Důvodem je zamezit vlivu úniku tepla radiací. Snahou je se co nejvíce přiblížit metodice výpočtu NKN II (viz kapitola 3.1.3) a tím ověřit funkčnost výpočetního modelu.

Z praktického hlediska nás ovšem zajímá, do jaké míry se budou lišit výsledky v případě použití podrobnějších vstupních údajů. Myslíme tím konkrétně hodinová klimatická data naměřená pro danou oblast, dále podrobné definování zóny, tedy výskyt osob, zapínaní spotřebičů, vnitřní teploty pro režim vytápění a chlazení atd. V následujících modelech už budou tyto parametry postupně zpřesňovány (tab. 6.1). Snahou bude, jednak se co nejvíce přiblížit realitě a jednak vyhodnotit vliv jednotlivých vstupních parametrů na konečné výsledky.

Následující simulace jsou provedeny pro bungalow a moderní novostavbu RD, stejně jako předchozí výpočet pomocí NKN II.

Tab. 6.1 - Charakteristika jednotlivých výpočetních modelů

Označení výpočetního modelu	Použitá klimatická data	Užívání objektu (vnitřní teplota, vnitřní zisky)	Model budovy	Měrná tepelná kapacita C	Vlastnosti stavebních výplní
1	dle TNI 73031	dle TNI 73031	1 zónový, redukční činitelé teploty	Ne	Nahrazeno konstrukcí
2	dle TNI 73032	dle TNI 73031	1 zónový, redukční činitelé teploty	Ano	Tab. 3.4
3	Praha, Brno, Liberec, dle umístění objektu	dle TNI 73031	1 zónový, redukční činitelé teploty	Ano	Tab. 3.4
4	Praha, Brno, Liberec, dle umístění objektu	Řídící profily	1 zónový, redukční činitelé teploty	Ano	Tab. 3.4
5	Praha, Brno, Liberec, dle umístění objektu	Řídící profily	Více zónový	Ano	Tab. 3.4

6.1 Rodinný dům - bungalow

6.1.1 Výpočetní model bungalowu č. 1 vycházející z metodiky výpočtu NKN II

Vytváříme model s měsíčním výpočetním krokem, do kterého zadáváme stejné hodnoty, s jakými pracuje NKN II. Tímto sice degradujeme smysl simulačního programu, ale ověřujeme, že oba výpočty jsou konzistentní.

Výpočet je proveden pro budovu, u které se neuvažuje vliv měrné tepelné kapacity (C). Stavební výplně jsou nahrazeny konstrukcí o celkovém součiniteli prostupu tepla U odpovídajícímu U_w (dle tab. 4.4). Tento postup odpovídá výpočtu v NKN II a výsledky by se tedy neměly příliš rozcházet. Takto ověříme soulad obou výpočtů a správnost definování samotné budovy.

Vstupní parametry

Vstupní parametry vycházejí z tab. 4.3 a z TNI 730331. Zde jsou tepelné zisky udávány jako měrné, a proto bylo nutné je přepočítat pro konkrétní budovu (podlahovou plochu), tak aby mohly být zadány do modelu budovy v programu TRNSYS (typ 56 b).

Tab. 6.2 - Vstupní hodnoty pro model bungalowu č. 1

provozní doba užívání zóny	24 hod
provozní doba vytápění objektu	24 hod
vnitřní výpočtová teplota pro režim vytápění	20 °C
provozní doba chlazení objektu	24 hod
vnitřní výpočtová teplota pro režim chlazení	22 °C
minimální tok větracího vzduchu	0,3 l/hod
tepelné zisky od osob	107,835 W
tepelné zisky z vybavení	61,62 W

V tab. 6.2 jsou uvedeny parametry, které jsou uvažovány konstantní po celý rok. Tepelné zisky z osvětlení se přepočítávají pomocí tzv. činitele podílu spotřeby elektrické energie na osvětlení (f_L), více v literatuře [8]. To znamená, že zisky z osvětlení se mění v závislosti na měsíci a u výpočtu musí být pro tento časový úsek zadávány zvlášť. Totéž platí i pro solární zisky radiací, ty jsou stanoveny dle vztahu 3.11, tak jak je počítá NKN II (v souladu s metodickou příručkou pro výpočet ENB [8]). U měsíční výpočetní metody jsou dynamické vlivy zahrnutы faktorem využitelnosti tepelných zisků (rov 3.13). Jednoduše řečeno se jedná o účinnost využití vnitřních zisků. Zatímco v zimních měsících s průměrnou teplotou pod 0 °C se předpokládá téměř 100% využití, v období s vyšší teplotou nevyužijeme vnitřní zisky v celé míře. Vstupní hodnoty, jenž se mění v průběhu roku, uvádí tab. 6.3.

Tab. 6.3 - Měsíční vstupní hodnoty pro model bungalowu č. 1

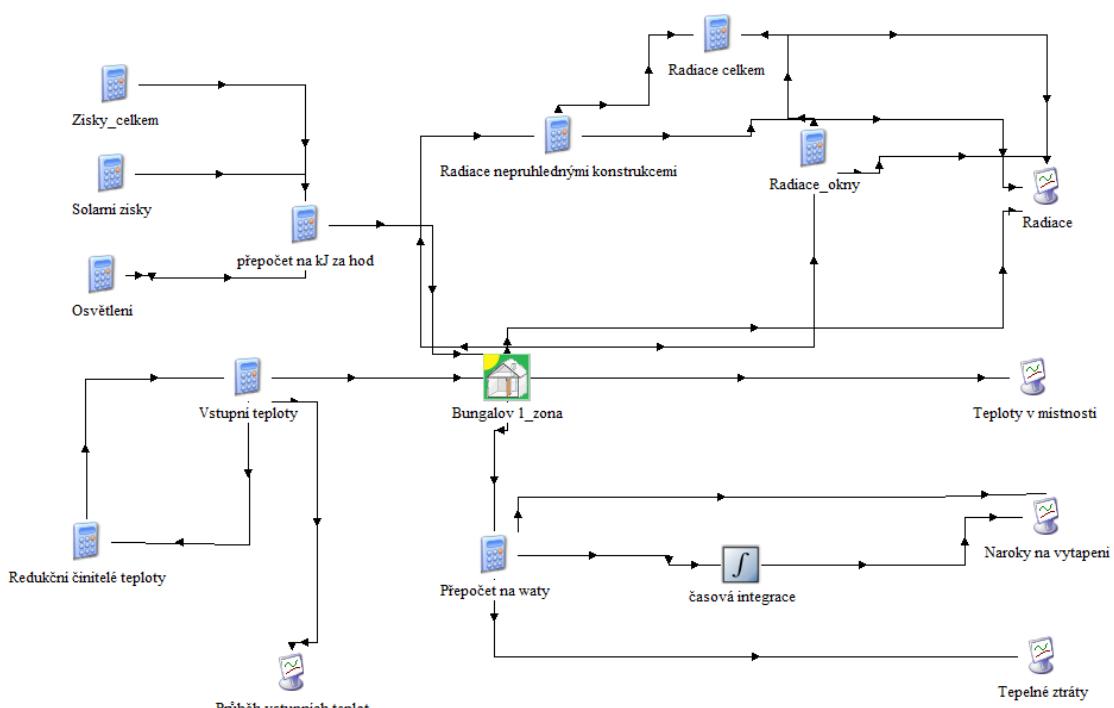
		Leden	Únor	Březen	Duben	Květen	Červen	Červenec	Srpna	Září	<th>Listopad</th> <th>Prosinec</th>	Listopad	Prosinec
Počet dnů	Den	744	672	744	720	744	720	744	744	720	744	720	744
Teplota ven.	°C	-1,3	-0,1	3,7	8,1	13,3	16,1	18	17,9	13,5	8,3	3,2	0,5
Osvětlení	W	40,1	33	27,4	22,4	18,5	17,2	17,2	18,5	23	27,2	32,7	39,6
Solár. zisky	W	229,1	400,1	568,3	761,8	803,5	786,2	750,3	817,3	632,9	531,4	311,2	191,3
Stupeň využit. tepel. zisků	-	1,00	1,00	0,99	0,95	0,77	0,52	0,29	0,28	0,83	0,98	1,00	1,00

Model budovy

Pro výpočet je použit multizonální typ budovy 56 b, který umožnuje podrobné definování vlastností simulovaného objektu. Tepelně technické vlastnosti obálky budovy vychází z tab. 4.3, neuvažujeme vliv tepelné akumulace. Celkový součinitel prostupu tepla U je nastaven tak, aby zahrnoval všechny mechanismy přestupu tepla a zároveň odpovídal U_w dle tab. 4.4.

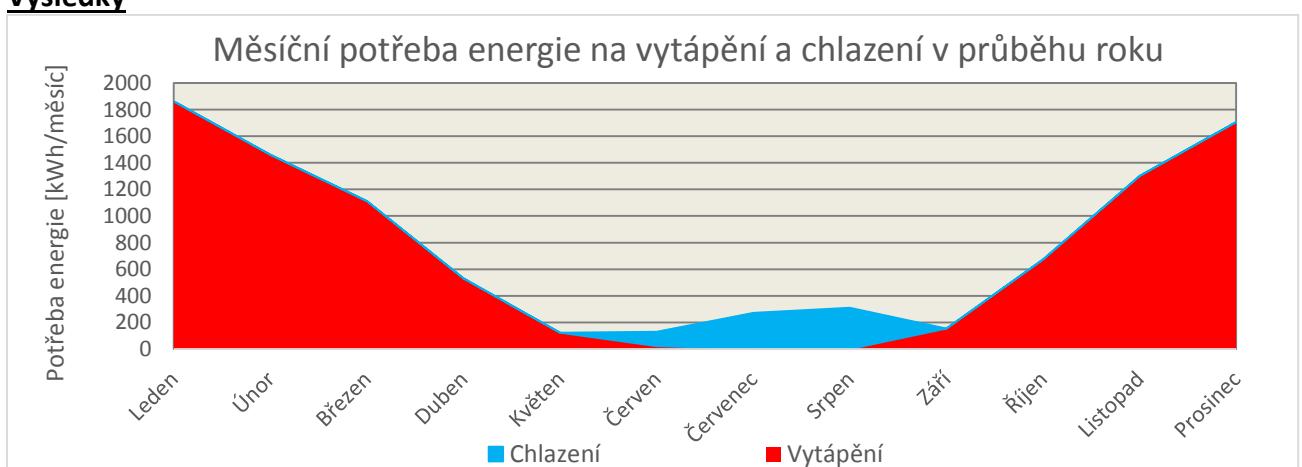
Výpočetní model

Na obr. 6.1 můžete vidět schéma výpočetního modelu. Vlevo jsou umístěny vstupy, konkrétně zde zadáváme venkovní teploty podle tab. 6.3 a redukční činitele teploty podle tab. 5.5. Uprostřed je zmínovaný multizonální typ 56 b, ve kterém je nadefinován model budovy. V pravé části jsou výstupy.



Obr. 6.1 - Schéma výpočetního modelu bungalowu č. 1 v programu TRNSYS

Výsledky



Obr. 6.2 - Měsíční potřeba energie na vytápění a chlazení pro model bungalowu č. 1

Tab. 6.4 - Výsledky energetického chování modelu bungalowu č. 1

Měsíc	Tepelná ztráta prostupem včetně radiace	Tepelná ztráta větráním (infiltrací)	Tepelná ztráta radiací	Potřebný dodávaný tepelný tok do místnosti	Potřeba energie na vytápění	Potřebný oddebraný tepelný tok z místnosti	Potřeba energie na chlazení	Teplota v místnosti
	[W]	[W]	[W]	[kW]	[kWh]	[kW]	[kWh]	[°C]
Leden	2406	536	40,74	2,502	1862	0	0	20
Únor	2270	506	38,88	2,174	1461	0	0	20
Březen	1841	410	32,67	1,493	1111	0	0	20
Duben	1344	299	24,83	0,741	533	0	0	20
Květen	757	169	14,63	0,166	123	0	0	20,5
Červen	440	98	8,73	0,028	21	0,15	108	22
Červenec	226	50	4,5	0	0	0,377	271	22
Srpen	237	53	4,8	0	0	0,431	310	22
Září	734	164	14,23	0,215	155	0	0	20
Říjen	1321	294	24,46	0,906	674	0	0	20
Listopad	1897	423	33,52	1,808	1302	0	0	20
Prosinec	2202	490	37,94	2,293	1706	0	0	20

Pro projektanta vytápění je důležitá celková tepelná ztráta objektu. Ta se počítá pro návrhovou vnější teplotu charakteristickou pro danou oblast umístění objektu, v tomto případě $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$. Výsledky spolu s podíly jednotlivých mechanizmů tepelných ztrát jsou uvedeny v tab. 6.5.

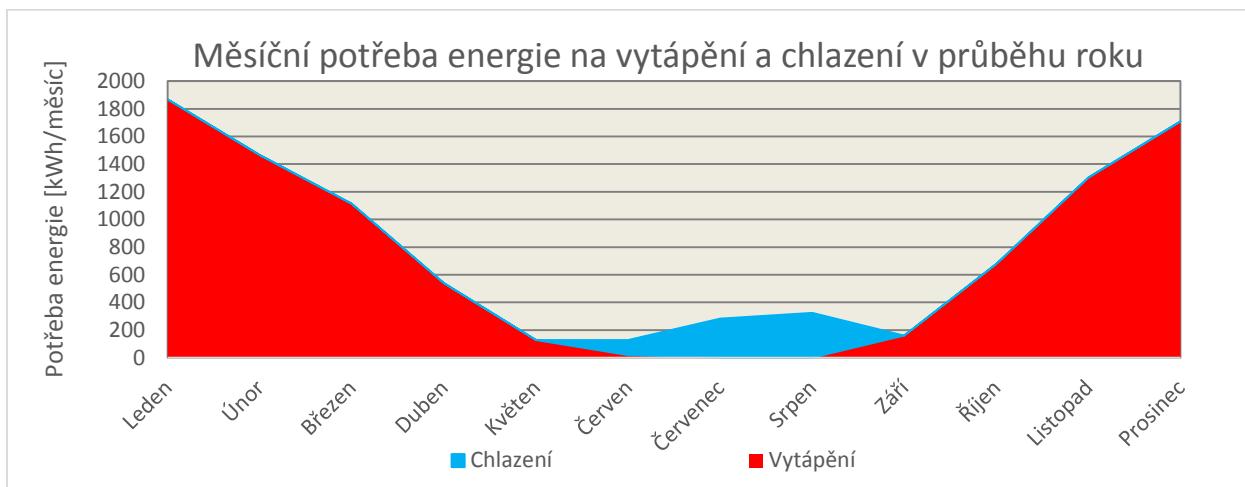
Tab. 6.5 - Celková návrhová tepelná ztráta objektu v modelu č. 1

Návrhová teplota dle umístění objektu	Celk. návrhová tepelná ztráta	Ztráta větráním	Prostup včetně radiace	Radiace okny	Radiace stěnami
$T = -15\text{ }^{\circ}\text{C}$	4,835 kW	880 W	3995 W	0,1 W	57,5 W

6.1.2 Výpočetní model bungalowu č. 2

Hlavní odlišností od předchozího modelu č. 1 je, že nyní uvažujeme $U = U_w$ dle tab 4.4, jako součinitele prostupu tepla, který postihuje jen kondukci a konvekci. Velikost tepelných úniků radiací záleží na dalších vstupních parametrech a jsou tedy dopočítávány. Zde už se pomalu ukazuje smysl simulačního nástroje. Další odlišností je, že počítáme s tepelnou akumulací ve hmotě objektu.

Výsledky



Obr. 6.3 - Měsíční potřeba energie na vytápění a chlazení pro model č. 2

Tab. 6.6 - Výsledky energetického chování bungalovu pro model č. 2

Měsíc	Tepelná ztráta prostupem včetně radiace	Tepelná ztráta větráním (infiltraci)	Tepelná ztráta radiací	Potřebný dodávaný tepelný tok do místnosti	Potřeba energie na vytápění	Potřebný odebíraný tepelný tok z místnosti	Potřeba energie na chlazení	Teplota v místnosti
	[W]	[W]	[W]	[kW]	[kWh]	[kW]	[kWh]	[°C]
Leden	2414	536	145	2,52	1868	0	0	20
Únor	2275	506	137	2,18	1466	0	0	20
Březen	1843	410	110	1,5	1113	0	0	20
Duben	1348	299	83	0,75	539	0	0	20
Květen	757	169	49	0,173	128	0	0	20,5
Červen	438	98	29	0,03	18	0,152	109	22
Červenec	221	50	15	0	0	0,381	283	22
Srpen	232	53	16	0	0	0,435	324	22
Září	734	164	48	0.221	159	0	0	20
Říjen	1325	294	81	0,912	678	0	0	20
Listopad	1899	423	114	1,81	1303	0	0	20
Prosinec	2206	490	133	2,3	1709	0	0	20

Tab. 6.7 - Celková návrhová tepelná ztráta objektu v modelu č. 2

Návrhová teplota dle umístění objektu	Celk. návrhová tepelná ztráta	Ztráta větráním	Prostup včetně radiace	Radiace okny	Radiace stěnami
T = -15 °C	5 kW	880 W	4125 W	165.8 W	57,3 W

6.1.3 Výpočetní model bungalowu č. 3 - vliv podrobných klimatických údajů

Snahou této simulace bylo určit vliv použití podrobných (hodinových) klimatických údajů na konečné výsledky energetických potřeb vytápění a chlazení. A dále zjistit, jak se mohou tyto výsledky lišit v závislosti na umístění objektu v rámci ČR.

Vstupní parametry

Roční klimatická data platná pro obec Suchý jsou vygenerována pomocí programu Meteonorm. Pro další výpočty jsou přímo použita naměřená data z meteorologických stanic v Brně, Praze a Liberci.

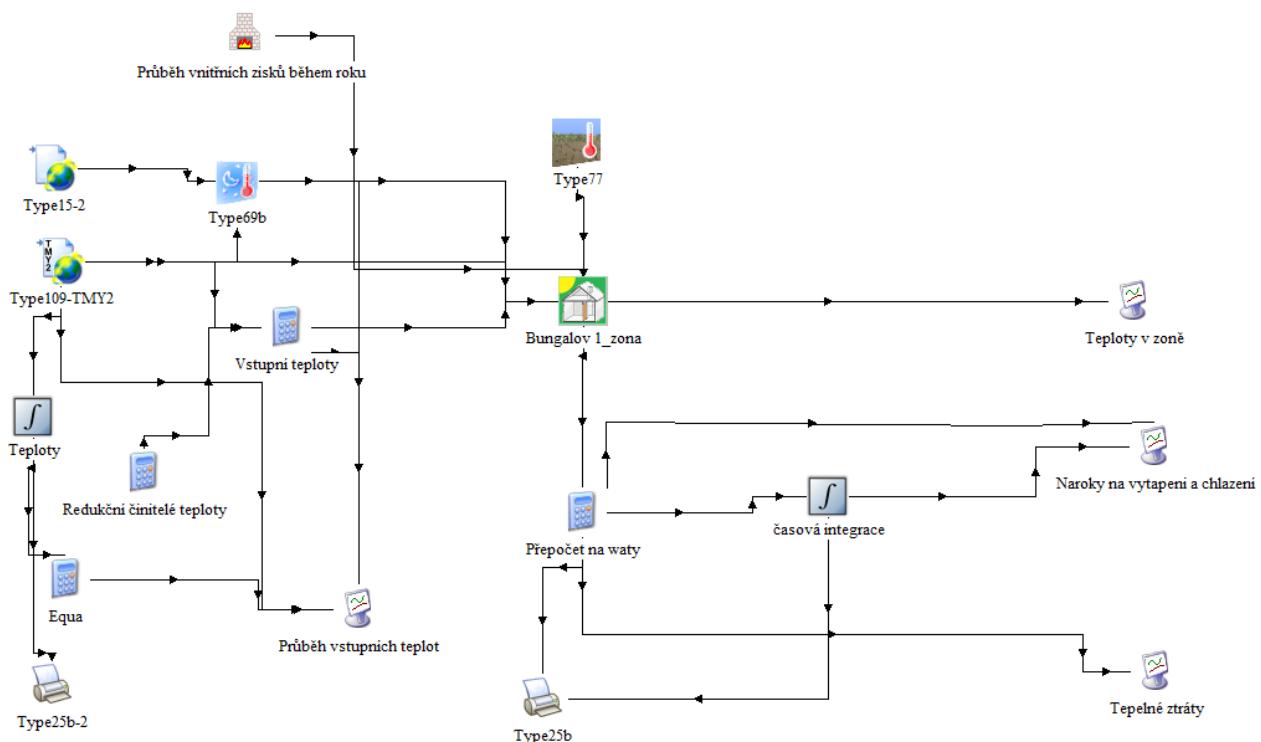
Vnitřní zisky od osob, osvětlení a vybavení jsou stejné jako u předchozích modelů. Protože používáme hodinové vstupy, uvažujeme 100% účinnost využití tepelných ztrát a zisků podle vztahů 3.13 a 3.19.

Model budovy

Model budovy je stejný jako v předchozím případě.

Výpočetní model

Výpočetní model se od předchozího liší v tom, že jsou použity vstupy pro klimatická data, konkrétně typ 15-2 a typ 109, dále se vnitřní zisky mění automaticky v závislosti na měsíci, tak abychom mohli simulovat průběh pro celý rok (obr. 6.4).



