

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE  
FAKULTA STROJNÍ  
ÚSTAV TECHNIKY PROSTŘEDÍ

---

**TEST SOFTWARE PRO ENERGETICKÉ  
SIMULACE BUDOV**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE



## Souhrn

Obecně se tato bakalářská práce zabývá energetickými simulacemi budov a kontrolou kvality jejich výsledků. V této souvislosti se podrobněji věnuje testovací a diagnostické metodice BESTEST vyvinuté Mezinárodní energetickou agenturou. Hlavním cílem práce bylo provést test simulačního programu Design Builder metodikou BESTEST. Bylo zpracováno 29 z 35 případů, které BESTEST definuje. Výsledky vlastních simulací jsou porovnány s mezemi doporučenými metodikou BESTEST a s výsledky publikovanými vývojáři programu Design Builder, v práci označenými jako DB TEAM. Vlastní výsledky většinou alespoň přibližně souhlasí s výsledky DB TEAM a také většinou spadají do mezí stanovených BESTESTem. Významnější odchylky byly zjištěny u roční potřeby energie na vytápění pro případy 600, 610 a 900 a u roční potřeby energie na chlazení pro případ 250.

## Summary

In general, this bachelor thesis deals with building energy simulations and quality checking of their results. In this context, the attention is paid to the testing and diagnostic procedure BESTEST developed by the International Energy Agency. The main goal of this thesis was to test the simulation program Design Builder using the BESTEST procedure. Out of 35 cases defined by BESTEST, 29 were elaborated. The results of own simulations are compared with the limits recommended by BESTEST as well as with the results published by the Design Builder developers, in this thesis referred to as DB TEAM. The results were mostly in an approximate accordance with the DB TEAM results and they also fall into the limits recommended by BESTEST in most of the cases. More significant deviations were found in the annual heating energy need for the cases 600, 610 and 900, and in the annual cooling energy need for the case 250.

## Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem „Test softwaru pro energetické simulace budov“ vypracoval samostatně pod vedením Ing. Martina Bartáka, Ph.D., s použitím literatury uvedené na konci mé bakalářské práce v seznamu použité literatury.

V Praze dne 4. 1. 2021

Marek Konečný

## Poděkování

S pomocí několika řádků bych z celého srdce rád poděkoval za cenné rady, pomoc s úpravou textu a překladem Ing. Martinovi Bartákovi, Ph.D., vedoucímu této bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkovat panu prof. Ing. Karlovi Kabelemu, CSc. z Fakulty stavební za poskytnutí licence k programu Design Builder.

## Obsah

Použité označení veličin.....	5
Seznam zkratek.....	5
1. Úvod.....	6
2. Energetické simulace budov.....	7
2.1 Správnost a platnost výsledků simulace.....	8
2.2 Historie.....	9
2.3 Simulační programy.....	11
3. Metodika testování BESTEST.....	12
3.1 Pravidla provedení testů.....	13
3.2 Postup.....	13
3.3 Vstupní data.....	16
3.4 Požadované výstupy.....	23
3.5 Stanovení mezí pro výsledky simulací.....	24
4. Modelování a simulace v softwaru Design Builder.....	27
4.1 Software Design Builder.....	27
4.2 Postup zpracování případu BESTEST 600.....	30
5. Výsledky.....	37
5.1 Roční potřeba energie na vytápění.....	37
5.2 Roční potřeba energie na chlazení.....	39
5.3 Maximální tepelná ztráta během roku.....	40
5.4 Maximální tepelná zátěž během roku.....	41
5.5 Roční energetický zisk prostupem solární radiace.....	42
5.6 Průběh výkonu potřebného na vytápění a chlazení 4. ledna.....	43
5.7 Výsledky v tabulkové formě.....	45
6. Závěr.....	52
7. Literatura.....	53

## Použité označení veličin

Označení	Název	Jednotka
c	měrná tepelná kapacita	J/(kg·K)
R	tepelný odpor	(m <sup>2</sup> ·K)/W
U	součinitel prostupu tepla	W/(m <sup>2</sup> ·K)