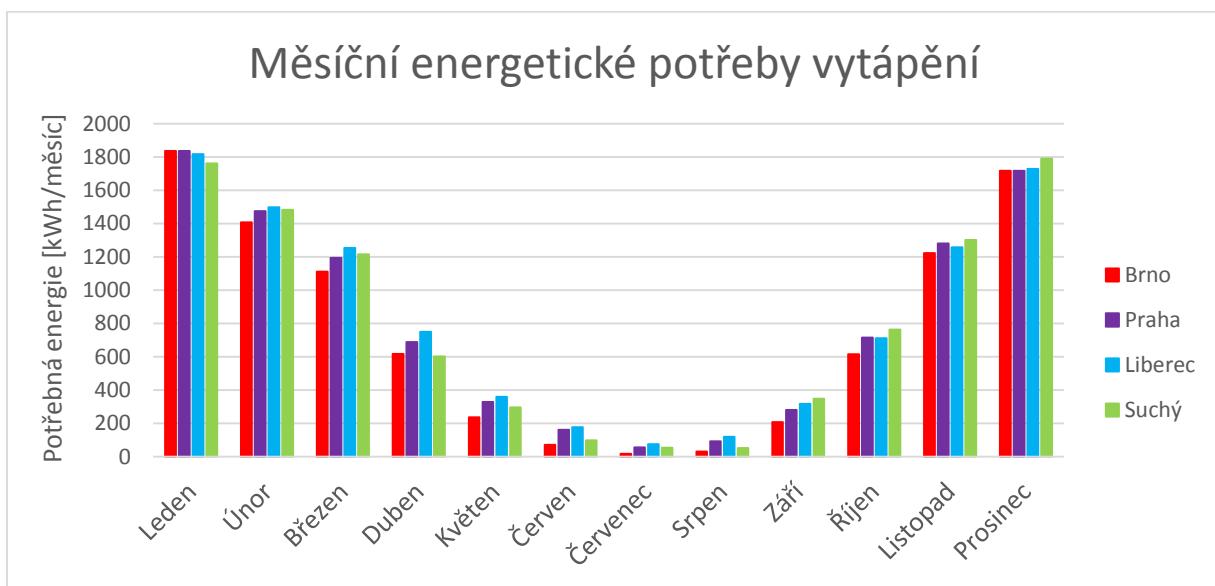
Obr. 6.4 – Schéma výpočetního modelu bungalowu č. 3 v programu TRNSYS

Výsledky

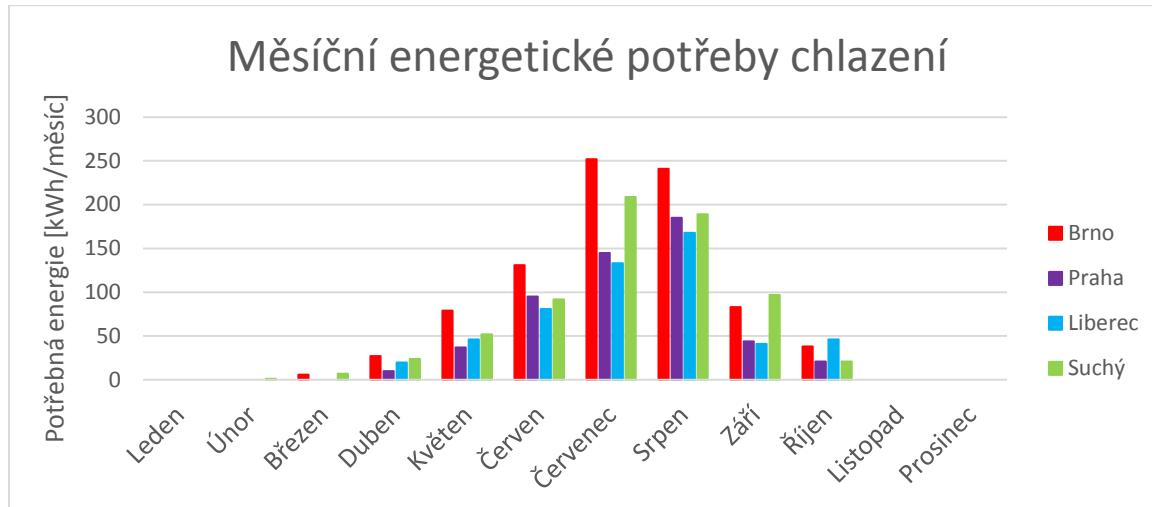
Vedle energetických potřeb vytápění a chlazení vyhodnocujeme i solární zisky, abychom mohli určit podíl vlivu rozdílné teploty a slunečního záření na konečné výsledky.

Tab. 6.8 - Výsledné solární zisky a energetické potřeby na vytápění a chlazení pro model č. 3

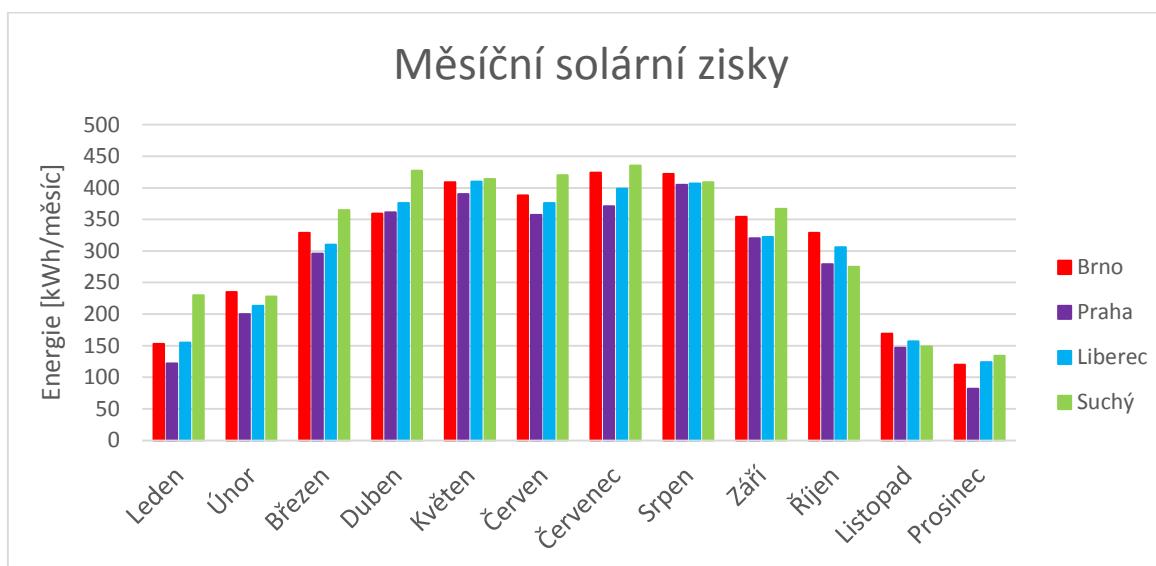
Měsíc	Brno			Praha			Liberec			Suchý		
	Potřeba energie na vytápění [kWh]	Potřeba energie na chlazení [kWh]	Solární zisky [kWh]	Potřeba energie na vytápění [kWh]	Potřeba energie na chlazení [kWh]	Solární zisky [kWh]	Potřeba energie na vytápění [kWh]	Potřeba energie na chlazení [kWh]	Solární zisky [kWh]	Potřeba energie na vytápění [kWh]	Potřeba energie na chlazení [kWh]	Solární zisky [kWh]
Leden	1835	0	153	1836	0	122	1817	0	155	1760	0	230
Únor	1408	0	235	1475	0	200	1497	0	213	1483	0	228
Březen	1110	6	329	1194	0	296	1253	0	310	1215	0	365
Duben	616	27	359	688	10	361	750	20	376	601	24	427
Květen	237	79	409	329	37	390	360	46	410	295	52	414
Červen	71	131	388	161	95	357	176	81	376	97	92	420
Červenec	17	252	424	56	145	371	75	133	399	53	209	435
Srpen	31	241	422	92	185	405	119	168	407	52	189	409
Září	208	83	354	281	44	320	316	41	322	348	97	367
Říjen	614	38	329	714	21	279	711	46	306	763	21	275
Listopad	1223	0	169	1280	0	147	1258	0	157	1302	0	149
Prosinec	1717	0	120	1717	0	82	1729	0	124	1790	0	134
Celkem	9087	857	3691	9823	537	3330	10061	535	3555	9759	684	3853



Obr. 6.5 - Měsíční potřeby energie na vytápění pro jednotlivé lokality v modelu č. 3



Obr. 6.6 - Měsíční potřeby energie na chlazení pro jednotlivé lokality v modelu č. 3



Obr. 6.7 - Znázornění solárních zisků pro jednotlivé lokality u modelu č. 3

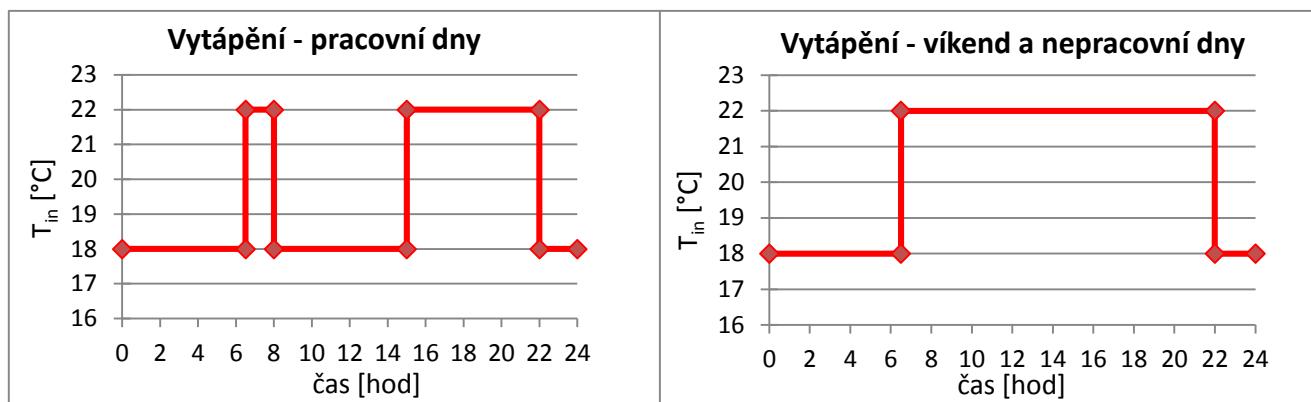
6.1.4 Výpočetní model bungalowu č. 4 s definovaným užíváním zóny

V předchozích výpočetních modelech byly veličiny charakterizující zónu převzaty z TNI 73031, a tudíž byly uvažovány jako konstantní. Nyní budeme tyto parametry považovat za proměnné v čase, v závislosti na předpokládaném provozu budovy.

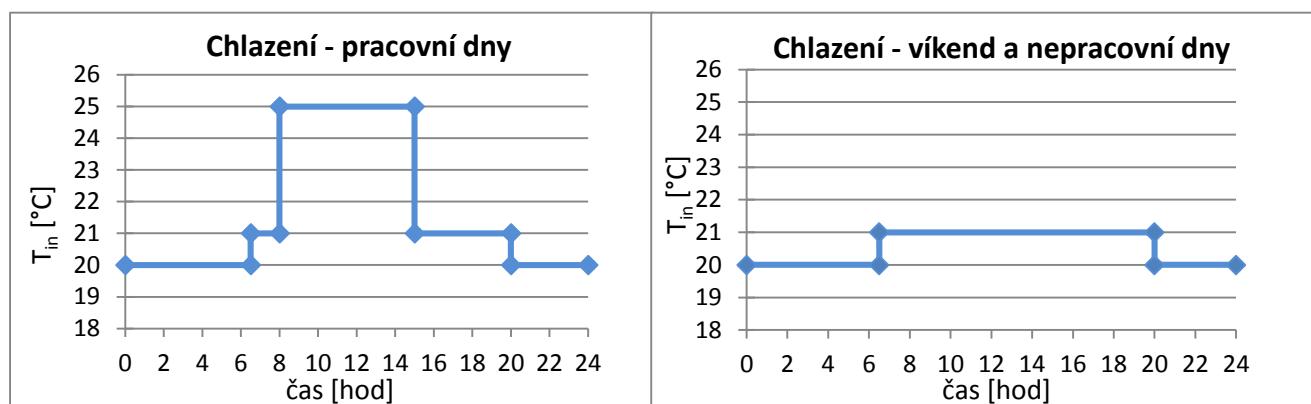
Smyslem této simulace je určit vliv této změny na výslednou potřebu energie na vytápění a chlazení.

Vstupní parametry

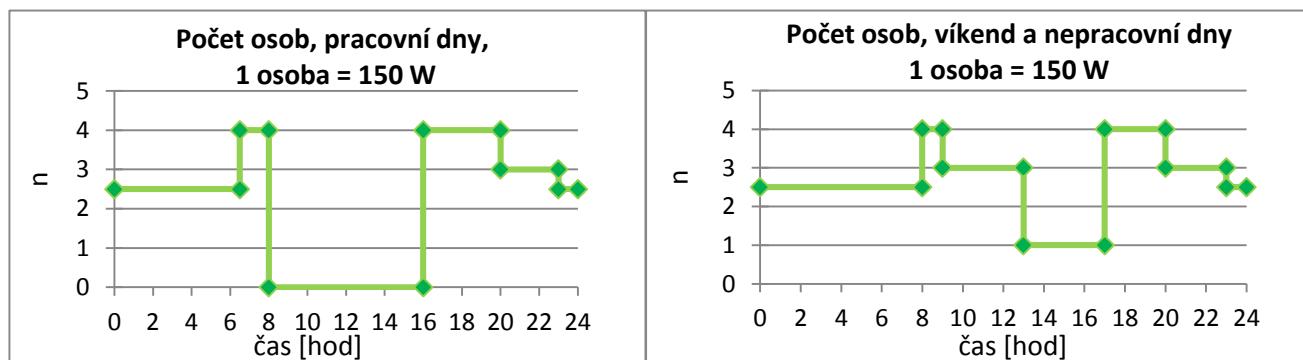
Klimatická data jsou stejná jak u modelu č. 3 (kap. 6.1.3) Vnitřní zisky od osob, osvětlení a vybavení včetně vnitřní minimální a maximální teploty se řídí pomocí tzv. řídicích profilů, které jsou sestaveny vzhledem k předpokládanému užívání zóny pro pracovní i nepracovní dny (víkendy a svátky). Konkrétní počet a pořadí těchto dnů bylo zvoleno pro rok 2012.



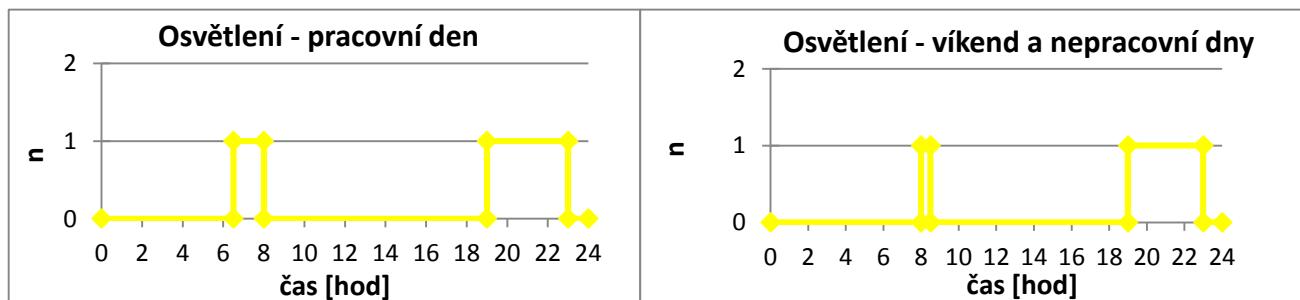
Obr. 6.8 - Řídicí profily vytápění zóny pro pracovní a nepracovní dny



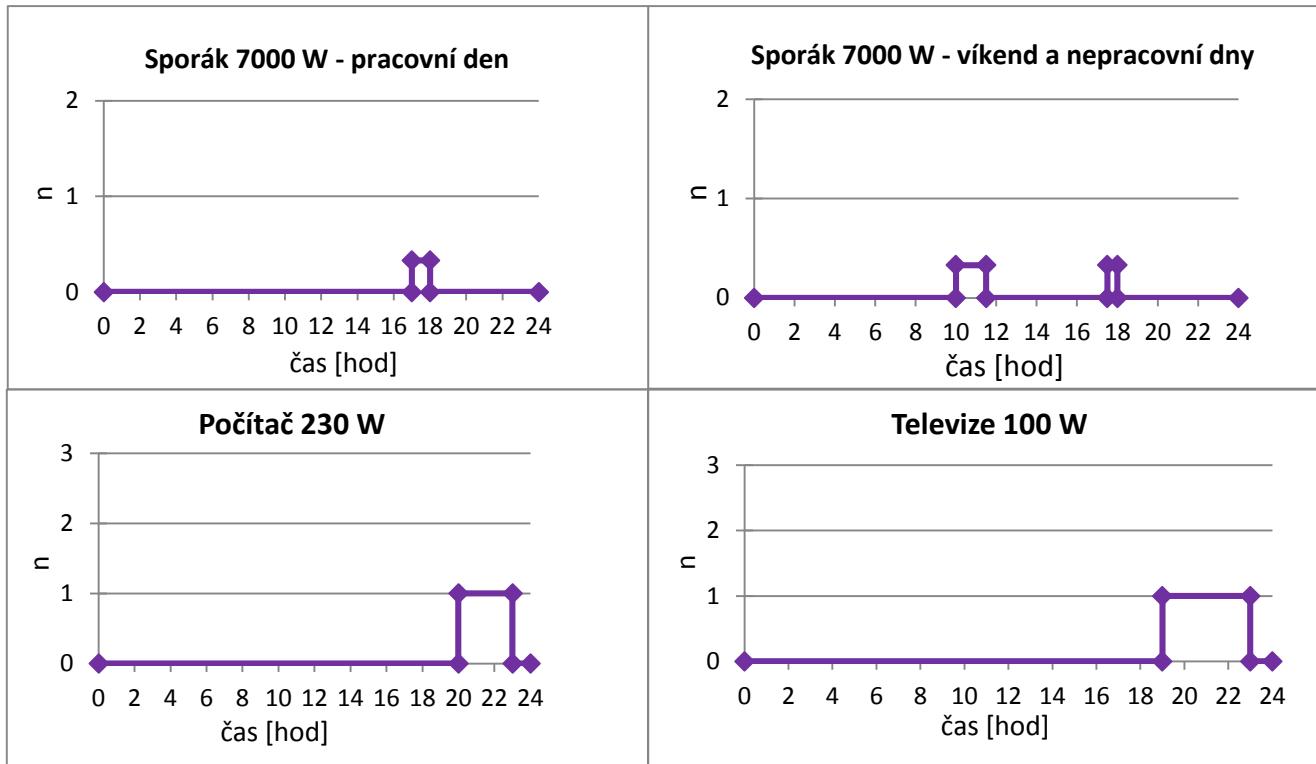
Obr. 6.9 - Řídicí profily chlazení zóny pro pracovní a nepracovní dny



Obr. 6.10 - Řídicí profily výskytu osob v zóně pro pracovní a nepracovní dny



Obr. 6.11 - Řídicí profily pro osvětlení v zóně pro pracovní a nepracovní dny



Obr. 6.12 - Řídící profily pro elektrospotřebiče

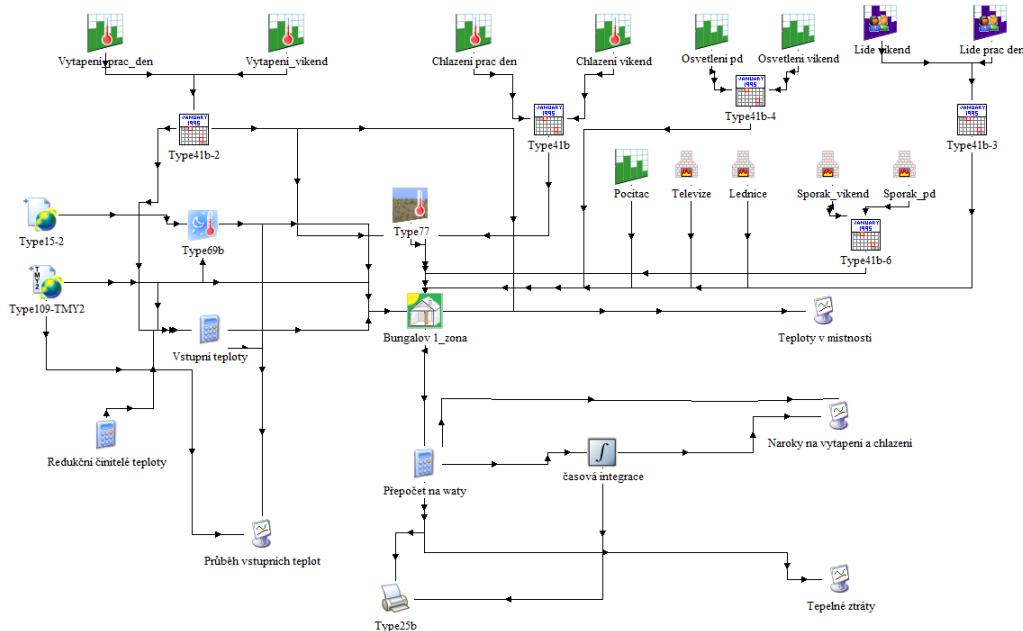
Dalším uvažovaným spotřebičem je lednice, u které je předpokládaný konstantní tepelný tok do zóny 25 W. U sporáku uvažujeme tepelný zisk 1/3 z výkonu.

Model budovy

Model budovy je stejný jako v předchozích případech.

Výpočetní model

Přibyla nové vstupy pro definování užívání zóny, viz řídící profily.



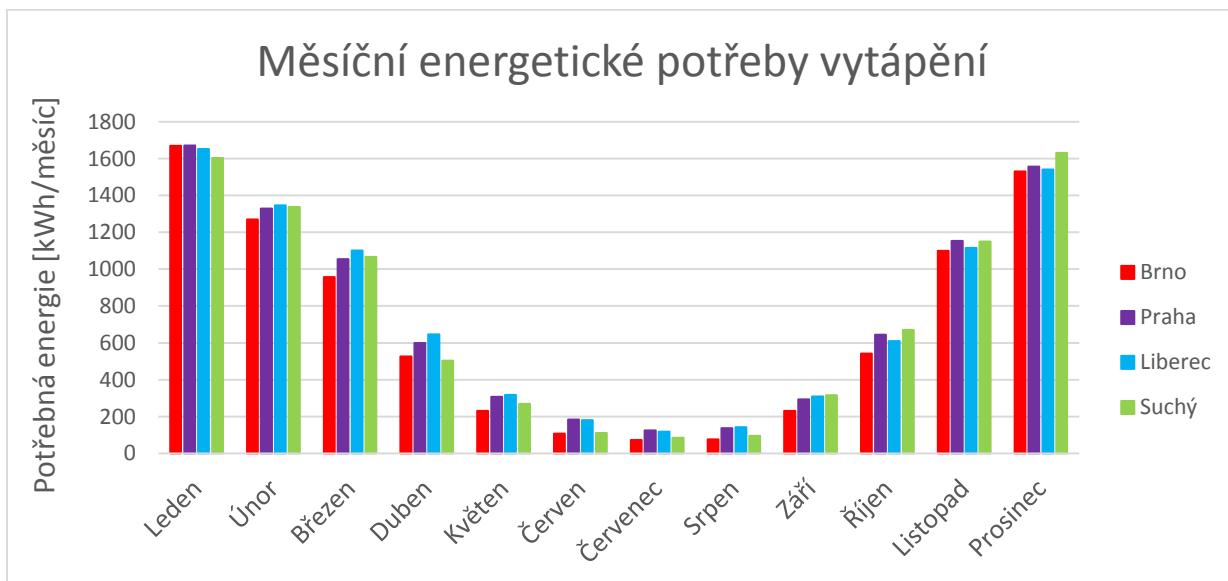
Obr. 6.13 – Schéma výpočetního modelu bungalovu č. 4 v programu TRNSYS

Výsledky

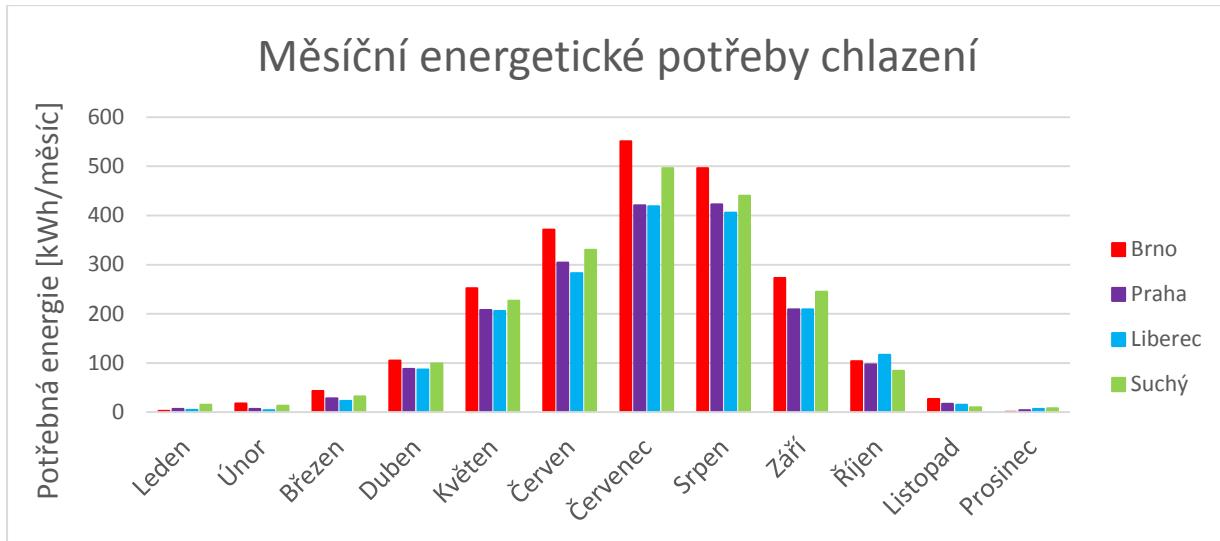
Protože používáme stejná klimatická data a totožný model budovy, solární zisky vychází stejně jako u modelu č. 3 (kap. 6.1.3). Jejich grafické znázornění můžete vidět na obr. 6.7.

Tab. 6.9 - Výsledné solární zisky a energetické potřeby na vytápění a chlazení pro model č. 4

Měsíc	Brno		Praha		Liberec		Suchý		
	Potřeba energie na vytápění [kWh]	Potřeba energie na chlazení [kWh]	Solární zisky [kWh]	Potřeba energie na vytápění [kWh]	Potřeba energie na chlazení [kWh]	Solární zisky [kWh]	Potřeba energie na vytápění [kWh]	Potřeba energie na chlazení [kWh]	
Leden	1670	0	153	1671	0	122	1651	0	155
Únor	1269	18	235	1328	0	200	1347	0	213
Březen	957	43	329	1054	28	296	1102	23	310
Duben	527	105	359	599	88	361	646	87	376
Květen	232	252	409	308	208	390	318	206	410
Červen	108	371	388	185	304	357	180	283	376
Červenec	74	551	424	125	421	371	119	419	399
Srpen	77	496	422	137	423	405	143	406	407
Září	231	273	354	294	209	320	310	209	322
Říjen	542	104	329	645	97	279	610	117	306
Listopad	1100	27	169	1154	17	147	1115	15	157
Prosinec	1531	0	120	1556	0	82	1540	0	124
Celkem	8318	2240	3691	9056	1795	3330	9081	1765	3555



Obr. 6.14 - Měsíční potřeby energie na vytápění pro jednotlivé lokality v modelu č. 4



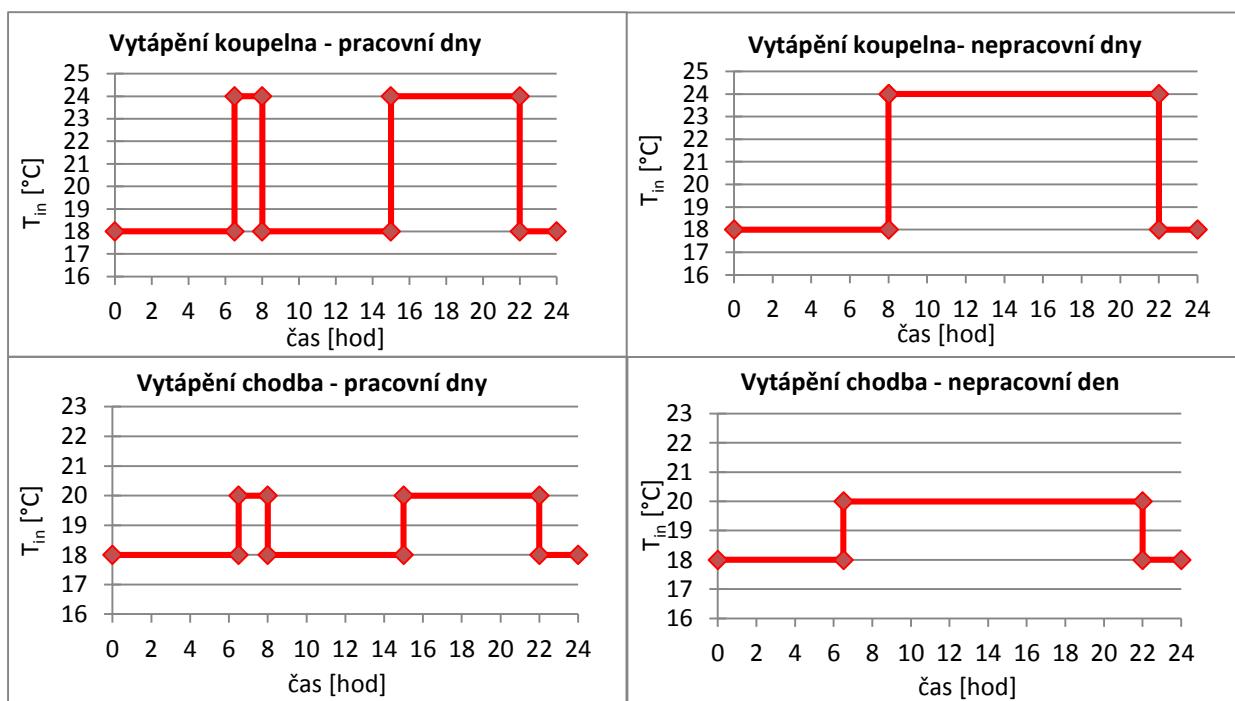
Obr. 6.15 - Měsíční potřeby energie na chlazení pro jednotlivé lokality v modelu č. 4

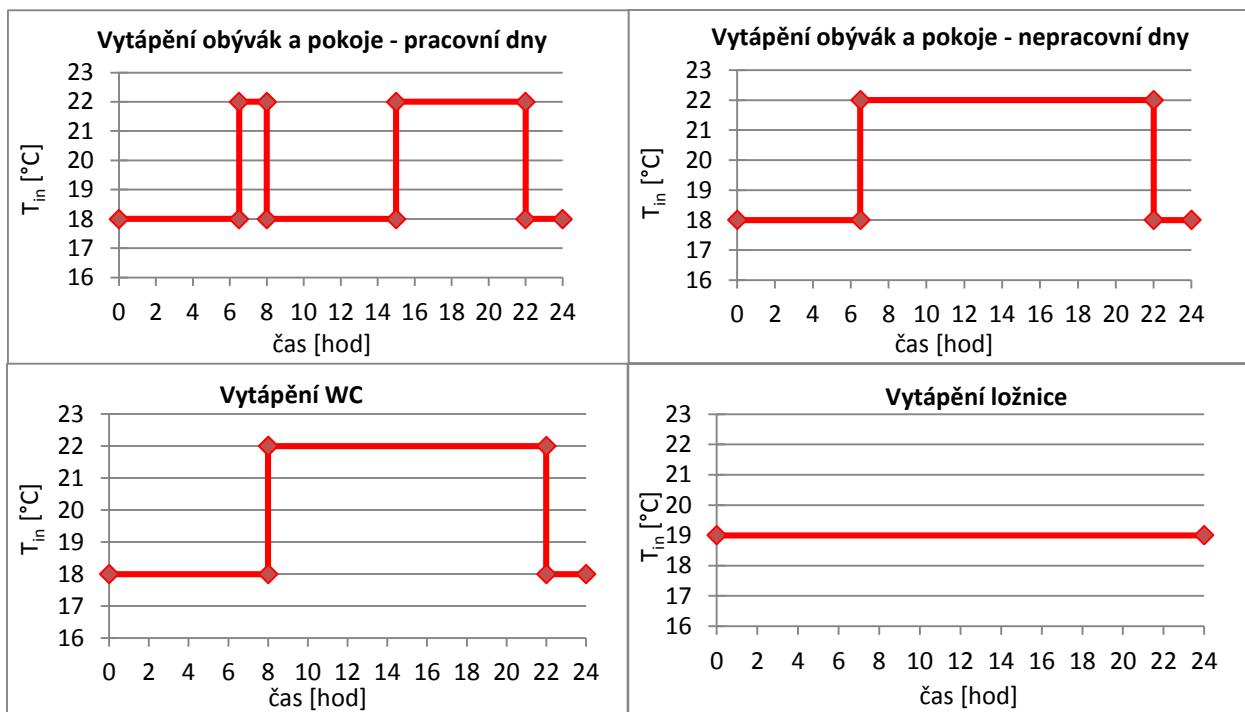
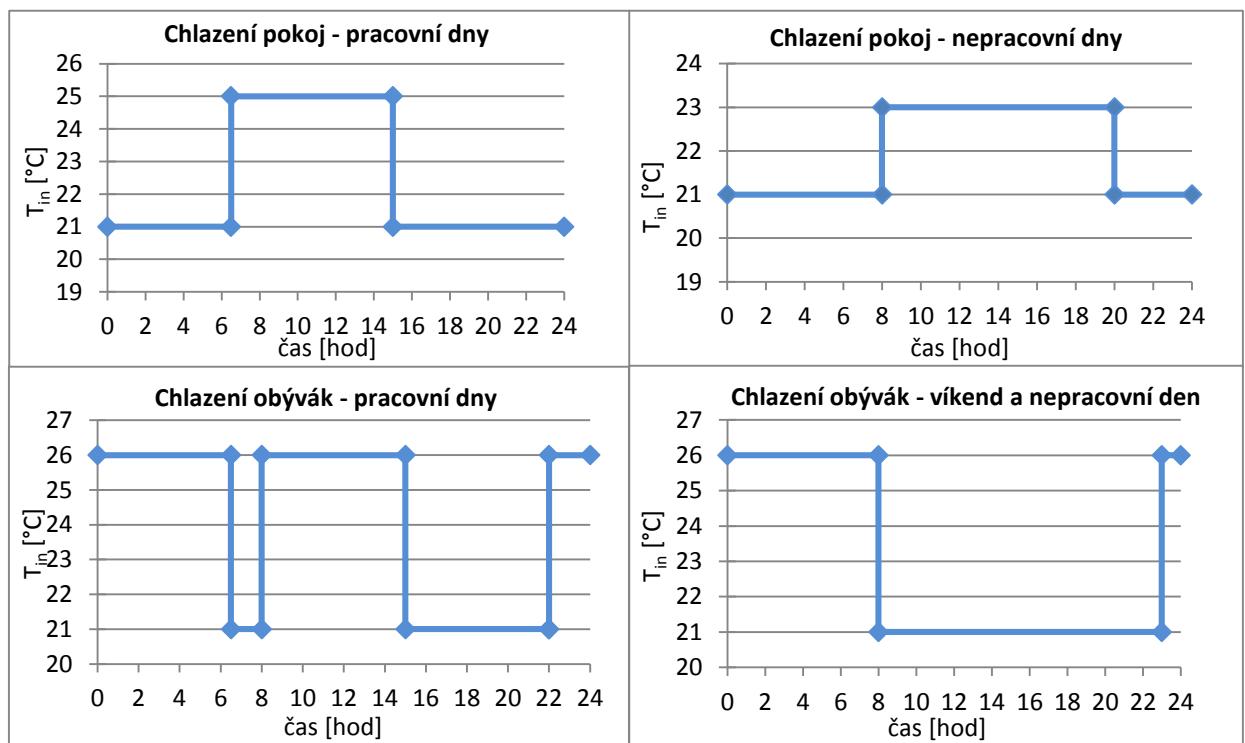
6.1.5 Vícezónový výpočetní model bungalovu (č. 5)

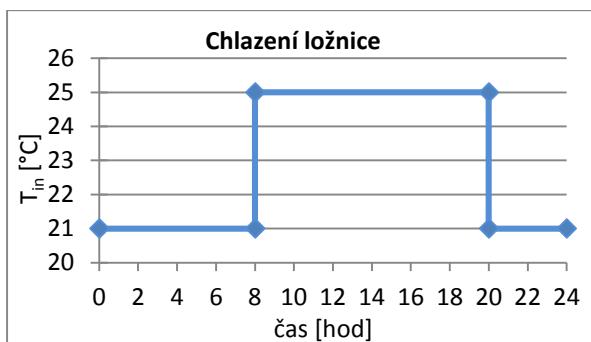
Vytváříme dynamickou simulaci s hodinovými vstupy a podrobným modelem budovy, kdy každá místnost představuje jednu zónu se specifickým charakterem užívání, teplotou a vnitřními zisky. Snahou je se co nejblíže přiblížit realitě.

Vstupní parametry

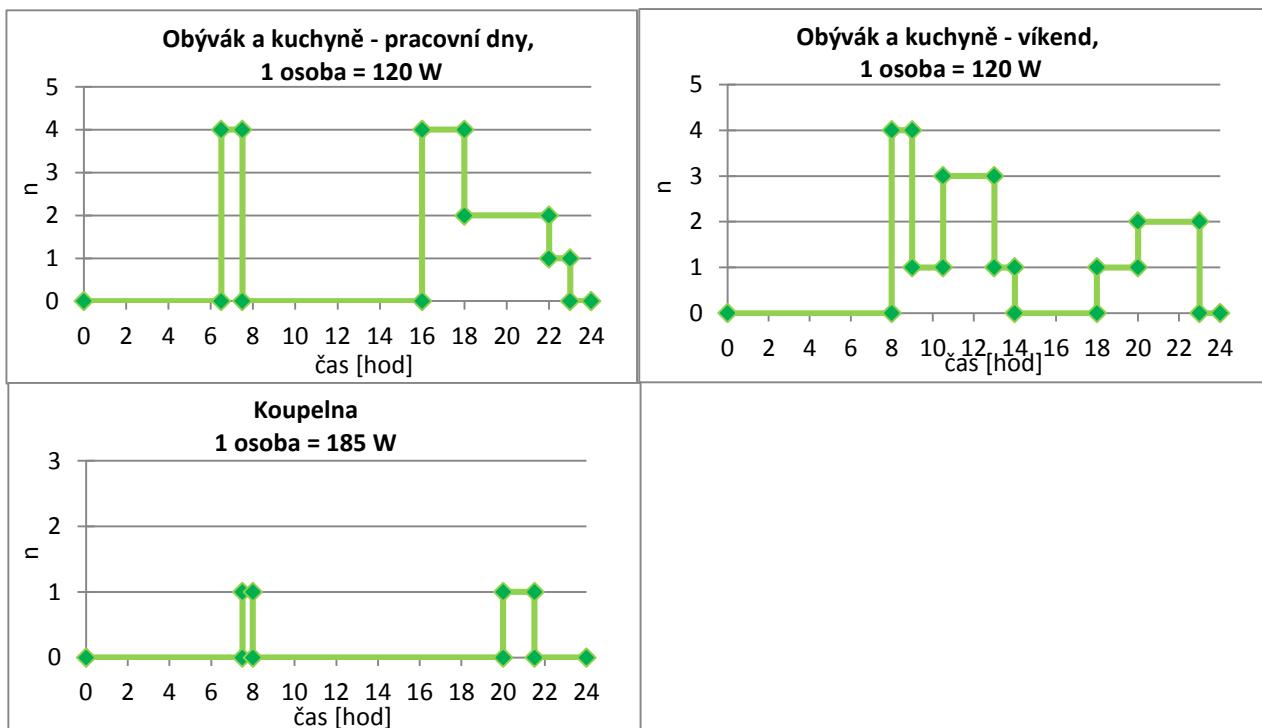
Klimatická data jsou shodná jako u modelů č. 3 a č. 4 (kap. 6.1.3 a 6.1.4). Vnitřní zisky od osob, osvětlení a vybavení včetně vnitřní minimální a maximální teploty jsou pro každou místnost specifikovány řídícími profily, obdobně jak bylo stanoveno v kapitole 6.1.4 pro celou zónu.



*Obr. 6.16 - Řídicí profily vytápění jednotlivých místností*



Obr. 6.17 - Řídicí profily chlazení jednotlivých místností pro pracovní a nepracovní dny



Obr. 6.18 - Řídicí profily určující počet osob v místnostech pro pracovní a nepracovní dny

Zapínání a vypínání osvětlení v jednotlivých místnostech udává tab. 6.10. Celkové tepelné zisky z osvětlení jsou nastaveny na 10 W/m², z toho 40 % je konvektivní podíl.

Tab. 6.10 - Osvětlení jednotlivých místností bungalowu v modelu č. 5

Místnost	typ dne	Ráno		Večer	
		od	do	od	do
ložnice	pracovní	6:00	6:30	22:00	22:30
	nepracovní	-	-	23:30	0:00
pokoj	pracovní	6:00	6:30	21:00	22:00
	nepracovní	8:30	9:00	23:30	0:00
pracovna	pracovní	-	-	19:00	22:00
	nepracovní	-	-	21:00	22:00
obývák	pracovní	-	-	20:00	22:00
	nepracovní	-	-	20:00	23:00
koupelna	pracovní i nepracovní	7:30	8:30	20:00	21:30
chodba	pracovní i nepracovní	6:30	8:00	18:00	21:30

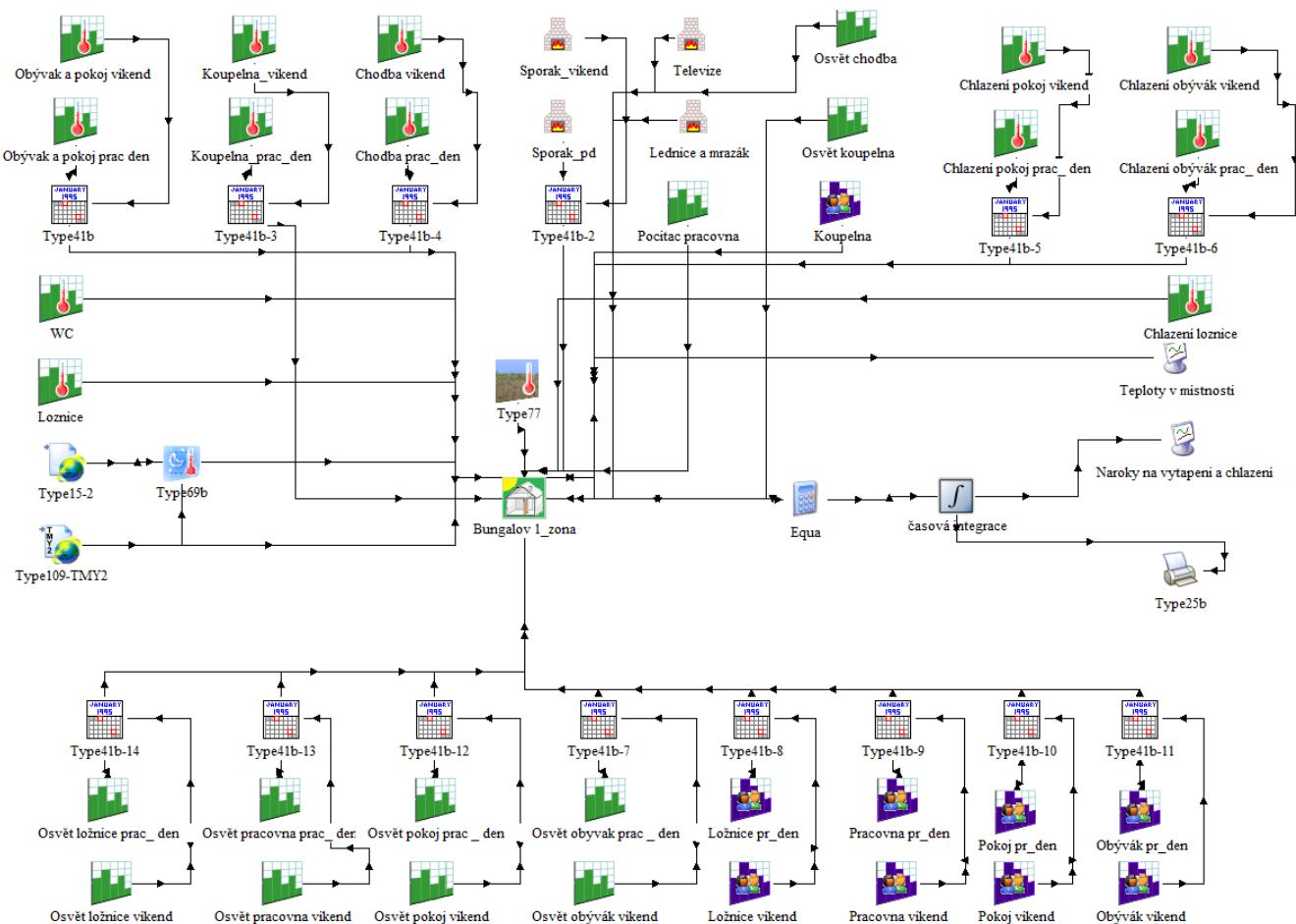
Tepelné zisky od spotřebičů jsou totožné jako u modelu č. 4 (kap. 6.1.4) s tím, že sporák, lednice a televize jsou umístěny v kuchyni, která je spojená s obývákem. Počítač se nachází v pracovně.