Označení	Název	Jednotka
$\alpha$	součinitel solární pohltivosti	–
$\delta$	tloušťka	m
$\lambda$	součinitel tepelné vodivosti	W/(m·K)
$\rho$	hustota	kg/m <sup>3</sup>

## Seznam zkratk

ASHRAE	American Society of Heating Refrigerating and Air-Conditioning Engineers
BESTEST	Building Energy Simulation Test
BRE	Building Research Establishment
BREEAM	Building Research Establishment Environmental Assessment Method
CERL	Civil Engineering Research Laboratory
EPBD	European Performance of Buildings Directive
IBPSA	International Building Performance Simulation Association
LANL	Los Alamos National Laboratory
LEED	Leadership in Energy and Environmental Design
NREL	National Renewable Energy Laboratory
TMY	Typical Meteorological Year
IEA	International Energy Agency

## 1. Úvod

Tlak legislativy na dekarbonizaci zdrojů energie neustále roste. Evropská unie plánuje do roku 2050 omezit emise skleníkových plynů o 80 %. Při současné politice se však sníží pouze o 40 %. Největší změny čekají energetiku a průmysl, ale pro dosažení cíle budou muset přispět a spolupracovat všechny sektory. V současnosti je spotřeba fosilních paliv budovami odpovědná za značnou část emisí CO<sub>2</sub>. Stavební sektor bude proto nucen navrhovat a vyvíjet úsporné budovy. S tímto úkolem nám mohou pomoci počítačové simulace budov.

Energetické simulace budov se kontinuálně vyvíjejí od 60. let minulého století a dnes je k dispozici velké množství simulačních programů, a to na komerční i nekomerční bázi. Od začátku zajímalo vývojáře softwarů i to, jak správné a přesné jsou výsledky simulací. Ukázalo se, že ověřovat výsledky měření je prakticky nemožné, až na omezený počet jednoduše definovaných případů. Práce na postupech pro verifikaci a validaci simulačních programů vyvrcholily v roce 1995, kdy byla v rámci projektu Mezinárodní energetické agentury (IEA) zpracována metodika BESTEST.

Hlavním cílem této práce bylo provést test programu pro energetickou simulaci budov Design Builder podle metodiky BESTEST, která představuje nejen mezinárodně uznávaný postup pro kontrolu kvality simulačních programů v daném oboru. Zároveň však postupy stanovené BESTESTem vedou uživatele k lepšímu pochopení principů energetických simulací budov a motivují ho ke zvládnutí práce se simulačním programem na poměrně pokročilé úrovni. Metodika BESTEST tedy může mít i didaktickou funkci. Jedním z podnětů pro tuto práci bylo i to, že na Ústavu techniky prostředí Fakulty strojní ČVUT v Praze dosud nebyly rozsáhlejší zkušenosti s programem Design Builder.

Práce vychází z provedené rešerše na téma energetických simulací budov, jejich historie, principu i současnému využití. Poté je představena metodika testování simulačních programů BESTEST a konkrétní postup pro její provedení. V další kapitole je popsán testovaný software Design Builder a jeho základní principy. Na závěr je software Design Builder otestován pomocí metodiky BESTEST a je provedena diskuze výsledků simulace v porovnání s referenčními hodnotami.