Model budovy

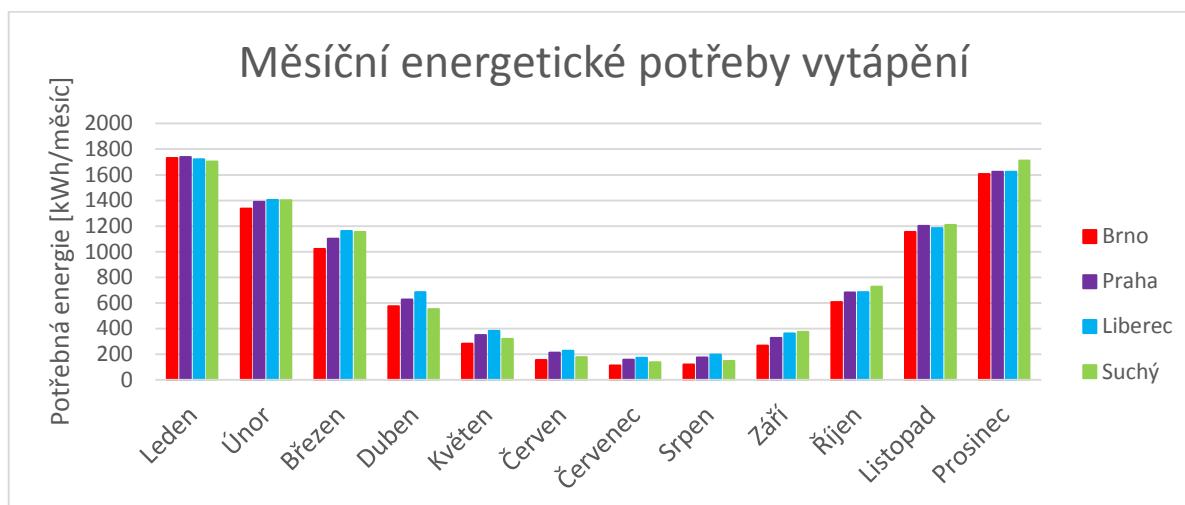
Je použit multizonální typ budovy 56 b. Každá místnost včetně garáže a půdního prostoru je definována jako samostatná zóna a je uvažována jejich vzájemná interakce. Tím je myšleno vzájemné tepelné ovlivňování (výměna tepla prostupem mezi společnými vnitřními konstrukcemi a vzájemná výměna vzduchu). Z tohoto důvodu už není nutné přepočítávat teploty nevytápěných prostor přes činitele teploty, tak jako v minulých případech.

Výpočetní model

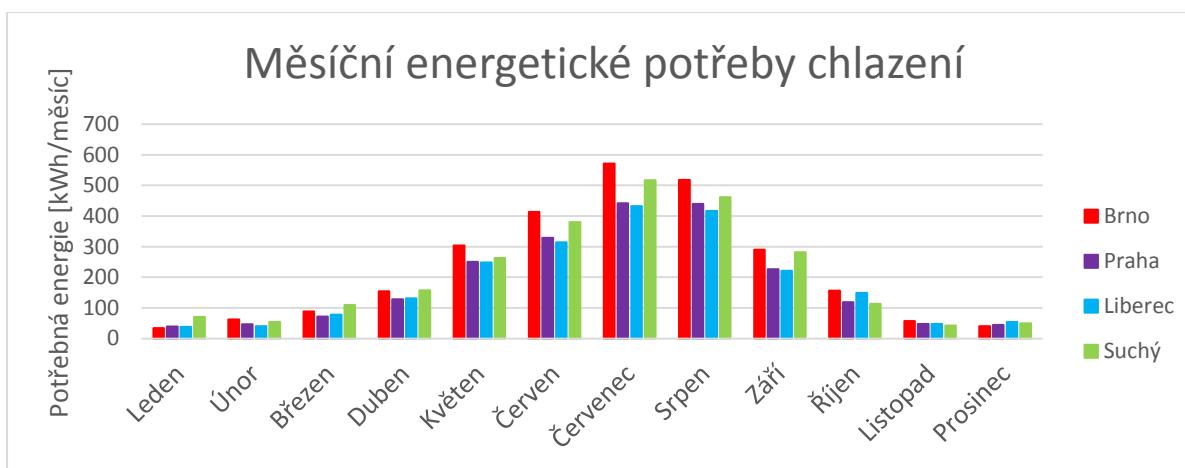
Výpočetní model zahrnuje vstupy pro veličiny charakterizující jednotlivé místnosti.



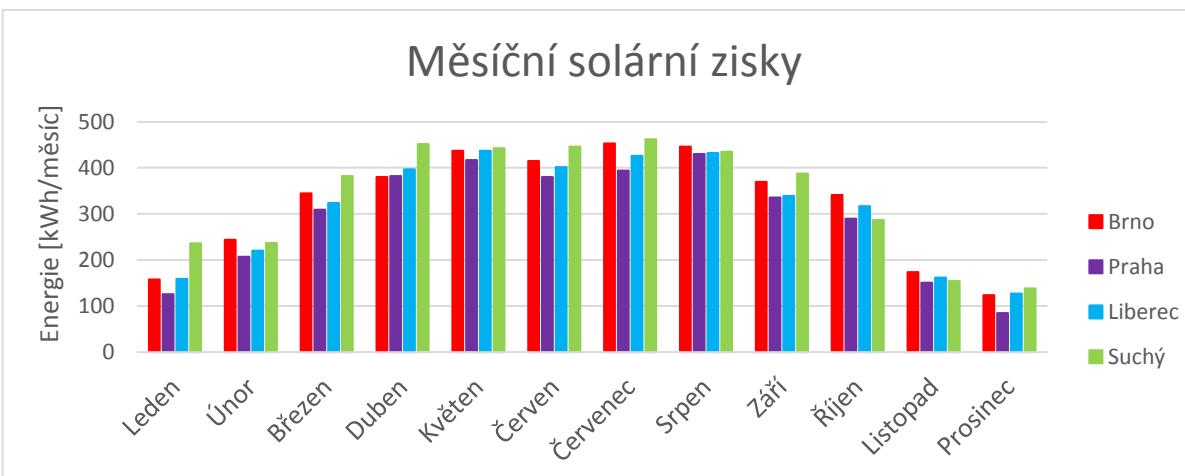
Obr. 6.19 – Schéma výpočetního modelu č. 5 v programu TRNSYS

Výsledky

Obr. 6.20 - Měsíční potřeby energie na vytápění pro jednotlivé lokality v modelu č.5



Obr. 6.21 - Měsíční potřeby energie na chlazení pro jednotlivé lokality v modelu č. 5



Obr. 6.22 - Znázornění solárních zisků pro jednotlivé lokality u modelu č. 5

Tab. 6.11 - Výsledné solární zisky a energetické potřeby na vytápění a chlazení pro model č. 5

Měsíc	Brno			Praha			Liberec			Suchý		
	Potřeba energie na vytápění	Potřeba energie na chlazení	Solární zisky	Potřeba energie na vytápění	Potřeba energie na chlazení	Solární zisky	Potřeba energie na vytápění	Potřeba energie na chlazení	Solární zisky	Potřeba energie na vytápění	Potřeba energie na chlazení	Solární zisky
	[kWh]			[kWh]			[kWh]			[kWh]		
Leden	1732	34	158	1738	40	126	1722	39	159	1703	71	236
Únor	1337	63	244	1388	47	207	1404	41	220	1401	54	237
Březen	1022	89	345	1102	72	309	1163	78	324	1154	110	382
Duben	574	155	380	628	128	382	684	132	397	553	158	452
Květen	283	304	437	350	251	417	384	249	437	320	263	443
Červen	155	414	415	212	329	380	229	314	402	178	380	446
Červenec	113	572	453	159	442	394	172	433	426	138	517	462
Srpen	120	518	446	175	440	430	198	417	432	148	462	435
Září	268	290	370	328	227	336	363	221	339	376	282	388
Říjen	608	157	341	683	119	290	685	149	317	728	114	287
Listopad	1154	57	174	1201	48	151	1185	48	162	1209	43	154
Prosinec	1607	41	124	1624	45	85	1625	54	127	1711	50	138
Celkem	8973	2694	3887	9588	2188	3507	9814	2175	3742	9619	2504	4060

6.2 Moderní novostavba RD

Postup při vytváření jednotlivých simulací modelů moderní novostavby RD (tab. 6.1) je analogický jako u bungalowu (kapitola 6.1) s použitím vstupních hodnot charakterizujících tuto budovu.

6.2.1 Výpočetní model novostavby RD č. 1 vycházející z metodiky výpočtu NKN II

Vstupní parametry

Vstupní parametry vycházejí z tab. 4.6 a z TNI 730331.

Tab. 6.12 - Vstupní hodnoty pro model novostavby RD č. 1

provozní doba užívání zóny	24 hod
provozní doba vytápění objektu	24 hod
vnitřní výpočtová teplota pro režim vytápění	20 °C
provozní doba chlazení objektu	24 hod
vnitřní výpočtová teplota pro režim chlazení	22 °C
minimální tok větracího vzduchu	0,3 1/hod
tepelné zisky od osob	131,25 W
tepelné zisky z vybavení	75 W

Vstupní hodnoty, jenž se mění v závislosti na měsíci, jsou uvedeny v tab. 6.13.

Tab. 6.13 - Měsíční vstupní hodnoty pro model novostavby RD č. 1

		Leden	Únor	Březen	Duben	Květen	Červen	Červenec	Srpna	Září	Rýjen	Listopad	Prosinec
Počet dnů	Den	744	672	744	720	744	720	744	744	720	744	720	744
Teplota ven.	°C	-1,3	-0,1	3,7	8,1	13,3	16,1	18	17,9	13,5	8,3	3,2	0,5
Osvětlení	W	48,8	40,1	33,4	27,3	22,5	20,9	20,9	22,5	27,9	33,1	39,8	48,2
Solár. zisky	W	511,4	906,2	1334,6	1856,5	2034,2	2048,6	1939,7	1998,7	1505	1202	683	419
Stupeň využit. tepel. zisků	-	1,00	0,99	0,93	0,74	0,44	0,26	0,14	0,14	0,54	0,87	0,99	1,00

Model budovy

Tepelně technické vlastnosti obálky budovy vychází z tab. 4.6. Vliv tepelné akumulace neuvažujeme. Celkový součinitel prostupu tepla oken U je nastaven tak, aby zahrnoval všechny mechanismy přestupu tepla a zároveň odpovídal U_w dle tab. 4.7.

Výpočetní model

Výpočetní model je stejný jako v kapitole 6.1.1, viz obr. 6.1. Vstupní hodnoty vychází z tab. 6.12 a tab. 6.13. Redukční činitel teploty je nastaven podle tab. 5.18.

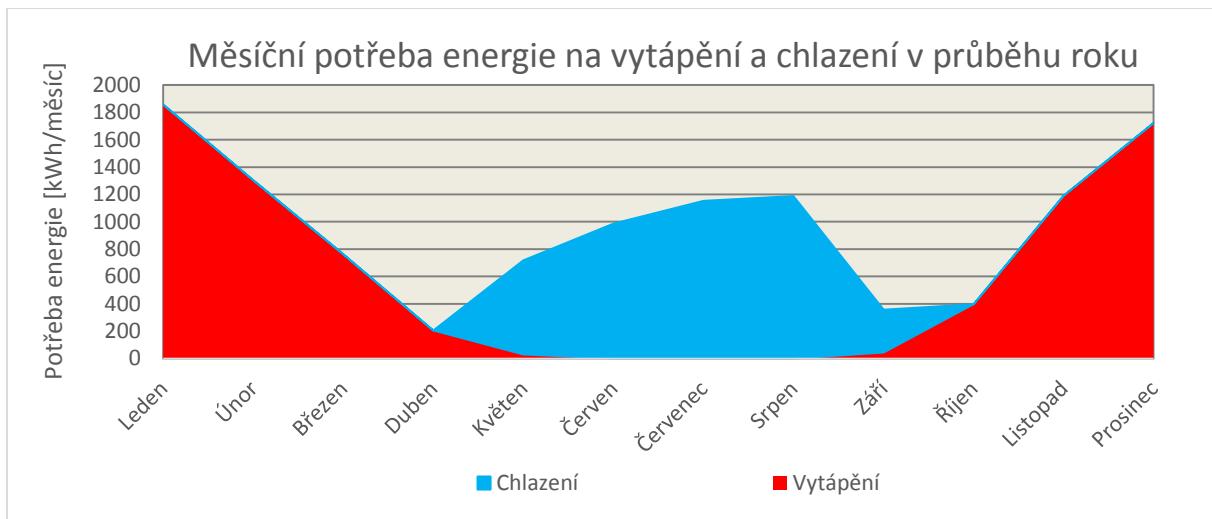
Výsledky

Tab. 6.14 - Výsledky energetického chování modelu moderní novostavby RD č. 1

Měsíc	Tepelná ztráta prostupem včetně radiace	Tepelná ztráta větráním (infiltrací)	Tepelná ztráta radiací	Potřebný dodávaný tepelný tok do místnosti	Potřeba energie na vytápení	Potřebný oddebíraný tepelný tok z místnosti	Potřeba energie na chlazení	Teplota v místnosti
	[W]	[W]	[W]	[kW]	[kWh]	[kW]	[kWh]	[°C]
Leden	2504	757	51	2,496	1858	0	0	20
Únor	2363	714	49	1,939	1304	0	0	20
Březen	1916	579	41	1,026	763	0	0	20
Duben	1399	423	31	0,284	205	0	0	21,7
Květen	788	238	18	0,039	29	0,929	690	22
Červen	459	139	11	0,012	0	1,37	986	22
Červenec	235	71	6	0,005	0	1,552	1154	22
Srpna	247	75	6	0,005	0	1,597	1188	22
Září	764	231	18	0,061	44	0,436	313	22
Říjen	1375	416	31	0,533	397	0	0	20
Listopad	1975	597	42	1,653	1191	0	0	20
Prosinec	2292	693	48	2,313	1722	0	0	20

Tab. 6.15 - Celková návrhová tepelná ztráta objektu v modelu novostavby RD č. 1

Návrhová teplota dle umístění objektu	Celk. návrhová tepelná ztráta	Ztráta větráním	Prostup včetně radiace	Radiace okny	Radiace stěnami
T = -15 °C	5,36 kW	1244 W	4116 W	0,3 W	73,65 W

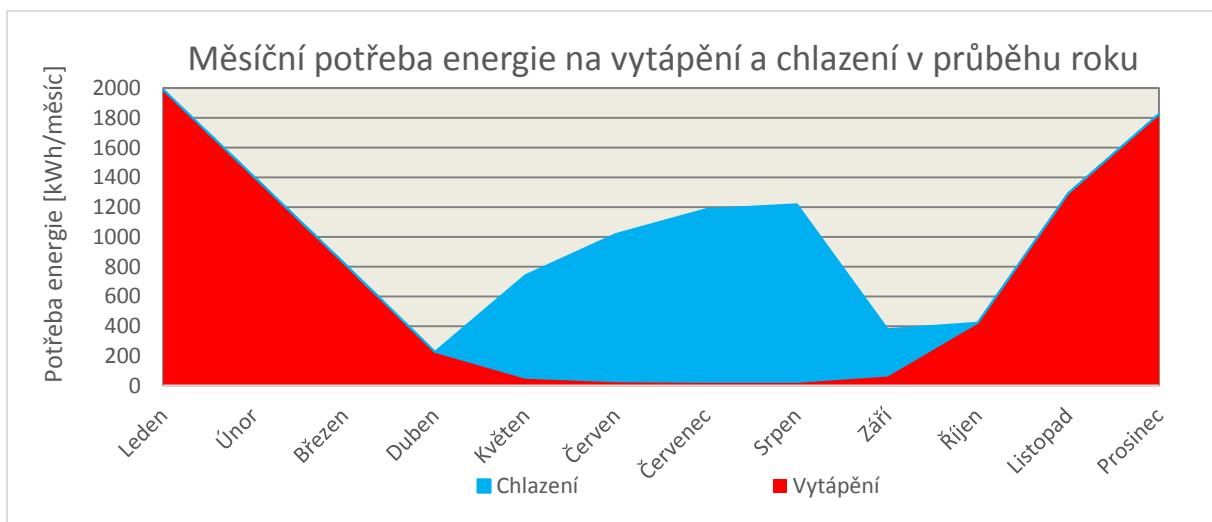


Obr. 6.23 - Měsíční potřeba energie na vytápění a chlazení pro model novostavby RD č. 1

6.2.2 Výpočetní model novostavby RD č. 2

Nyní uvažujeme $U = U_w$ dle tab. 4.7, jako součinitele, který postihuje jen kondukci a konvekci. Velikost tepelných úniků radiací není zahrnuta v U_w a je doložitávána zvlášť. Počítáme také s tepelnou akumulací ve hmotě objektu.

Výsledky



Obr. 6.24 - Měsíční potřeba energie na vytápění a chlazení pro model novostavby RD č. 2

Tab. 6.16 - Výsledky energetického chování modelu novostavby RD č. 2

Měsíc	Tepelná ztráta prostupem včetně radiace	Tepelná ztráta větráním (infiltrací)	Tepelná ztráta radiací	Potřebný dodávaný tepelný tok do místnosti	Potřeba energie na vytápění	Potřebný oddebírání tepelný tok z místnosti	Potřeba energie na chlazení	Teploplota v místnosti
	[W]	[W]	[W]	[kW]	[kWh]	[kW]	[kWh]	[°C]
Leden	2673	757	336	2,666	1990	0	0	20
Únor	2504	714	317	2,08	1406	0	0	20
Březen	1976	579	256	1,085	821	0	0	20
Duben	1409	423	191	0,291	228	0	0	21,5
Květen	789	238	113	0,037	52	0,926	689	22
Červen	452	139	68	0,003	30	1,375	990	22
Červenec	222	71	35	0	24	1,563	1163	22
Srpen	234	75	37	0,008	24	1,608	1196	22
Září	765	231	110	0,059	67	0,433	312	22
Říjen	1385	416	188	0,542	422	0	0	20
Listopad	2044	597	264	1,722	1294	0	0	20
Prosinec	2419	693	307	2,44	1825	0	0	20

Tab. 6.17 - Celková návrhová tepelná ztráta objektu v modelu novostavby RD č. 2

Návrhová teplota dle umístění objektu	Cel. návrhová tepelná ztráta	Ztráta větráním	Prostup včetně radiace	Radiace okny	Radiace stěnami
T = -15 °C	5,887 kW	1244 W	4643 W	451,1 W	72,98 W

6.2.3 Výpočetní model novostavby RD č. 3, vliv podrobných klimatických údajů

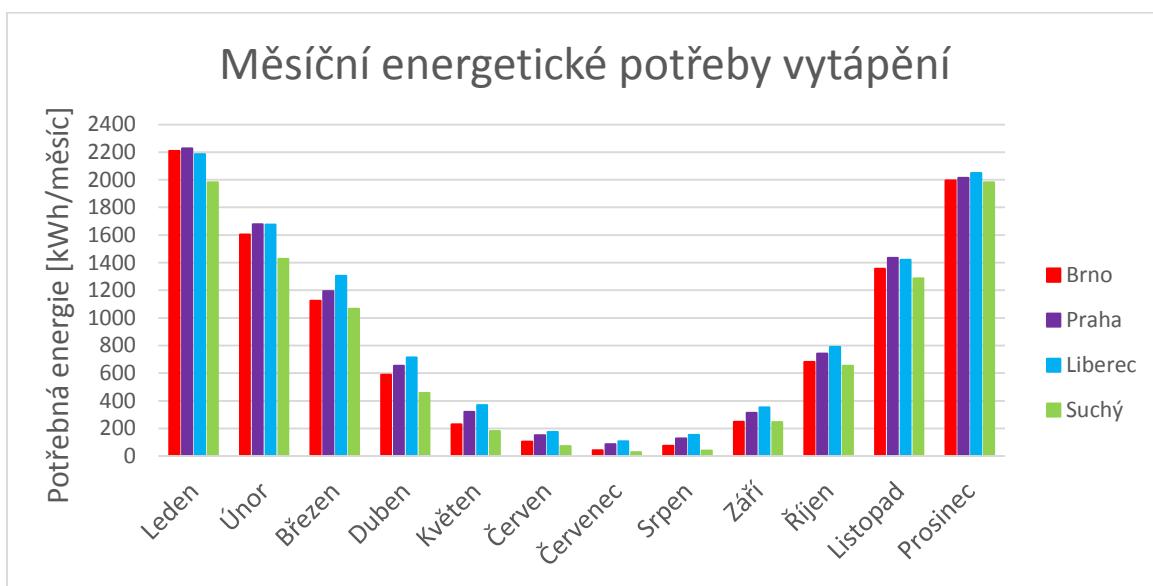
Vstupní parametry

Používáme stejná klimatická data jako v kapitole 6.1. Uvažujeme 100% účinnost využití tepelných ztrát a zisků.

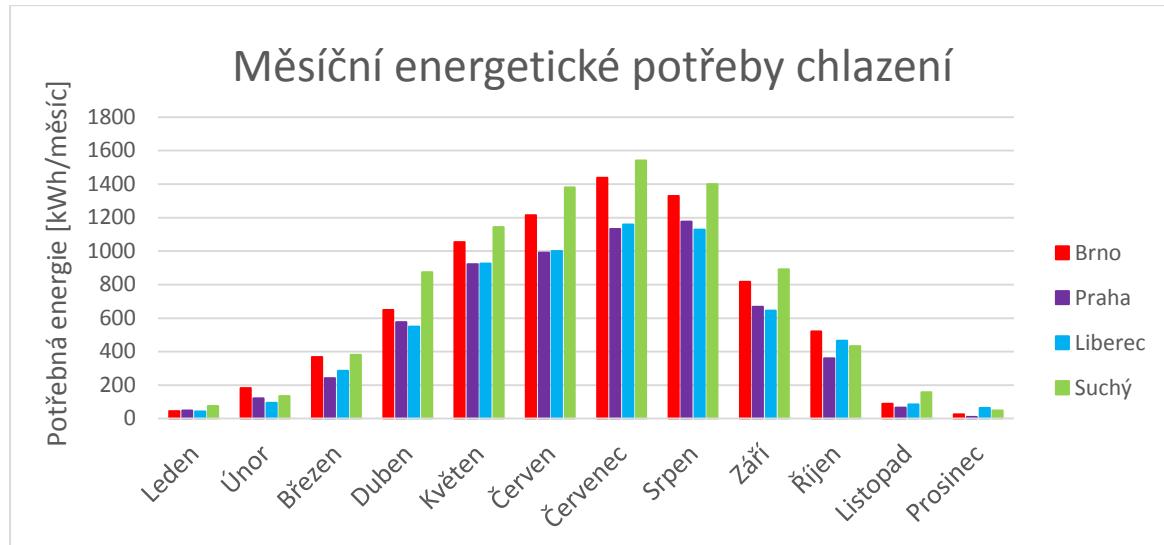
Výsledky

Tab. 6.18 - Výsledné solární zisky a energetické potřeby na vytápění a chlazení pro model č. 3

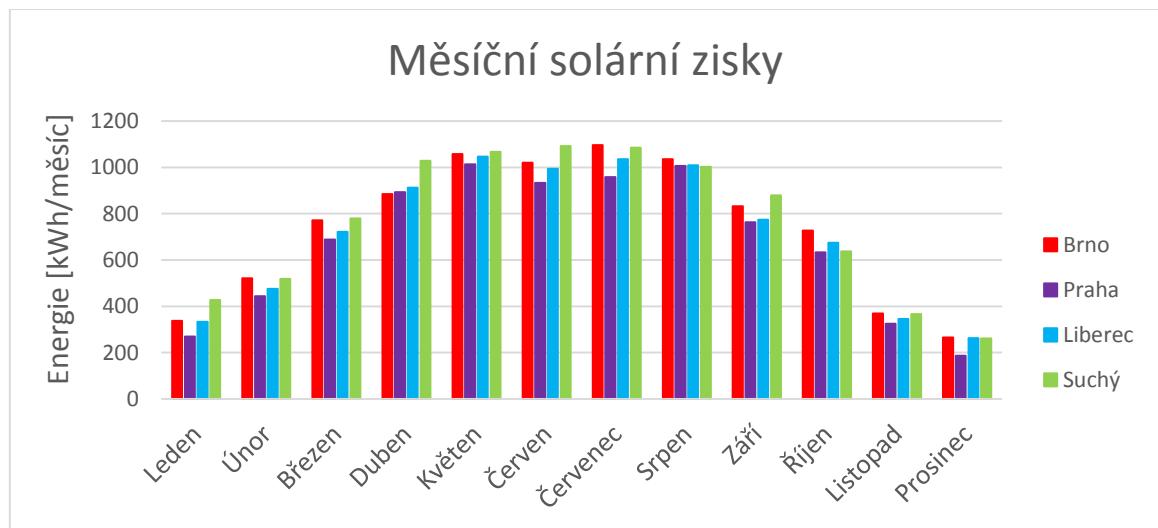
Měsíc	Brno			Praha			Liberec			Blansko		
	Potřeba energie na vytápění [kWh]	Potřeba energie na chlazení [kWh]	Solární zisky [kWh]	Potřeba energie na vytápění [kWh]	Potřeba energie na chlazení [kWh]	Solární zisky [kWh]	Potřeba energie na vytápění [kWh]	Potřeba energie na chlazení [kWh]	Solární zisky [kWh]	Potřeba energie na vytápění [kWh]	Potřeba energie na chlazení [kWh]	Solární zisky [kWh]
Leden	2208	44	337	2228	48	270	2186	42	333	1982	75	427
Únor	1605	182	521	1679	121	444	1676	94	476	1429	135	519
Březen	1125	368	771	1193	241	689	1306	286	722	1067	382	780
Duben	590	649	885	655	577	893	713	549	912	458	875	1029
Květen	230	1054	1058	319	922	1014	369	926	1046	181	1144	1068
Červen	104	1214	1021	150	991	933	174	1001	994	72	1380	1092
Červenec	43	1439	1096	86	1133	958	108	1160	1036	29	1541	1085
Srpen	74	1330	1036	127	1176	1006	154	1128	1010	40	1400	1003
Září	248	817	832	313	667	763	352	645	774	245	892	880
Říjen	682	520	727	741	361	633	790	465	675	655	433	637
Listopad	1356	88	369	1435	65	325	1421	85	346	1286	157	367
Prosinec	1996	26	265	2015	10	187	2048	64	263	1982	48	262
Celkem	10261	7731	8918	10941	6312	8115	11297	6445	8587	9426	8462	9149



Obr. 6.25 - Měsíční potřeby energie na vytápění pro jednotlivé lokality v modelu č. 3



Obr. 6.26 - Měsíční potřeby energie na chlazení pro jednotlivé lokality v modelu č. 3



Obr. 6.27 - Znázornění solárních zisků pro jednotlivé lokality u modelu č. 3

6.2.4 Výpočetní model novostavby RD č. 4 s definovaným užíváním zóny

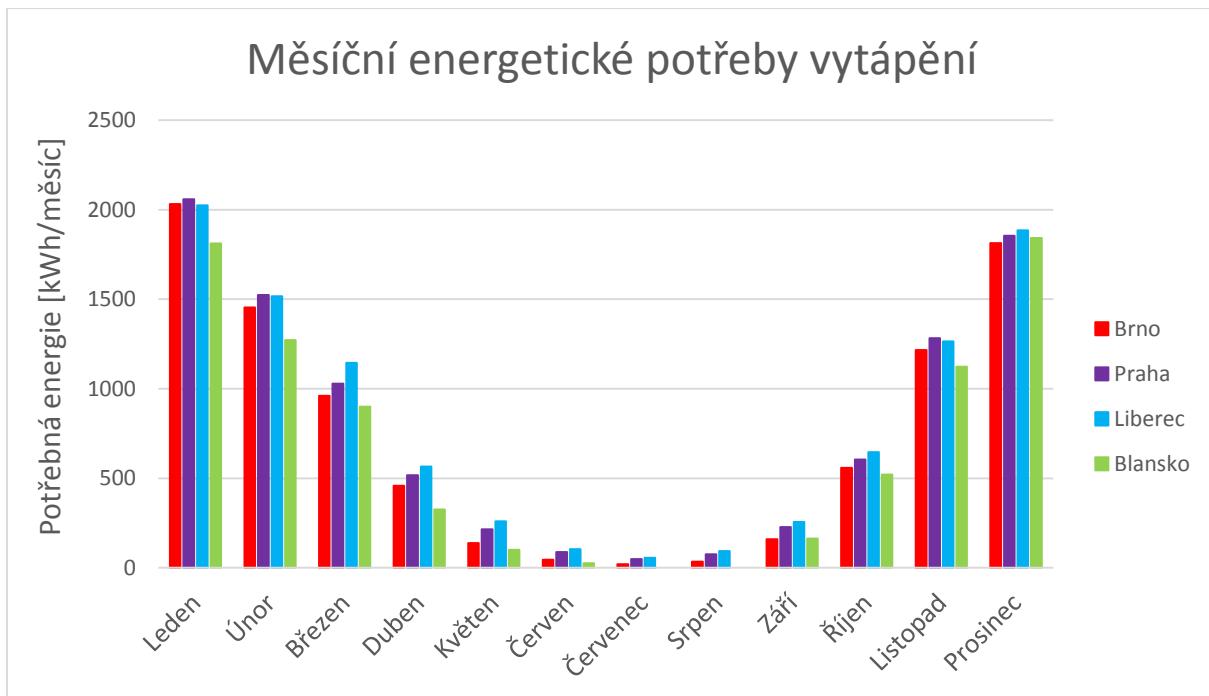
Vstupní parametry

Vnitřní zisky od osob, osvětlení a vybavení včetně vnitřní minimální a maximální teploty jsou dány řídicími profily, které jsou stejné jako u modelu bungalovu č. 4 (kap. 6.1.4 obr. 6.8 - 6.12). Průběh pracovních a nepracovních dnů je nastaven také pro rok 2012.

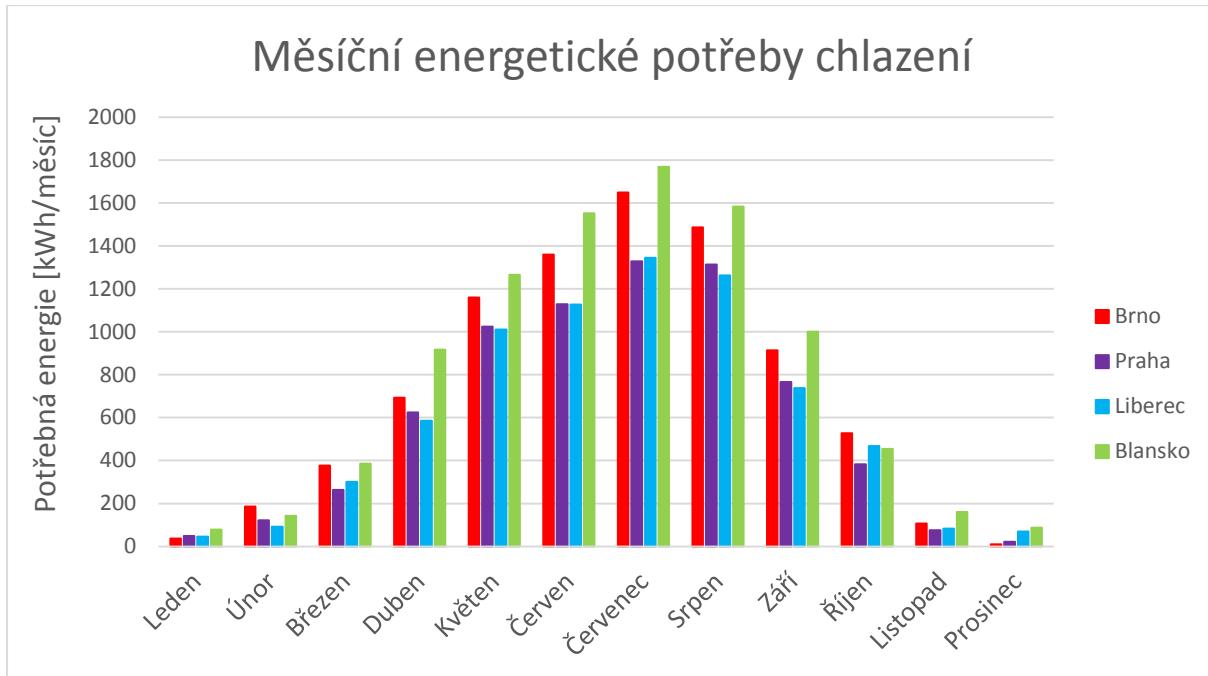
Výsledky

Tab. 6.19 - Výsledné solární zisky a energetické potřeby na vytápění a chlazení pro model č. 4

Měsíc	Brno		Praha		Liberec		Blansko	
	Potřeba energie na vytápění [kWh]	Potřeba energie na chlazení [kWh]	Solární zisky [kWh]	Potřeba energie na vytápění [kWh]	Potřeba energie na chlazení [kWh]	Solární zisky [kWh]	Potřeba energie na vytápění [kWh]	Potřeba energie na chlazení [kWh]
Leden	2032	37	337	2058	48	270	2025	46
Únor	1454	186	521	1524	121	444	1516	92
Březen	961	377	771	1028	263	689	1144	301
Duben	458	693	885	518	625	893	566	585
Květen	139	1160	1058	215	1024	1014	259	1010
Červen	45	1359	1021	88	1128	933	104	1127
Červenec	21	1649	1096	48	1328	958	56	1345
Srpen	35	1487	1036	75	1313	1006	93	1263
Září	160	914	832	228	766	763	257	737
Říjen	558	527	727	604	383	633	646	468
Listopad	1216	107	369	1282	75	325	1265	83
Prosinec	1813	10	265	1854	22	187	1885	69
Celkem	8892	8506	8918	9522	7096	8115	9816	7126



Obr. 6.28 - Měsíční potřeby energie na vytápění pro jednotlivé lokality v modelu č. 4

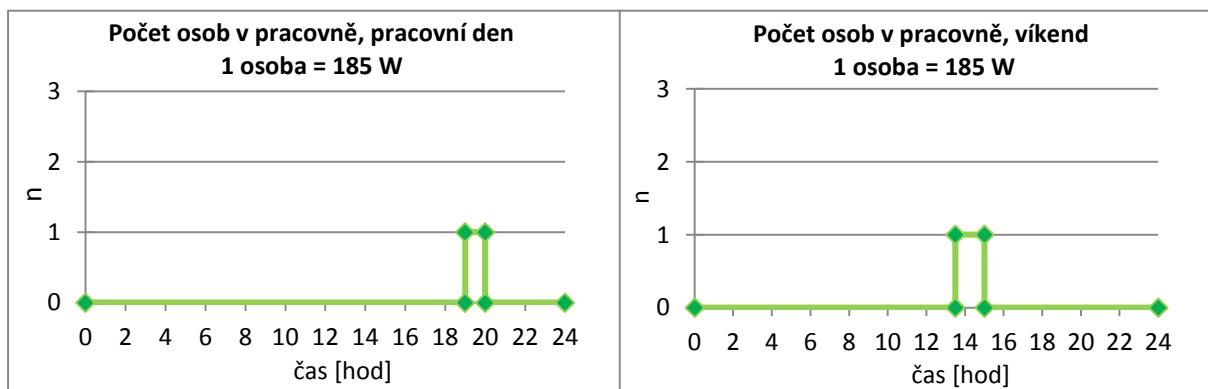


Obr. 6.29 - Měsíční potřeby energie na chlazení pro jednotlivé lokality v modelu č. 4

6.2.5 Vícezónový výpočetní model novostavby RD č. 5

Vstupní parametry

Řídicí profily charakterizující užívání jednotlivých zón jsou stejné jako u modelu bungalovu č. 5 (kap 6.1.5) s výjimkou výskytu osob v místnosti pro domácí práce (108), který se řídí těmito profily:



Obr. 6.30 - Řídicí profily určující výskyt osob v místnosti pro domácí práce

Tepelné zisky od spotřebičů jsou stejné jako v kapitole 6.1.4. Kuchyně s jídelnou a obývákem nejsou odděleny a jsou uvažovány jako jedna zóna, zde je umístěn sporák, lednice a televize. Používání počítače předpokládáme v obou pokojích. Zapínání a vypínání osvětlení v jednotlivých místnostech udává tab. 6.20.

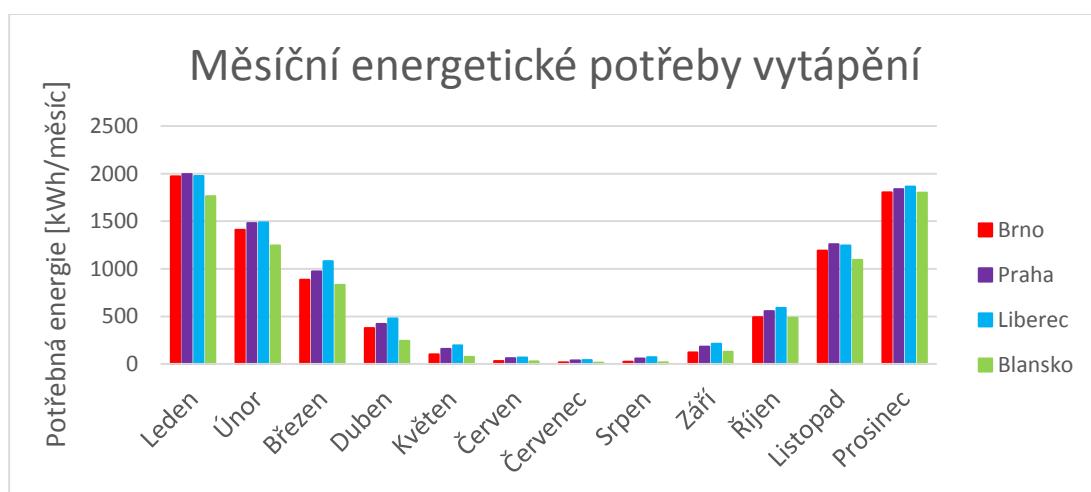
Tab. 6.20 - Osvětlení jednotlivých místností v modelu novostavby RD č. 5

Místnost	typ dne	Ráno		Večer	
		od	do	od	do
ložnice	pracovní	6:00	6:30	22:00	22:30
	nepracovní	-	-	23:30	0:00
pokoj	pracovní	6:00	6:30	21:00	22:00
	nepracovní	8:30	9:00	23:30	0:00
obývák	pracovní	-	-	20:00	22:00
	nepracovní	-	-	20:00	23:00
koupelna	pracovní i nepracovní	7:30	8:30	20:00	21:30
chodba	pracovní i nepracovní	6:30	8:00	18:00	21:30

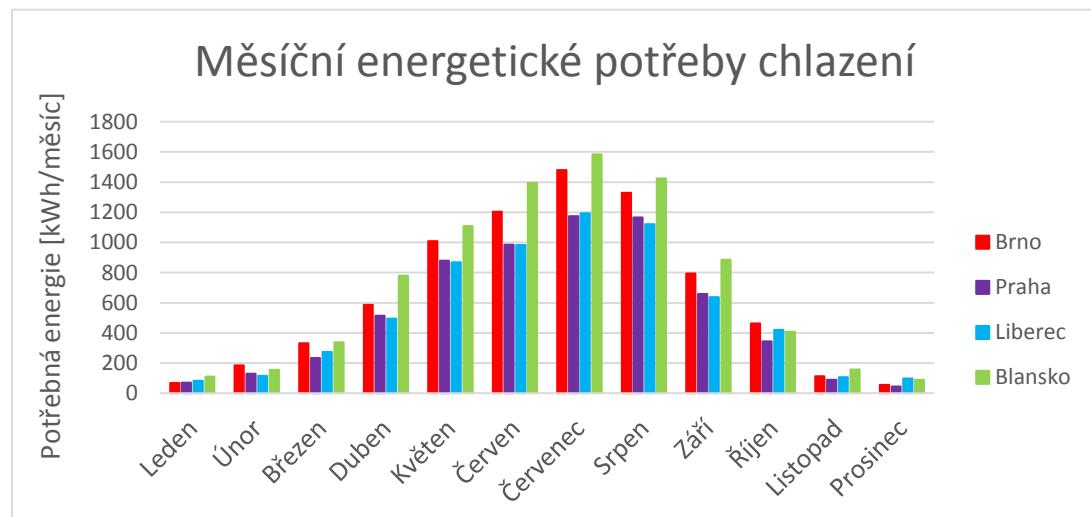
Model budovy

Každá místnost včetně garáže je definována jako samostatná zóna. Postup zónování je stejný jako v kapitole 6.1.5.

Výsledky



Obr. 6.31 - Měsíční potřeby energie na vytápění pro jednotlivé lokality v modelu č.5



Obr. 6.32 - Měsíční potřeby energie na chlazení pro jednotlivé lokality v modelu č. 5

Tab. 6.21 - Výsledné solární zisky a energetické potřeby na vytápění a chlazení pro model č. 5

Měsíc	Brno			Praha			Liberec			Blansko		
	Potřeba energie na vytápění	Potřeba energie na chlazení	Solární zisky	Potřeba energie na vytápění	Potřeba energie na chlazení	Solární zisky	Potřeba energie na vytápění	Potřeba energie na chlazení	Solární zisky	Potřeba energie na vytápění	Potřeba energie na chlazení	Solární zisky
	[kWh]			[kWh]			[kWh]			[kWh]		
Leden	1972	69	337	1995	71	270	1974	83	333	1765	112	427
Únor	1409	186	521	1480	130	444	1487	115	476	1244	156	519
Březen	886	331	771	973	235	689	1079	274	722	832	338	780
Duben	379	586	885	422	515	893	479	496	912	243	780	1029
Květen	102	1009	1058	158	879	1014	197	869	1046	75	1108	1068
Červen	31	1203	1021	61	985	933	69	984	994	27	1394	1092
Červenec	17	1480	1096	37	1175	958	41	1193	1036	0	1583	1085
Srpen	24	1330	1036	57	1166	1006	71	1121	1010	0	1424	1003
Září	123	794	832	182	658	763	212	638	774	130	885	880
Říjen	491	464	727	555	345	633	590	421	675	485	408	637
Listopad	1191	114	369	1259	89	325	1247	106	346	1094	158	367
Prosinec	1804	55	265	1838	46	187	1865	98	263	1802	90	262
Celkem	8429	7621	8918	9017	6294	8115	9311	6398	8587	7697	8436	9149

7 POROVNÁNÍ NKN II A ENERGETICKÉ SIMULACE V TRNSYSU

V této kapitole budou porovnány výsledky výpočtu energetických potřeb vytápění a chlazení pro posuzované objekty, provedené oběma způsoby. Dále bude uvedeno jaký vliv má umístění objektu na hodnocení ENB podle vyhlášky č. 78/2013 Sb. o energetické náročnosti budov. Zhodnotíme rovněž uživatelský komfort a možnosti využití obou nástrojů pro projektové pracovníky.

7.1 Porovnání výpočtů energetických nároků vytápění a chlazení

7.1.1 Bungalow

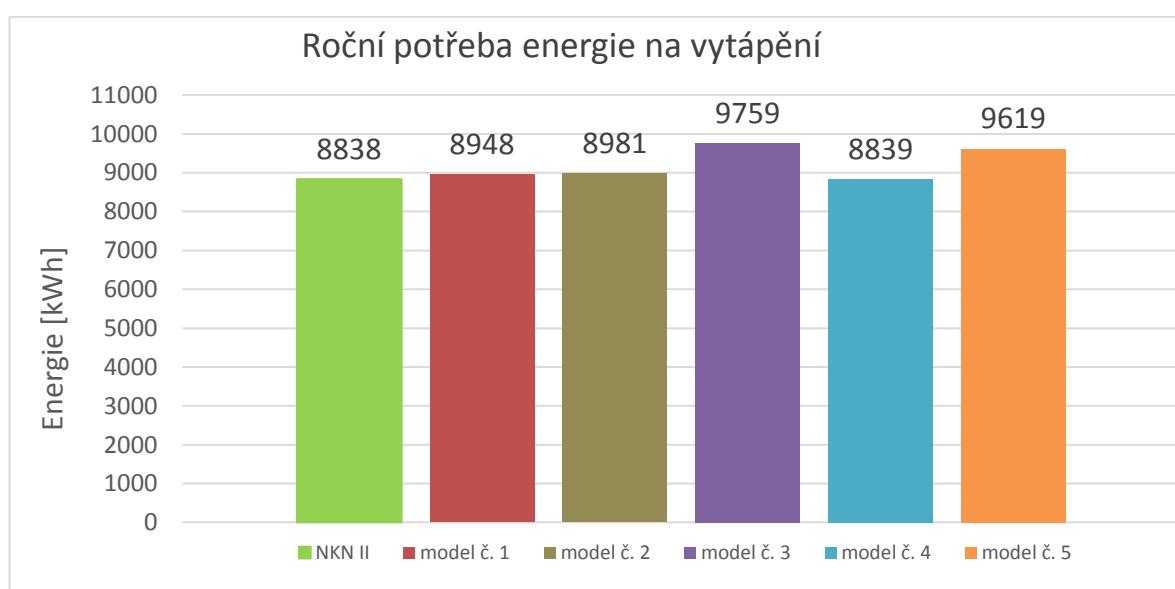
Na obr. 7.1 je znázorněno, jak se liší celkové roční energetické nároky vytápění vypočtené NKN II a výsledky výpočtů provedené v programu TRNSYS pro jednotlivé modely, které blíže charakterizuje tab. 6.1.