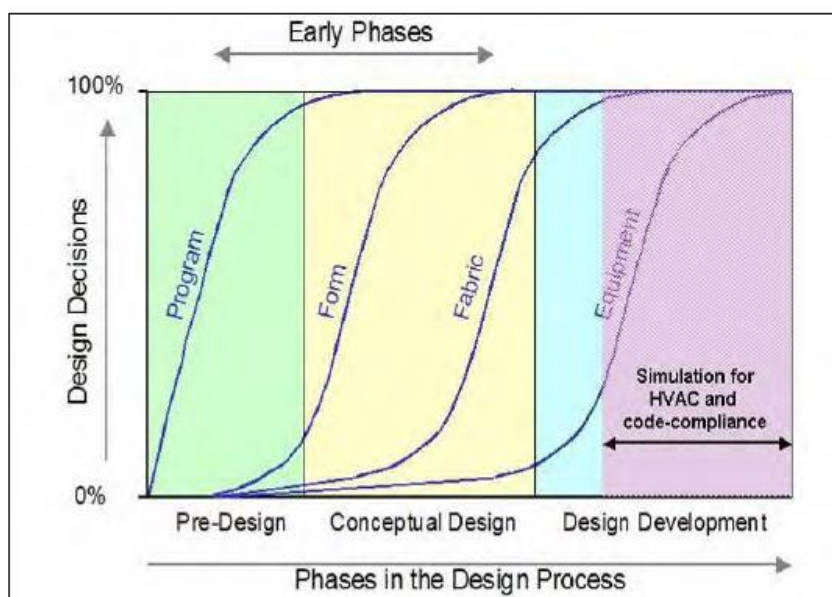


## 2. Energetické simulace budov

Obecně je počítačové modelování a simulace jedna z nejdětalnějších metod analýzy. Modelování je vytvoření počítačové reprezentace reálného systému s určitým stupněm abstrakce. Simulace je implementace modelu tak, aby předvídal budoucí chování reálného systému. [1]

Energetická simulace budov je replikace aspektů reálného chování budovy pomocí matematického modelu vytvořeného na základě elementárních fyzikálních principů a ověřené inženýrské praxe. Úkolem simulace je kvantifikace aspektů chování budovy, které jsou relevantní pro návrh, konstrukci, obsluhu a řízení budovy. [2] Vstupem simulačního programu je popis budovy, její geometrie, stavební materiál a také konfigurace systémů osvětlení, ohřevu vody, vytápění a klimatizace. Zadáva se také časový rozvrh použití budovy: obsazenosti, osvětlení a nastavení termostatů. Simulační program zkombinuje tyto vstupy s informacemi o místním podnebí a pomocí fyzikálních rovnic vypočítá např. tepelnou ztrátu, odezvu systému na tuto ztrátu a výslednou potřebu energie, společně se souvisejícími údaji jako je např. úroveň tepelné pohody a ceny energií. Simulační program dokáže vypočítat chování budovy během celého roku za několik minut. [3]

Pokud jsou použity správným způsobem, mají energetické simulace potenciál zlepšit konkurenceschopnost, produktivitu, kvalitu a efektivitu budov. Navíc usnadňují budoucí inovaci a technologický pokrok. Energetické simulace budov čerpají své základní principy z různých disciplín, především z fyziky, matematiky, nauky o materiálech, biofyziky, behaviorálních, environmentálních a výpočetních věd. Integrace těchto interakcí v jediné simulaci skýtá přední návrhové a výpočetní výzvy. Uznávanou roli v předpovědi, posouzení a ověření výkonu budov zajistila simulacím jejich schopnost poradit si s výslednou složitostí a diverzitou interakcí. Disciplína energetických simulací budov se nepřetržitě vyvíjí a dochází ke zlepšení robustnosti a věrohodnosti modelů. Výsledkem je, že místo soustředění se na softwarovou vybavenost je hlavním cílem zajištění kvality simulace a dosažení reálných výsledků. Roste potřeba pro vývoj, hodnocení, používání v praxi a standardizaci modelů a programů. [4] Je všeobecně známo, že předpověď budoucího chování je mnohem účinnější a ekonomičtější než náprava problémů vzniklých ve fázi užívání. [5] Přestože je k dispozici velké množství simulačních nástrojů a programů, používání energetických simulací budov ve stávajících projektech je omezeno (viz obr. 2.1). Využívají se většinou pouze ve finálních fázích designu budovy (návrh pláště budovy, výpočet tepelné zátěže pro dimenzování topení a klimatizace) nebo pro otestování vyhovění předpisům. Jinými slovy pro analýzu jednoho řešení místo návrhu více variant řešení. [4]