U modelu č. 1, kterým jsme se snažili přiblížit výpočtu v NKN II, činí rozdíl cca 1 %, což ověruje správnost definování budovy. Výsledný rozdíl může být způsoben například zaokrouhlovacími chybami, nebo rozdíly ve fyzikálních vlastnostech vzduchu, s kterými oba nástroje pracují. Do výsledků dalších modelů už se promítají rozdílné charakteristiky, jenž jim byly postupně přiřazovány.

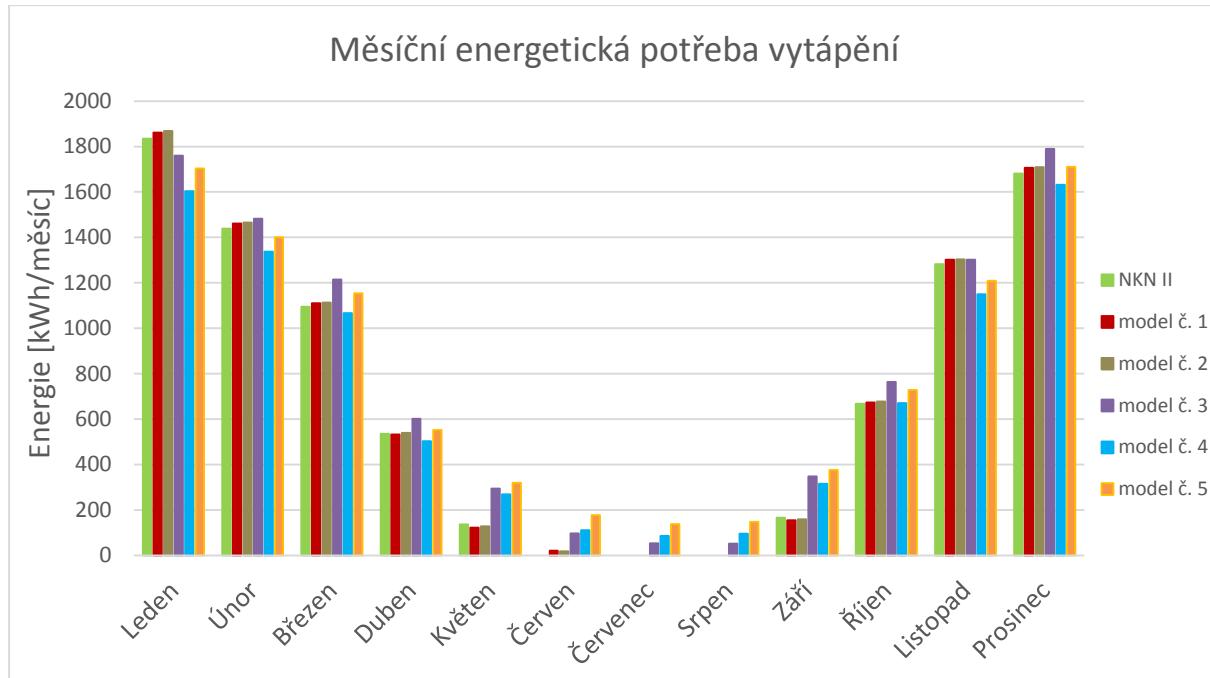
Roční výsledky jsou důležité z hlediska energetického hodnocení budovy podle platné legislativy, ovšem při srovnávání jednotlivých výpočtů můžou být zkreslující. Podíváme-li se například na výsledky výpočtů modelu č. 4, mohlo by se na první pohled zdát, že se vůbec neliší od výsledků v NKN II. V tomto případě se však jedná pouze o náhodu, o čemž se můžete přesvědčit na obr. 7.2, který zobrazuje potřebu tepla na vytápění v jednotlivých měsících.

Největší odchylka od NKN II je u modelu č. 3, zde ji můžeme zdůvodnit použitím podrobných klimatických dat odpovídajících umístění objektu. Rozdíl činí 921 kWh, což odpovídá cca 10 % (bereme-li výsledek z NKN II jako 100 %).

V kapitole 7.2 bude uvedeno, zda rozdíly v jednotlivých výsledků mají či nemají vliv na konečné hodnocení ENB podle platné legislativy.

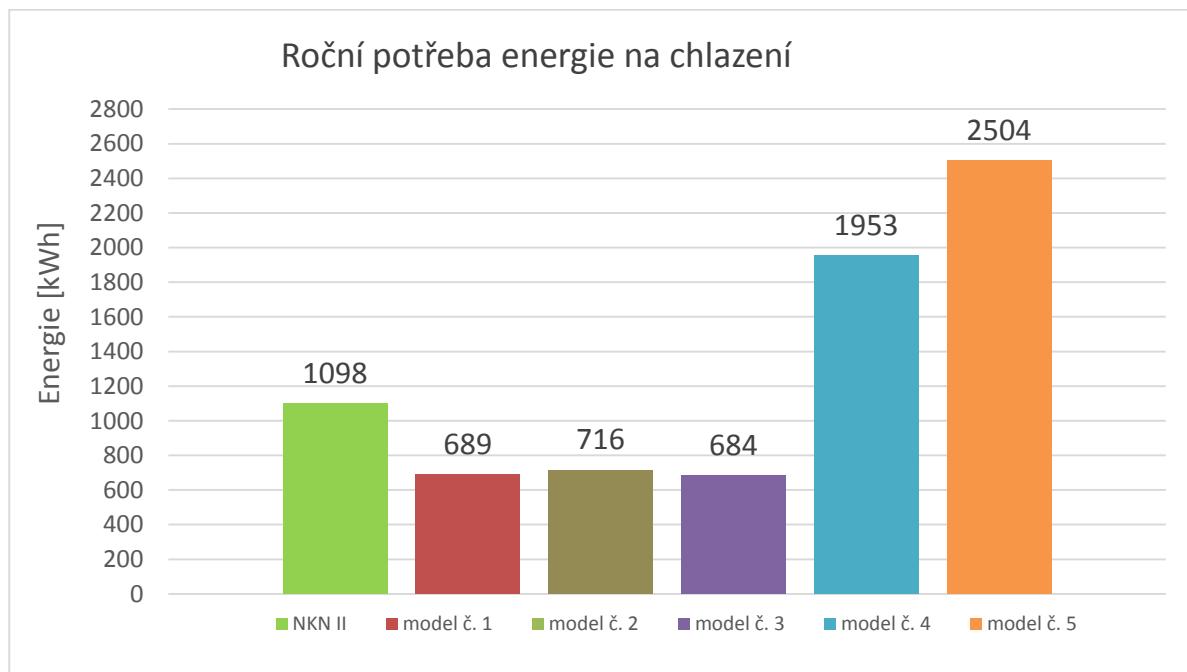


Obr. 7.1 - Roční potřeby energie na vytápění bungalowu

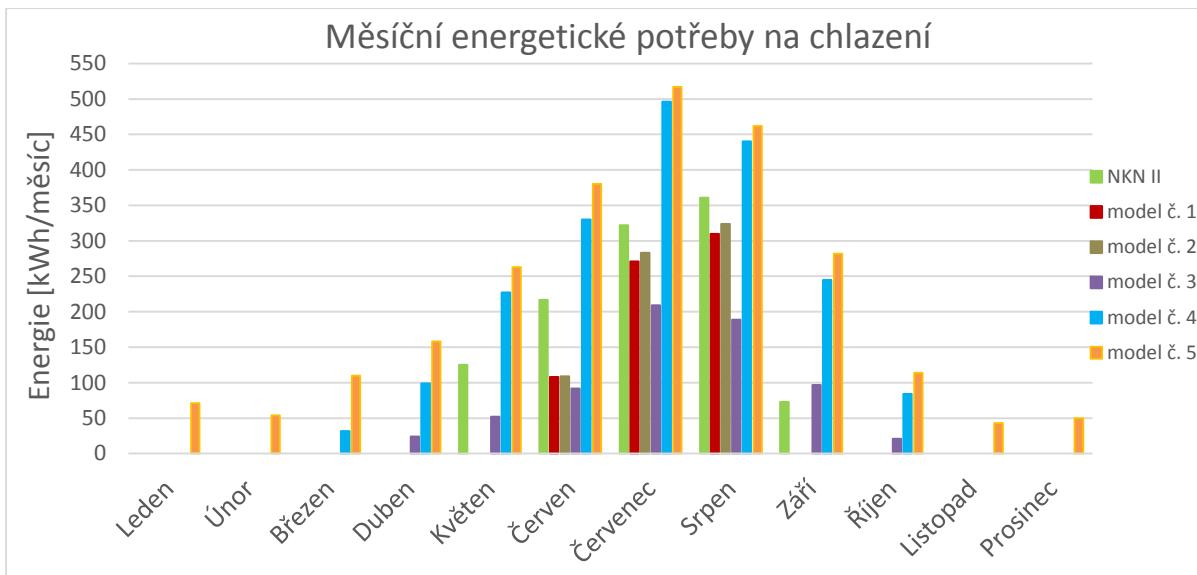


Obr. 7.2 - Měsíční potřeba energie na vytápění bungalovu

U roční potřeby energie na chlazení (obr. 7.3) se výsledky liší více. U modelů č. 1, 2, 3 se hodnoty rozcházejí v průměru o 401 kWh, což odpovídá odchylce 37 %. Z grafu lze dálé usuzovat, že vliv klimatických dat u bungalovu není až tak zásadní pro výsledek potřeb energie na chlazení (model č. 3). Mnohem větší roli hraje podrobné časově proměnné definování užívání zóny, kdy vliv předpokládaných vnitřních zisků od osob a vybavení značně zvyšuje tyto požadavky (viz model č. 4 a č. 5). Potřebu chlazení v jednotlivých měsících můžeme vidět na obr. 7.4.



Obr. 7.3 - Roční potřeba energie na chlazení bungalovu

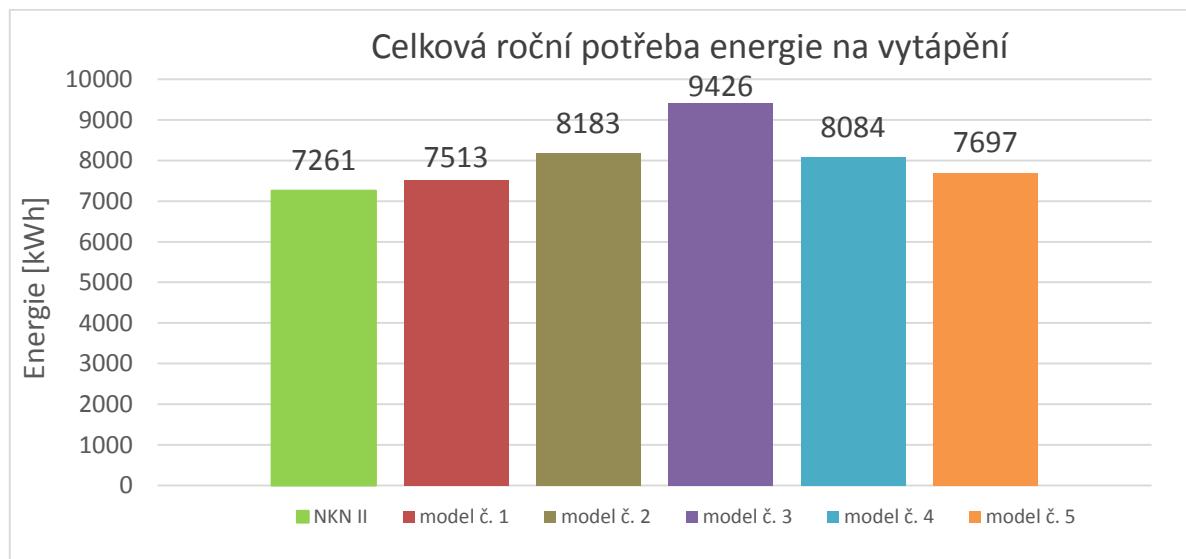


Obr. 7.4 - Měsíční potřeba energie na chlazení bungalowu

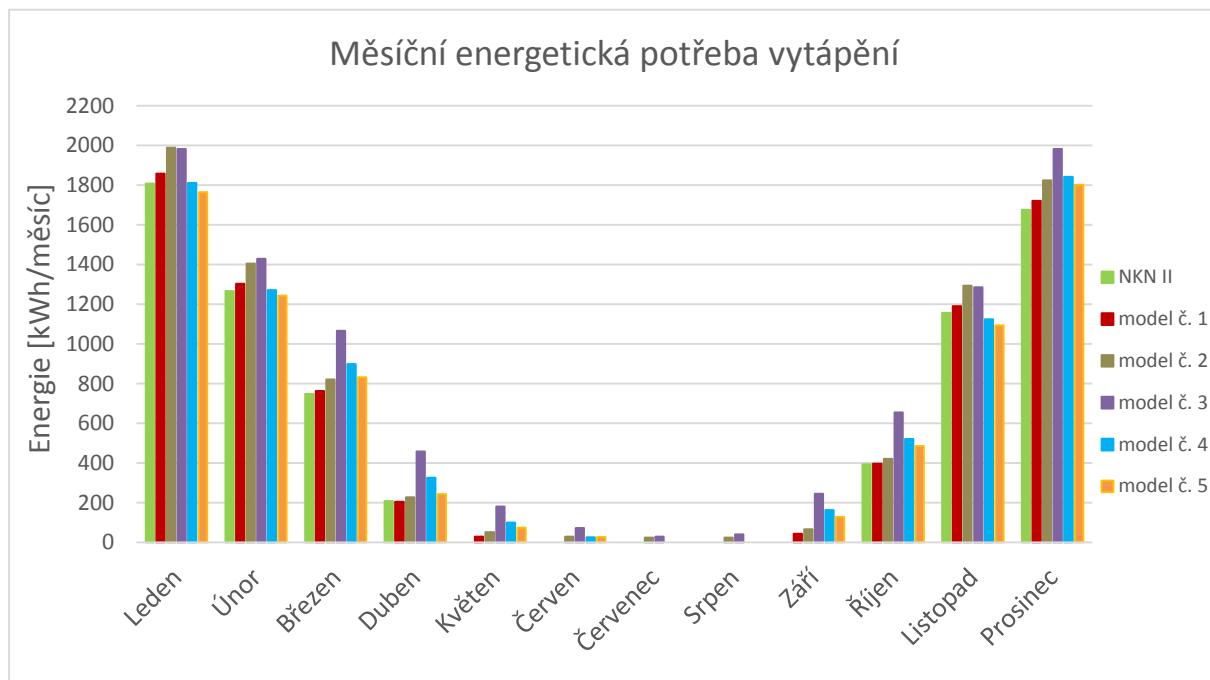
7.1.2 Novostavba

Výsledky výpočtu roční energetické potřeby vytápění novostavby RD reprezentuje obr. 7.5. U modelu č. 1 je odchylka od výpočtu v NKN II okolo 3 %. Tato hodnota není překročena ani u měsíčního rozložení (obr. 7.6). Můžeme tedy považovat vytvořený model budovy za dostatečně přesný. Důvodem rozdílu ve výsledcích mohou být opět zaokrouhlovací chyby a vliv fyzikálních vlastností vzduchu, s kterými oba nástroje pracují. Rozdíl v porovnání s předchozího případem (bungalu) logicky narostl, protože objem budovy a s tím související ztráty větráním jsou větší.

Nejvýraznější rozdíl je opět u modelu č. 3, kdy vliv klimatických dat pro danou oblast zvyšuje energetickou potřebu o 2165 kWh, což odpovídá cca 30 % (bereme-li výsledek NKN II jako 100 %). U dalších modelů už nejsou rozdíly tak veliké, ale energetické potřeby pořád vycházejí větší než v NKN II.

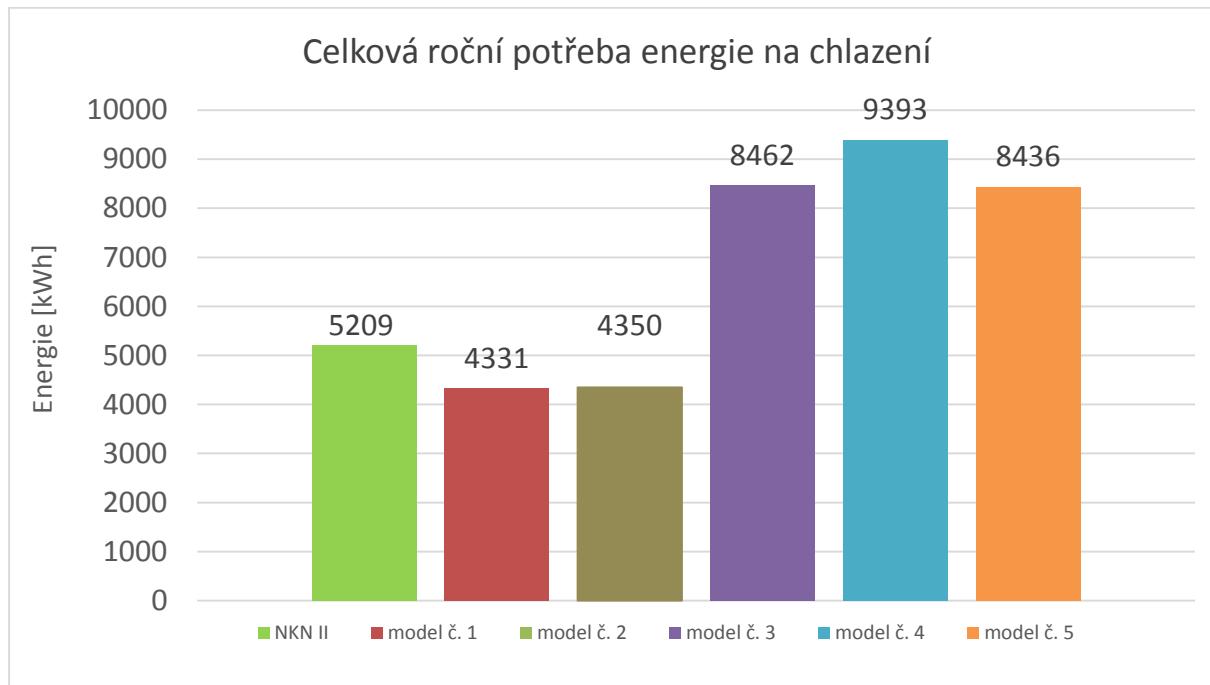


Obr. 7.5 - Roční potřeba energie na vytápění novostavby RD

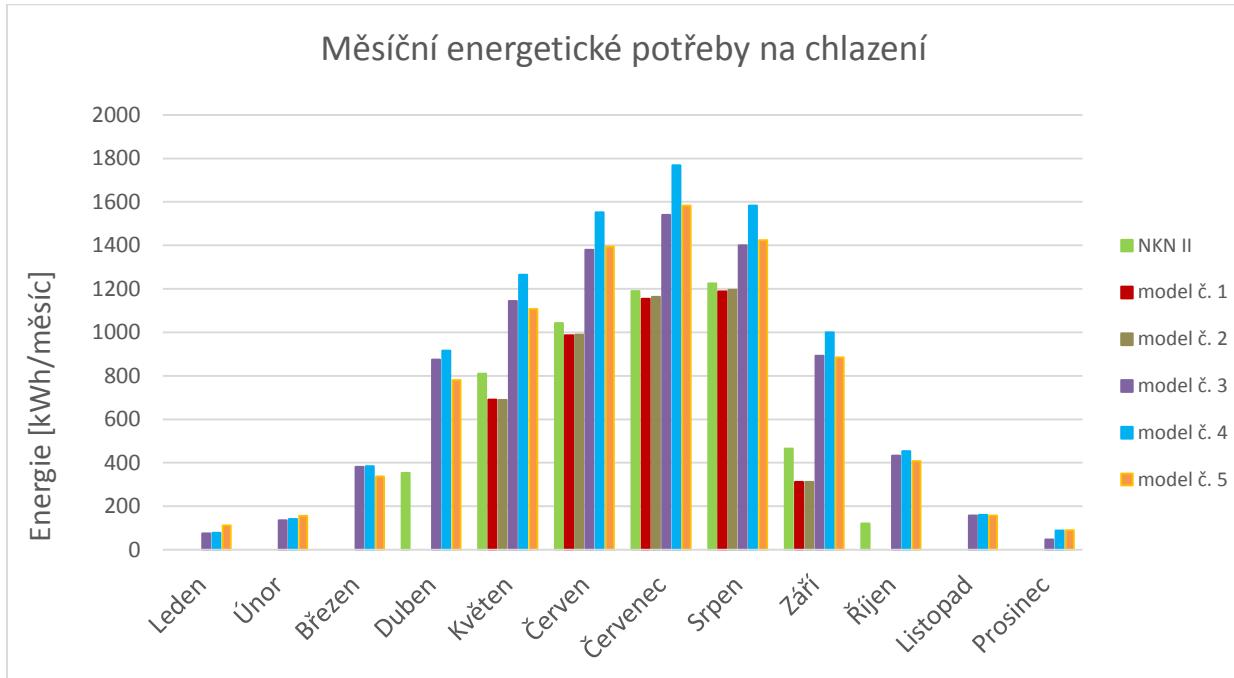


Obr. 7.6 - Měsíční potřeba energie na vytápění novostavby RD

Pro novostavbu jsou výsledky potřeby energie na chlazení uvedeny na obr. 7.7. Zde můžeme vidět skokový nárůst pro modely č. 3 - 5, což je způsobeno použitím klimatických údajů platných pro danou oblast. Na rozdíl od bungalovu je tento vstupní údaj zásadní pro výpočet energetických potřeb chlazení. Jednotlivé měsíční potřeby pak vidíme na obr. 7.8.



Obr. 7.7 - Roční potřeba energie na chlazení novostavby RD



Obr. 7.8 - Měsíční potřeba energie na chlazení novostavby RD

7.2 Vliv rozdílných energetických nároků na hodnocení ENB dle vyhlášky č. 78/2013

Ve smyslu platné legislativy se u nových budov, což jsou oba námi posuzované objekty, hodnotí tři ukazatele ENB. Jedná se o hodnocení neobnovitelné primární energie, celkové dodané energie a průměrného součinitele prostupu tepla obálkou budovy. Poslední zmiňovaný parametr je dán pouze tepelně technickou skladbou budovy, proto nemá smysl ho zmiňovat při srovnávání obou výpočtových metod. Jiné to ale je u posuzování dalších dvou parametrů, protože rozdíly v potřebách energie na vytápění se promítají do výsledného hodnocení ENB.

Postup výpočtu energetické bilance je podrobně uveden v kapitole 3.1.3. Účinnosti systémů a podíly jednotlivých energonositelů jsou uvedeny v kapitole 5.1 pro bungalow a 5.2 pro novostavbu. Pro výpočet neobnovitelné primární energie a celkové dodané energie je třeba znát tzv. faktory neobnovitelné primární energie a celkové primární energie, jenž jsou uvedeny v příloze 3, vyhlášky č. 78/2013, hodnoty potřebné pro tento výpočet uvádí tab. 7.1.

Tab. 7.1 - Hodnoty faktoru primární energie pro hodnocenou budovu.

Energonositel	Faktor celkové primární energie	Faktor neobnovitelné primární energie
Kusové dřevo	1,1	0,1
Elektřina	3,2	3
Zemní plyn	1,1	1,1

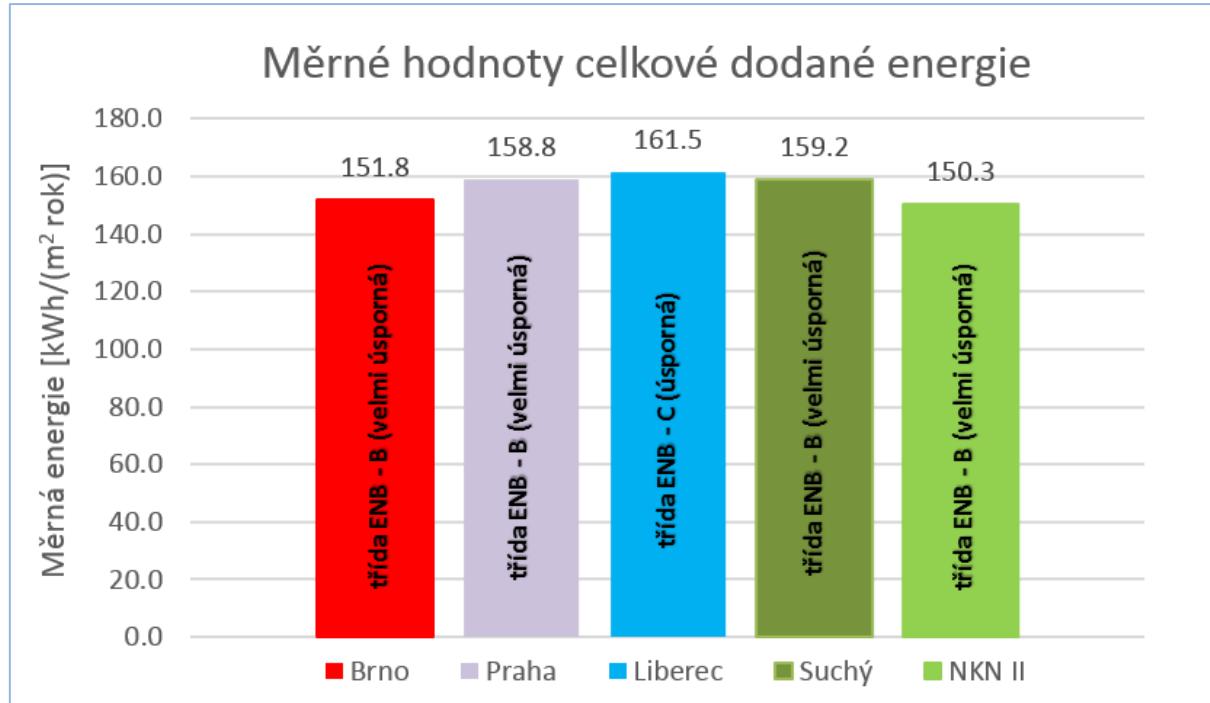
7.2.1 Bungalow

Tab. 7.2 - Energetická bilance a hodnocení ENB v závislosti na výsledcích nároků na vytápění

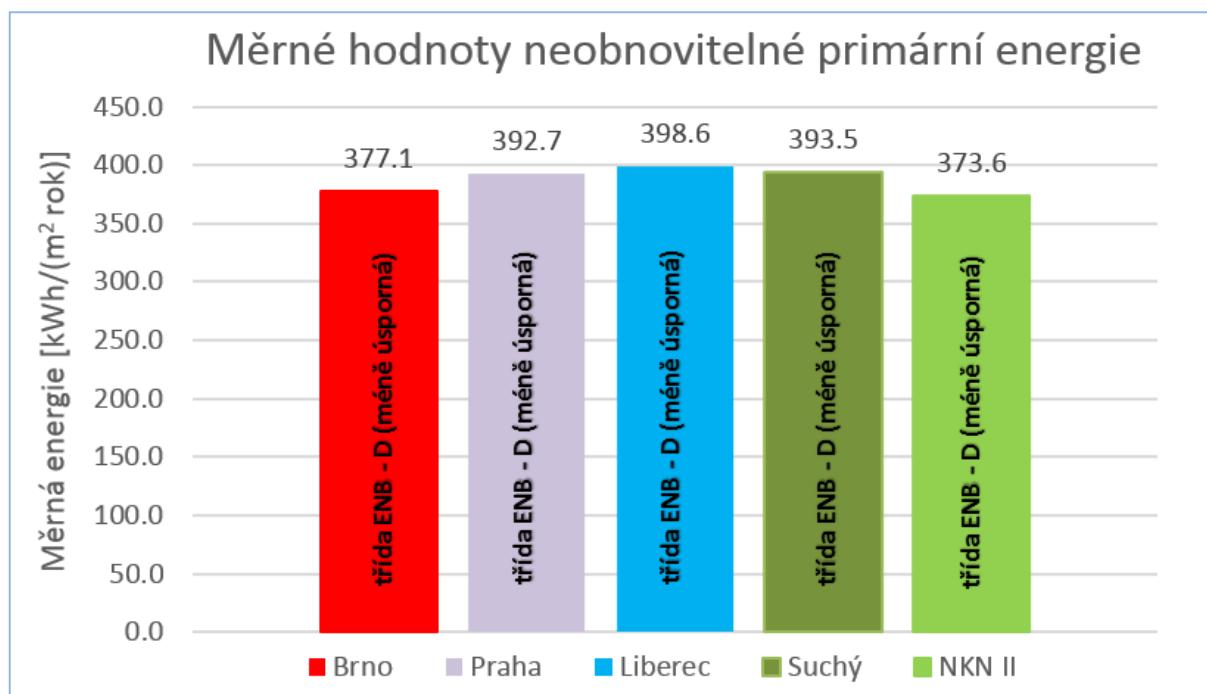
Výpočetní nástroj	NKN II	TRNSYS model č. 1	TRNSYS model č. 2	TRNSYS model č. 3	TRNSYS model č. 4	TRNSYS model č. 5
Celkové ukazatele energetické náročnosti						
Celková dodaná energie	18936	19094	19142	20264	18937	20062
Neobnovitelná primární energie	47075	47427	47534	50045	47075	49593
Celková primární energie	53547	53965	54091	57063	53549	56528
Dílčí dod. energie - neobnovitelná primární						
Dílčí dodaná energie na vytápění	12754	12912	12960	14082	12755	13880
Neobnovitelná primární energie na vytápění	28530	28882	28989	31500	28530	31048
Dílčí dodaná energie na chlazení	0	0	0	0	0	0
Neobnovitelná primární energie na chlazení	0	0	0	0	0	0
Dílčí dodaná energie na větrání	0	0	0	0	0	0
Neobnovitelná primární energie na větrání	0	0	0	0	0	0
Dílčí dodaná energie na přípravu TV				5385		
Neob. primární energie na přípravu TV				16155		
Dílčí dodaná energie na osvětlení				797		
Neobnovitelná primární energie na osvětlení				2390		
Vypočtená spotřeba energie						
Vypočtená spotřeba energie na vytápění	12754	12912	12960	14082	12755	13880
Vypočtená spotřeba energie na chlazení	0	0	0	0	0	0
Vypočtená spotřeba energie na větrání	0	0	0	0	0	0
Vypočtená spotřeba energie na přípravu TV				4912		
Vypočtená spotřeba energie na osvětlení				797		
Pomocná energie						
Pomocná energie pro vytápění	0	0	0	0	0	0
Pomocná energie pro chlazení	0	0	0	0	0	0
Pomocná energie pro větrání	0	0	0	0	0	0
Pomocná energie pro přípravu TV				473		
Hodnocení ENB						
Celková měrná dodaná energie	150,3	151,5	151,9	160,8	150,3	159,2
Zařazení do energetické třídy	B	B	B	B	B	B
Neobnovitelná měrná primární energie	373,6	376,4	377,3	397,2	373,6	393,6
Zařazení do energetické třídy	D	D	D	D	D	D

Tab. 7.3 - Výsledky energetické bilance pro model č. 5 v závislosti na umístění objektu

Výpočetní model a umístění objektu	NKN II TNI 73031	TRNSYS			
		model č. 5 Brno	model č. 5 Praha	model č. 5 Liberec	model č. 5 Suchý
Celková dodaná energie	18936	19131	20015	20344	20058
Neobnovitelná primární energie	47075	47511	49486	50222	49583
Celková primární energie	53547	54064	56402	57273	56517



Obr. 7.9 - Měrné hodnoty celkové dodané energie v závislosti na umístění objektu



Obr. 7.10 - Měrné hodnoty neobnovitelné primární energie v závislosti na umístění objektu

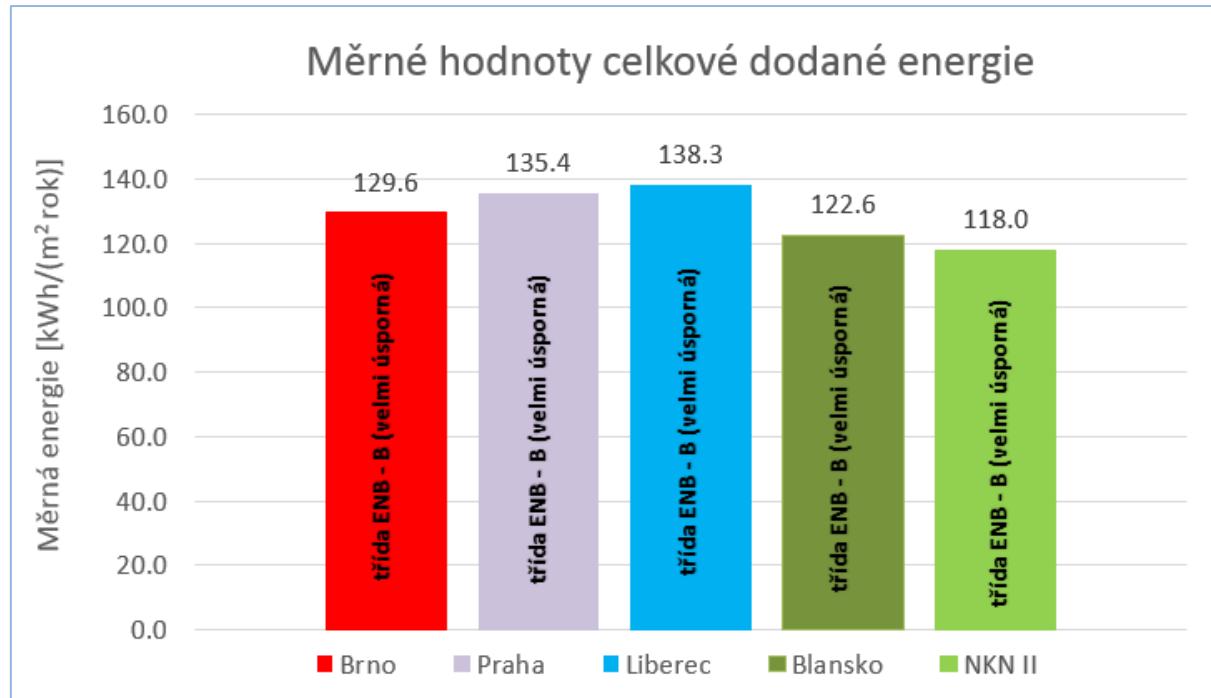
7.2.2 Novostavba rodinného domu

Tab. 7.4 - Energetická bilance a hodnocení ENB v závislosti na výsledcích nároků na vytápění

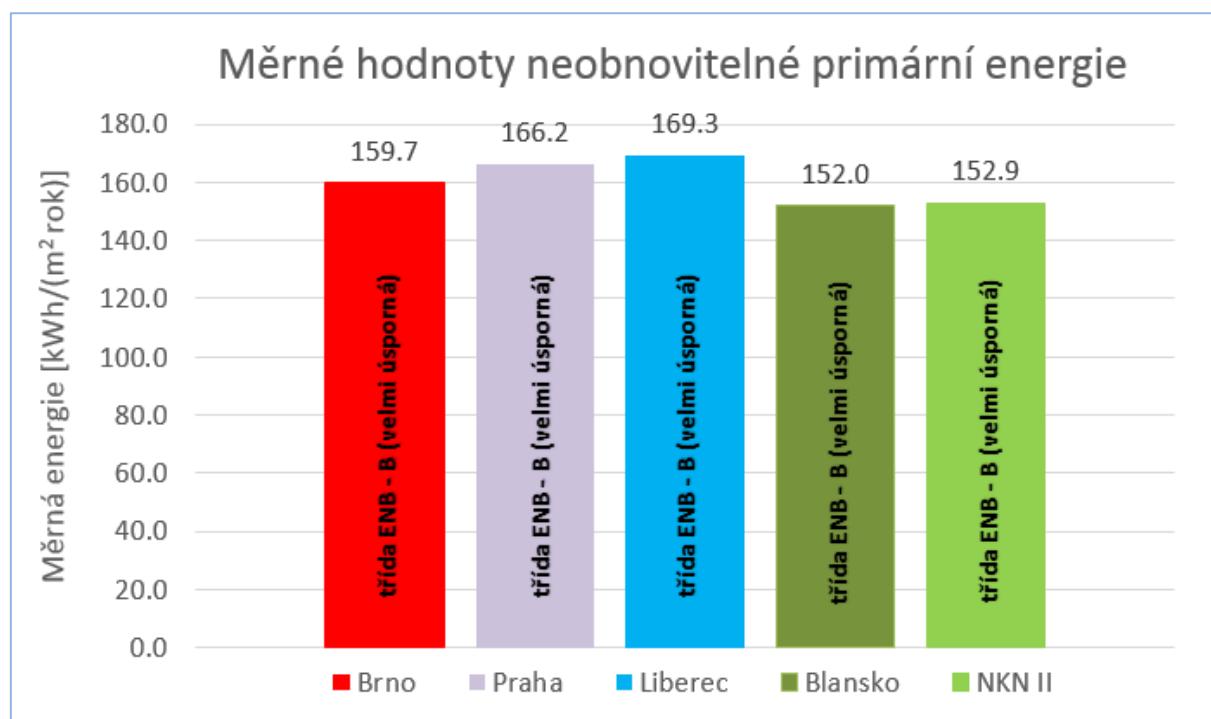
Výpočetní nástroj	NKN II	TRNSYS model č. 1	TRNSYS model č. 2	TRNSYS model č. 3	TRNSYS model č. 4	TRNSYS model č. 5
Celkové ukazatele energetické náročnosti						
Celková dodaná energie	17693	18069	19068	20921	18921	18344
Neobnovitelná primární energie	22940	23355	24453	26492	24291	23656
Celková primární energie	23306	23722	24820	26859	24658	24023
Dílčí dodaná energie – neobnovitelná primární						
Dílčí dodaná energie na vytápění	11213	11588	12587	14440	12440	11863
Neobnovitelná primární energie na vytápění	13071	13485	14583	16622	14421	13786
Dílčí dodaná energie na chlazení	0	0	0	0	0	0
Neobnovitelná primární energie na chlazení	0	0	0	0	0	0
Dílčí dodaná energie na větrání	0	0	0	0	0	0
Neobnovitelná primární energie na větrání	0	0	0	0	0	0
Dílčí dodaná energie na přípravu TV				5511		
Neobnovitelná primární energie na přípravu TV				6961		
Dílčí dodaná energie na osvětlení				970		
Neobnovitelná primární energie na osvětlení				2909		
Vypočtená spotřeba energie						
Vypočtená spotřeba energie na vytápění	10825	11200	12199	14052	12052	11475
Vypočtená spotřeba energie na chlazení	0	0	0	0	0	0
Vypočtená spotřeba energie na větrání	0	0	0	0	0	0
Vypočtená spotřeba energie na přípravu TV				5038		
Vypočtená spotřeba energie na osvětlení				970		
Pomocná energie						
Pomocná energie pro vytápění				388		
Pomocná energie pro chlazení	0	0	0	0	0	0
Pomocná energie pro větrání	0	0	0	0	0	0
Pomocná energie pro přípravu TV				473		
Hodnocení ENB						
Celková měrná dodaná energie	118.0	120.5	127.1	139.5	126.1	122.3
Zařazení do energetické třídy	B	B	B	B	B	B
Neobnovitelná měrná primární energie	152.9	155.7	163.0	176.6	161.9	157.7
Zařazení do energetické třídy	B	B	B	B	B	B

Tab. 7.5 - Výsledky energetické bilance pro model č. 5 v závislosti na umístění objektu

Výpočetní model a umístění objektu	NKN II TNI 73031	TRNSYS			
		model č. 5 Brno	model č. 5 Praha	model č. 5 Liberec	model č. 5 Suchý
Celková dodaná energie	17693	19434	20313	20745	18386
Neobnovitelná primární energie	22940	23957	24925	25400	22804
Celková primární energie	23306	25222	26190	26665	24069



Obr. 7.11 - Měrné hodnoty celkové dodané energie v závislosti na umístění objektu



Obr. 7.12 - Měrné hodnoty neobnovitelné primární energie v závislosti na umístění objektu

7.3 Diskuze

V předchozích dvou kapitolách jsme se zabývali porovnáním výpočtů energetických potřeb vytápění a chlazení pomocí NKN II a programu TRNSYS. Určili jsme dopad těchto rozdílů na konečné hodnocení ENB podle platných právních předpisů.

Výpočet ENB pomocí NKN II vychází z platné legislativy. Tyto normy určují přesný postup výpočtu a uživatel nemůže do této metodiky zásadněji zasahovat. Jiné tomu je u výpočtu pomocí TRNSYSU. Ten umožňuje uživateli definovat problém na libovolné úrovni podrobnosti.

Vždy musíme volit míru podrobnosti adekvátně k řešenému problému. To platí i pro vstupní parametry. Jinou váhu pro nás bude mít přesnost součinitele přestupu tepla u výpočtu energetické náročnosti budovy a jinak tomu bude u výpočtu výměníku tepla.

Některé vstupy (např. klimatická data pro danou lokalitu) jsou objektivně naměřeny. U dalších parametrů (např. proměnné užívání budovy), se může do konečných výsledků promítnout míra jejich subjektivního nastavení.

Oba naše posuzované objekty jsou rodinné domy, ale rozdílného architektonického řešení. Moderní novostavba rodinného domu se na rozdíl od bungalowu skládá z velké části prosklených stavebních výplní, což má přímý dopad na velikost solárních zisků. Tyto zisky mají zase vliv na potřebu energie na chlazení. Viz model č. 3, kde u bungalowu (obr. 7.3) je potřebná energie na chlazení v porovnání s výpočtem pomocí NKN II o cca 38 % menší a u novostavby RD (obr. 7.7) je potřeba energie na chlazení v porovnání s NKN II o 62 % vyšší.

Je nutné také dodat, že ani u jednoho objektu nebyly uvažovány stínící prvky (žaluzie markýzy atd.), proto jsou výsledky ročních energetických potřeb na chlazení u některých modelů srovnatelné s ročními potřebami na vytápění. U modelu novostavby RD č. 4 a 5 jsou dokonce vyšší.

Dále z grafů v kap. 7.1 vyplívá, že výsledky energetických potřeb chlazení jsou náhylnější na použití vstupních hodnot měnící se v čase (model č. 3, 4 a 5), než výsledky potřeb na vytápění. V případě, že požadujeme přesnější výpočet energetických potřeb chlazení, je použití průměrných měsíčních hodnot nedostačující a může dojít ke značnému zkreslení výsledku.

Vzhledem k tomu, že ani jeden objekt nemá nainstalováno chladící zařízení, (neznáme parametry zařízení atd.), nemůžeme určit dopad rozdílných potřeb chlazení u jednotlivých modelů na jejich hodnocení ENB podle platné legislativy. Toto by mohlo být tématem další práce.

Při vyhodnocování vlivu rozdílných potřeb energie vytápění na konečné hodnocení ENB jsme zjistili, že pouze v jednom případě (obr. 7.9 model č. 5 - klimatická data pro Liberec), se ukazatel ENB (celková dodaná energie za rok) dostane do horší energetické třídy.

Z toho se dá usuzovat, že hodnocení energetické náročnosti není tolik citlivé na použití detailnějších a časově proměnných vstupních dat.

7.4 Porovnání uživatelského komfortu a využitelnosti obou nástrojů pro projektové pracovníky

Uživatelský komfort

Jak bylo již mnohokrát uvedeno NKN II je primárně navržen pro posuzování ENB. Tomuto účelu je přizpůsobené i uživatelské prostředí - zadávání vstupních dat má logické

usporeádání a prezentuje postup bilančního hodnocení. Vše je navíc zpracováno v obecně známém excelovském prostředí (obr. 7.13). Spolu související hodnoty jsou soustředěny do jednotlivých listů, což zvyšuje celkovou přehlednost. Ke každému parametru je dostupný podrobný komentář s případným odkazem na normu. Z tohoto důvodu budoucí uživatel nepotřebuje žádné speciální školení a je schopen se s tímto nástrojem naučit pracovat samostatně. NKN II proto považujeme za vhodný i pro širší odbornou veřejnost.

KATALOG TYPOVÝCH KONSTRUKCIÍ						
Parametry - nápojová HODNOCENÁ BUDOVA						
Číslo	Identifikace konstrukce	Příslušná konstrukce	Součinitel prostupu tepla konstrukce	Propustnost slunečního záření příslušné konstrukce	Korekční činitel rámů příslušného prvku	REFERENČNÍ BUDOVA
-	-	-	$U_t [W/m^2 K]$	$g_{GU} [J]$	$F_{GU} [J]$	Identifikace konstrukce referenční budovy podle ČSN 730540
1	Vnější nosné S07	NE	0.162			Stěna vnější
2	Okno A1- západ	ANO	1.4	0.622	0.8	Výplň otvoru ve vnější stěně a střmé střeše, z vytápěného prostoru do venkovního prostředí, kromě dveří
3	Okno A2- západ	ANO	1.4	0.622	0.75	Výplň otvoru ve vnější stěně a střmé střeše, z vytápěného prostoru do venkovního prostředí, kromě dveří
4	Okno A3- západ	ANO	1.4	0.622	0.75	Výplň otvoru ve vnější stěně a střmé střeše, z vytápěného prostoru do venkovního prostředí, kromě dveří
5	Okno A4- západ	ANO	1.4	0.622	0.75	Výplň otvoru ve vnější stěně a střmé střeše, z vytápěného prostoru do venkovního prostředí, kromě dveří
6	Okno A5- sever	ANO	1.4	0.622	0.8	Výplň otvoru ve vnější stěně a střmé střeše, z vytápěného prostoru do venkovního prostředí, kromě dveří
7	Okno A6- sever	ANO	1.4	0.622	0.75	Výplň otvoru ve vnější stěně a střmé střeše, z vytápěného prostoru do venkovního prostředí, kromě dveří
8	Okno A7- sever	ANO	1.4	0.622	0.75	Výplň otvoru ve vnější stěně a střmé střeše, z vytápěného prostoru do venkovního prostředí, kromě dveří
9	Okno A8- sever	ANO	1.4	0.622	0.75	Výplň otvoru ve vnější stěně a střmé střeše, z vytápěného prostoru do venkovního prostředí, kromě dveří
10	Okno A9- východ	ANO	1.4	0.622	0.75	Výplň otvoru ve vnější stěně a střmé střeše, z vytápěného prostoru do venkovního prostředí, kromě dveří
11	Vstupní okno A10-jih	ANO	1.4	0.622	0.75	Dveřní výplň otvoru z vytápěného prostoru do venkovního prostředí (včetně rámu)
12	Okno A11- jih	ANO	1.4	0.622	0.7	Výplň otvoru ve vnější stěně a střmé střeše, z vytápěného prostoru do venkovního prostředí, kromě dveří
13	Rozšířující profil pro A9 a A10	NE	0.57			Stěna vnější
14	Podlaha 1NP-S02 - z garáže do obytného prostoru	NE	0.136			Strop a stěna vnitřní z vytápěného k nevytápěnému prostoru
15	Podlada 1NP do venkovního prostoru S05	NE	0.104			Strop s podlahou nad venkovním prostorem
16	Obovodová stěna garáže se zeminkou S10	NE	0.337			Stěna vnější
17	Obovodová stěna garáže se zeminou S09	NE	2			Stěna k nevytápěné půdě (se střechou bez tepelné izolace)
18	Vstupní dveře do garáže	NE	2.83			Výplň otvoru vedoucí z temperovaného prostoru do venkovního prostředí
19	Garážová vrata trido	NE	2.83			Výplň otvoru vedoucí z temperovaného prostoru do venkovního prostředí
20	Podlaha garáže	NE	2.002			Podlaha a stěna vytápěného prostoru přilehlá k zemině
21	Podlaha 1NP-park do oby. prost.	NE	0.101			Strop s podlahou nad venkovním prostorem
22	Střecha - strop nad 1NP S06	NE	0.115			Střecha plochá a šikmá se sklonem do 45° včetně

Obr. 7.13 - Ukázka uživatelského prostředí programu NKN II

TRNSYS je naproti tomu simulační nástroj sloužící pro modelování nejširšího spektra problémů, od tepelně-technického řešení stavebních prvků přes modely systémů TZB po komplexní modely budov. Tato univerzálnost je vykoupena poměrně náročným způsobem formulace problému a tvorby modelu, což zvyšuje celkové nároky na uživatele. Na rozdíl od NKN II, kde jen vyplníme vstupní údaje charakteristické pro danou budovu, musíme u TRNSYS definovat celý výpočet. Z tohoto hlediska je nutné se s programem více seznámit, což může zabrat i desítky hodin studia. Vždy je nutná hluboká znalost fyzikální podstaty problému. TRNSYS je tedy z uživatelského hlediska velice náročný a u širší odborné společnosti bude těžko hledat oblibu a následné využití. Ukázku uživatelského prostředí TRNSYSu můžeme vidět například na obr. 6.19.

Využitelnost pro projektové pracovníky

Odpověď na otázku, zda je NKN II vhodný pro projektové pracovníky, není jednoznačná. Vždy záleží, k čemu dané výpočty slouží. V předchozích kapitolách jsme viděli jeho porovnání s energetickou simulací. Posouzení, zda se výsledky obou metod liší hodně či málo, je vždy subjektivní. Je nutné, aby projektant zvážil, jak přesné výsledky potřebuje. To nezáleží jen na systému, který navrhuje, ale i na dané budově. Například pro pasivní dům je přesná znalost energetického chování budovy opodstatněná a NKN II je pro výpočet příliš hrubým nástrojem.

Obecně chceme-li při stanovení očekávané potřeby energie dodané do budovy podrobněji rozlišit různé zdroje, klimatická data, způsoby regulace, nastavení parametrů vnitřního prostředí a jeho užívání nebo způsob využívání obnovitelných zdrojů energie, musíme provést komplexní výpočet, který umožní tyto vlivy zohlednit. Pro zjištění vzájemné interakce těchto vlivů je nejlepší využití právě energetické simulace. V tab. 7.6 je uvedeno, pro jaké aplikace je dle názoru autora NKN II dostačující a kde už je lepší využít jinou (přesnější) výpočetní metodu, právě energetickou simulaci.

Tab. 7.6 - Příklady vhodnosti využití daného výpočetního nástroje

Účel výpočtu energetického chování	NKN II	Simulace
Návrh typu a velikosti zdroje tepla	Vhodný	Nemá opodstatnění
Jednání s dodavateli o ceně energie	Vhodný	Nemá opodstatnění
Návrh velikosti uložiště paliva	Vhodný	Nemá opodstatnění
Porovnání více řešení daného systému	Nevhodný	Vhodný
Podklad pro žádost o dotace	Vhodný	Nemá opodstatnění
Zpracování průkazu ENB	Vhodný	Nemá opodstatnění
Návrh otopné soustavy	Nevhodný	Nemá opodstatnění
Návrh solárních systémů	Nevhodný	Vhodný
Návrh rekuperační jednotky	Nevhodný	Vhodný
Návrh chlazení	Nevhodný	Vhodný

ZÁVĚR

Cílem práce bylo zpracovat posouzení energetické náročnosti budov tzv. národním výpočetním nástrojem NKN II a porovnat je s energetickou simulací v programu TRNSYS. Dále porovnat jednotlivé výsledky, popřípadě zdůvodnit rozdíly a také porovnat oba nástroje z pohledu uživatelského komfortu a možnosti využití pro projektové pracovníky.

Pro naplnění těchto cílů byly provedeny výpočty dvou objektů. V obou případech se jednalo o rodinné domy s pracovním označením bungalov a moderní novostavba. Technická dokumentace obou staveb tvoří přílohu práce. Pro každou budovu byl proveden výpočet pomocí NKN II, který v souladu s platnou legislativou hodnotí energetickou náročnost budov. Výstupem tohoto výpočtu je tzv. průkaz energetické náročnosti budovy (PENB) a protokol o energetické náročnosti, který mimo jiné popisuje energetickou bilanci objektu.

Pro simulaci v programu TRNSYS bylo definováno pět výpočetních modelů (označených č. 1 až 5), které mají za úkol na různé úrovni podrobnosti počítat energetické nároky vytápění a chlazení. Jen tak jsme totiž schopni sledovat vlivy různých vstupních hodnot na konečné výsledky energetických potřeb.

U modelu č. 1 jsme se snažili co nejvíce přiblížit metodice výpočtu v NKN II. Použili jsme tedy stejná vstupní data, jenž udává technická normalizační informace (TNI 73031), tj. klimatická data, požadavky na větrání, vnitřní tepelné zisky, vnitřní podmínky pro vytápění a chlazení. Míra shody výsledků tohoto výpočetního modelu s NKN II prezentuje správnost definice budovy.

V dalších čtyřech modelech jsme postupně přidávali vlastní vstupní údaje, které lépe prezentují reálné podmínky, a sledovali jejich vliv na konečné výsledky energetických potřeb.

U modelu č. 5 jsme se snažili využít možností TRNSYSU v maximální rozumné míře. Jedná se tedy o nejpodrobnější model, u něhož je, na rozdíl od předchozích případů, uvažována každá místořadovost jako jedna zóna. Pro každou jednotlivou zónu je pak pomocí řídicích profilů nastaveno předpokládané užívání (časově závislé vnitřní zisky podle výskytu osob, zapínání spotřebičů a osvětlení) a specifická teplota pro režim vytápění a chlazení. Abychom mohli vyhodnotit závislost hodnocení energetické náročnosti budovy na vnějších podmírkách, jsou mimo klimatických dat specifikovaných pro oblast, kde je objekt umístěn, použita rovněž klimatická data pro Prahu, Brno a Liberec.

Závěrečná kapitola je věnována porovnání výsledků dílčích energetických potřeb chlazení a vytápění, získaných oběma výpočetními nástroji. Zkoumán je rovněž vliv těchto rozdílů na konečné hodnocení ENB podle platné legislativy.

Rozdíly ve výsledcích roční potřeby energie na vytápění bungalovu odpovídají předpokládanému průběhu. U modelu č. 1 a č. 2 jsou výsledky téměř shodné s NKN II. Pro model č. 3 je rozdíl největší - činí 921 kWh, což představuje cca 10 %. Pro model č. 5 je to o něco méně.

U novostavby rodinného domu jsou rozdíly mezi jednotlivými výpočty podstatně větší. Největší rozdíl je opět u modelu č. 3, a to 2165 kWh, což představuje odchylku 30 %. U modelu č. 5 činí rozdíl v roční potřebě vytápění v porovnání s NKN II jen 436 kWh, tzn. procentuálně 6 %.

Obecně můžeme říci, že u bungalovu jsou výsledky jednotlivých výpočtů potřeb vytápění podobné a proto nás nepřekvapí, že po přepočítání podle platné legislativy se nezmění ani hodnocení dílčích ukazatelů ENB. Překvapivé to je ale u novostavby RD, kdy i vcelku velké odchylky od výpočtu pomocí NKN II, budovu nezačlení do jiné energetické třídy.

Vzhledem k tomu, že ani v jednom posuzovaném objektu není nainstalováno chladicí zařízení, se rozdíly v potřebách energie na chlazení nepromítají do hodnocení ENB podle platné legislativy. To ovšem nic nemění na důležitosti zjištění, že rozdíly potřeb energie na chlazení se dosti liší. U bungalowu je největší rozdíl u modelu č. 5, a to konkrétně 1406 kWh, což představuje 128 %. U novostavby pak 4184 kWh, tedy rozdíl 80 %.

Vzhledem k dosaženým výsledkům a následnému porovnání lze konstatovat, že pro detailnější znalost energetických potřeb není metodika výpočtu, kterou používá NKN II, úplně vhodná. Obzvláště pak u výsledků potřeb na chlazení, jenž jsou velice citlivé na použitá klimatická data a časově proměnném užívání budovy. Přístup NKN II, kdy se používají stejné klimatické podmínky pro celou ČR, je nevhodný a pro projektanta chlazení nemají výsledky vypovídající hodnotu. Pro energetického specialistu, který hodnotí ENB, je však NKN II velice vhodným pomocníkem.

POUŽITÉ ZDROJE

- [1] *Nákladová efektivita investic do energetické účinnosti v rámci politiky soudržnosti.* Luxembourg: Publications Office, 2012. ISBN 978-929-2410-230.
- [2] Energy Efficiency: Buildings. *European Commision: Energy* [online]. Brusel: European Union, ©1995-2016 [cit. 2016-05-21]. Dostupné z: <https://ec.europa.eu/energy/en/topics/energy-efficiency/buildings>
- [3] Benefits: Thermal losses and heat protection. *European Association for External Thermal Insulation* [online]. Německo: EAE, 2013 [cit. 2016-05-21]. Dostupné z: [http://www.ea-etics.eu/\(73uub5xqy8ujgg44448\)-6nCAeD/views/etics/benefits/index.html](http://www.ea-etics.eu/(73uub5xqy8ujgg44448)-6nCAeD/views/etics/benefits/index.html)
- [4] URBAN, Miroslav. *Manuál pro využití výpočetního nástroje NKN* [online]. Praha: ČVUT v Praze, 2010 [cit. 2016-05-21]. Dostupné z: https://www.ib.cvut.cz/sites/default/files/Studijni_materialy/EABI/MUR_skripta_IB.pdf
- [5] KLAZAR, Luděk. *Nároky a náročnost, potřeba a spotřeba, teplo a energie. TZBINFO: stavba* [online]. Praha, 18-3-2003 [cit. 2016-05-21]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/1412-naroky-a-narocnost-potreba-a-spotreba-teplo-a-energie>
- [6] Vyhláška č. 78/2013 Sb. o energetické náročnosti budov ze dne 22.3.2013 [online]. [cit. 2016-02-06]. Dostupný z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2013-78/>
- [7] ČVUT, Fakulta stavební, katedra technických zařízení budov. *NKN II* [online]. [cit. 2016-10-06]. Dostupný z: <http://nkn.fsv.cvut.cz/>
- [8] VAVERKA, Jiří. *Stavební tepelná technika a energetika budov*. Brno: VUTIUM, 2006. ISBN 80-214-2910-0
- [9] ČSN EN ISO 13790. *Energetická náročnost budov – Výpočet spotřeby energie na vytápění a chlazení*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009.
- [10] URBAN, Miroslav, Zbyněk SVOBODA, Karel KABELE, Daniel ADAMOVSKÝ a Michal KABRHEL. *Metodika bilančního výpočtu energetické náročnosti budov* [online]. Metodická příručka, závěrečná zpráva. Praha: ČVUT v Praze, 2009 [cit. 2016-05-21]. Dostupné z: http://www.mpo-efekt.cz/upload/7799f3fd595eeee1fa66875530f33e8a/Vypocet_ENB_metodicka_prirucka.pdf
- [11] Vyhláška č. 194/2007 Sb. kterou se stanoví pravidla pro vytápění a dodávku teplé vody, měrné ukazatele spotřeby tepelné energie pro vytápění a pro přípravu teplé vody a požadavky na vybavení vnitřních tepelných zařízení budov přístroji regulujícími dodávku tepelné energie konečným spotřebitelům ze dne 17. 7. 2007 [online]. [cit. 2016-02-06]. Dostupný z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2007-194>
- [12] PICHOVÁ, Lenka. *Tepelné chování a energetická náročnost nízkoenergetické administrativní budovy*. Brno, 2013. 131 s., 3 x výkres příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technických zařízení budov. Vedoucí práce doc. Ing. Ondřej Šikula, Ph.D.
- [13] TRNSYS [online]. Madison (Wisconsin): Thermal Energy System Specialists, 2016 [cit. 2016-05-21]. Dostupné z: <http://www.trnsys.com/>
- [14] Prostup tepla vícevrstvou konstrukcí a průběh teplot v konstrukci: Materiály dle firemních katalogů. *TZBINFO: stavba* [online]. Praha: Topinfo, ©2001-2016 [cit. 2016-

05-21]. Dostupné z: <http://stavba.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/140-prostup-tepla-vicevrstvou-konstrukci-a-prubeh-teplot-v-konstrukci>

- [15] TNI 73 0331. *Energetická náročnost budov - Typické hodnoty pro výpočet*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2013.
- [16] ČSN EN ISO 10077-1. *Tepelné chování oken, dveří a okenic – Výpočet součinitele prostupu tepla*. Praha: Český normalizační institut, 2007.
- [17] ČSN EN ISO 6946. *Stavební prvky a stavební konstrukce – Tepelný odpor a součinitel prostupu tepla - Výpočtová metoda*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009.
- [18] URBAN, M. KABELE, K. Katedra technických zařízení budov, fakulta stavební, ČVUT v Praze. *Národní kalkulační nástroj II - NKN II verze 3.052 [software]*. Prosinec 2014 [přístup 12.12.2014] Dostupné z: <http://nkn.fsv.cvut.cz/download-nkn>
- [19] ČSN EN ISO 12831. *Tepelné soustavy v budovách – Výpočet tepelného výkonu*. Praha: Český normalizační institut, 2005.
- [20] PAVELEK, Milan. *Termomechanika*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2011. ISBN 978-80-214-4300-6.
- [21] JÍCHA, Miroslav. *Přenos tepla a látky*. Brno: CERM, 2001. Učební texty vysokých škol. ISBN 80-214-2029-4.

POUŽITÉ SYMBOLY A ZKRATKY

symboly

$A_{i,z}$	Plocha konstrukce	m^2
$b_{i,z}$	Činitel teplotní redukce	-
C_i	Měrná tepelná kapacita vrstvy konstrukce	$\text{J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$
c_{pa}	Měrná tepelná kapacita vzduchu při konstantním tlaku	$\text{J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$
d_i	Tloušťka jednotlivé vrstvy konstrukce	m
EnP	Neobnovitelná primární energie	kWh/rok
$e_{r,sys}$	Součinitel odběru elektřiny ventilátoru závislý na typu zpětného chlazení	-
F_{gl}	Korekční činitel rámu průsvitného prvku	-
$F_{sh,ob,z}$	Korekční činitel stínění pevnými překážkami	-
$f_{C,sys,z}$	Podíl dodané energie připadající na příslušný zdroj chladu	-
$f_{H,z,sys}$	Podíl dodané energie připadající na zdroj tepla	-
$f_{r,sys}$	Střední součinitel provozu zpětného chlazení	-
g_{gl}	Propustnost slunečního záření	-
$H_{tr,z}$	Měrný tepelný tok prostupem	W/K
$H_{ve,z}$	Měrný tepelný tok větráním	W/K
n_z	násobnost výměny vzduchu	$1/\text{s}$
$Q_{C,ht,z,j}$	potřeba energie na pokrytí tepelné ztráty	GJ
$Q_{C,nd,z,j}$	Potřeba energie na chlazení	GJ
$Q_{fuel,C}$	Roční dodaná energie na chlazení	GJ
$Q_{aux,C}$	Roční dodaná energie systému chlazení	GJ
$Q_{C,dis,z,j}$	Dodaná energie do distribučního systému chlazení	GJ
$Q_{H,dis,z,j}$	Dodaná energie do distribučního systému vytápění	GJ
$Q_{aux,H}$	Roční dodaná pomocná energie systému vytápění	GJ
$Q_{fuel,H}$	Roční dodaná pomocná energie systému vytápění	GJ
$Q_{H,nd,z,j}$	Roční potřeba energie na vytápění	GJ
$Q_{H,sc,z,j}$	Energie pro vytápění vyrobená systémem solárních kolektorů	GJ
$Q_{H,ht,z,j}$	Potřeba energie na pokrytí tepelné ztráty	GJ
$Q_{H,gn,z,j}$	Velikost tepelných zisků	GJ
$Q_{int,z,j}$	Vnitřní tepelné zisky	GJ
$Q_{H,sol,z,j}$	Solární zisky	GJ
$Q_{int,oc,z,j}$	Vnitřní zisky od osob	GJ
$Q_{int,ap,z,j}$	Vnitřní zisky od spotřebičů	GJ
$Q_{int,L,z,j}$	Vnitřní zisky od osvětlení	GJ
$Q_{int,u,z,j}$	Vnitřní zisky z vedlejších nevytápěných prostor	GJ
R	Tepelný odpor stěny	$\text{m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$
R_i	Tepelný odpor jednotlivé vrstvy konstrukce	$\text{m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$
R_{se}	Tepelný odpor na svislé vnější straně konstrukce	$\text{m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$
R_{si}	Tepelný odpor na svislé vnitřní straně konstrukce	$\text{m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$
R_{sui}	Tepelný odpor na vodorovné vnitřní straně konstrukce (tok směrem nahoru)	$\text{m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$
R_{sdi}	Tepelný odpor na vodorovné vnitřní straně konstrukce (tok směrem dolů)	$\text{m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$
t_{im}	Průměrná teplota v interiéru	$^\circ\text{C}$
t_{em}	Průměrná teplota v interiéru	$^\circ\text{C}$
t_j	Délka časového úseku	s
U_{em}	Průměrný součinitel prostupu tepla obálkou budovy	$\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$
$U_{i,z}$	Součinitel prostupu tepla	$\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$

U_w	Součinitel prostupu tepla stavební výplně	W/(m ² ·K)
$\Delta U_{t,bm,z}$	Průměrný vliv tepelných vazeb	W/(m ² ·K)
$V_{v,z}$	Objemový tok vzduchu	m ³ /s
$\gamma_{H,gn,z,j}$	Poměr tepelných zisků a tepelných ztrát	-
ρ_a	Hustota	kg/m ³
$\eta_{C,ls,z,j}$	Stupeň využití tepelných ztrát	-
$\eta_{C,em,z}$	Účinnost sdílení chladu	-
$\eta_{C,gen,sys}$	Účinnost systému distribuce energie na chlazení	-
$\eta_{H,sys}$	Účinnost systému distribuce energie na vytápění do zóny	-
$\eta_{H,em,z}$	Účinnost sdílení tepla mezi vytápěnou zónou a systémem	-
$\eta_{H,dis,z}$	Účinnost systému distribuce energie na vytápění do zóny	-
$\eta_{H,gn,z,j}$	Stupeň využití tepelných zisků	-
$\vartheta_{H,i,z,j}$	Průměrná vnitřní návrhová teplota v režimu vytápění	°C
$\vartheta_{e,j}$	Průměrná venkovní teplota	°C
λ_i	Součinitel tepelné vodivosti jednotlivé vrstvy konstrukce	W/(m·K)

Zkratky

ENB	Energetická náročnost budovy
EU	Evropská unie
NKN II	Národní kalkulační nástroj (druhá verze)
PENB	Průkaz energetické náročnosti budovy
RD	Rodinný dům
TNI	Technická normalizační informace
TZB	Technická zařízení budov

PŘÍLOHY

- | | |
|-----------|---------------------------------------------------------------------------|
| Příloha 1 | Stavební výkres Bungalovu, č.v. B01, formát A2 |
| Příloha 2 | Stavební výkres 1.NP Moderní novostavby, č.v M01, formát A2 |
| Příloha 3 | Stavební výkres 2 NP Moderní novostavby, č.v M02, formát A2 |
| Příloha 4 | ENB bungalowu v programu NKN II (pouze elektronicky na přiloženém CD) |
| Příloha 5 | ENB novostavby RD v programu NKN II (pouze elektronicky na přiloženém CD) |
| Příloha 6 | Energetické simulace (pouze elektronicky na přiloženém CD) |