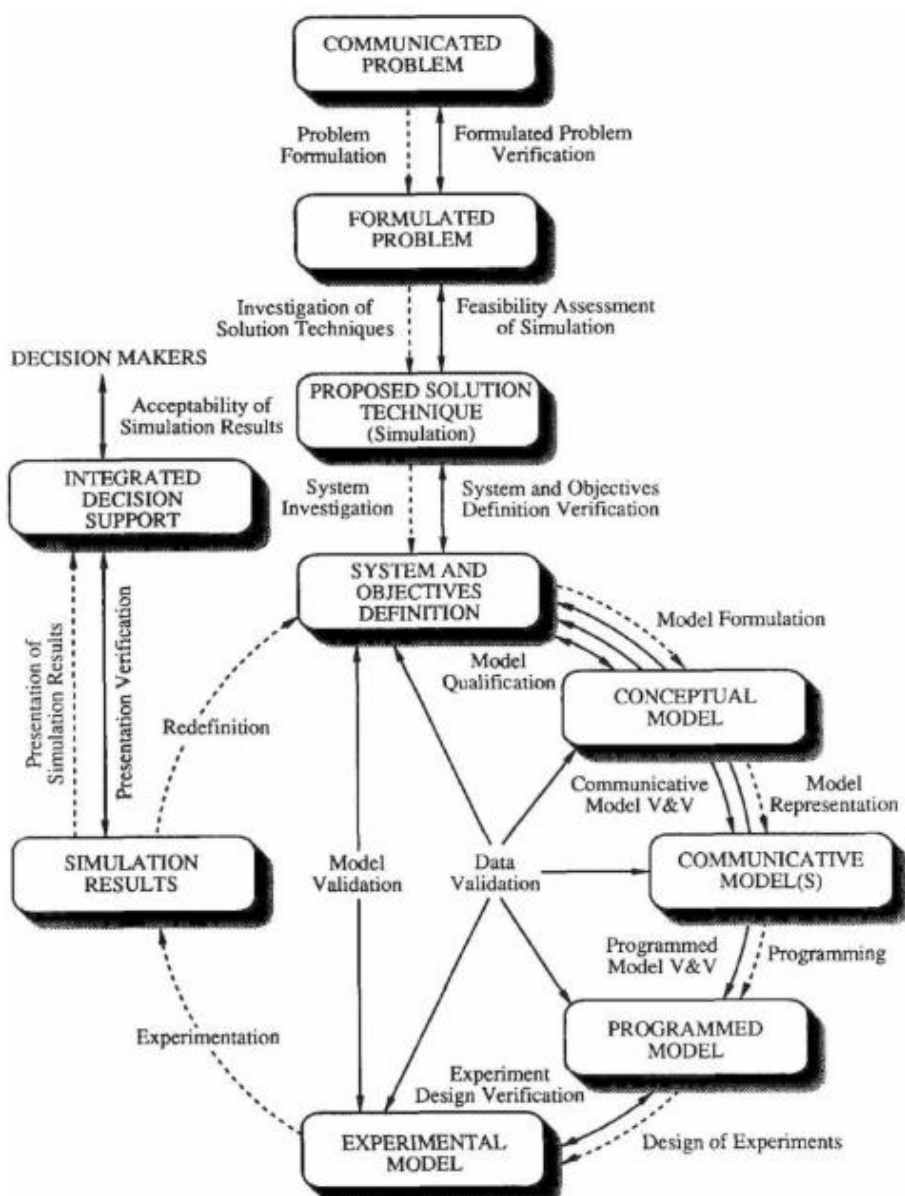


Obr. 2.1 – Současné použití simulací při návrhu budov [4]

## 2.1 Správnost a platnost výsledků simulace

Kvalita simulačních výsledků závisí v první řadě na fyzikální správnosti modelu a na přesnosti formulace problému. Zcela ověřit model ani výsledky není možné, lze pouze zvýšit úroveň jejich věrohodnosti. Je důležité používat metody VV&T (obr. 2.2) od první fáze simulační studie až do prezentace výsledků.

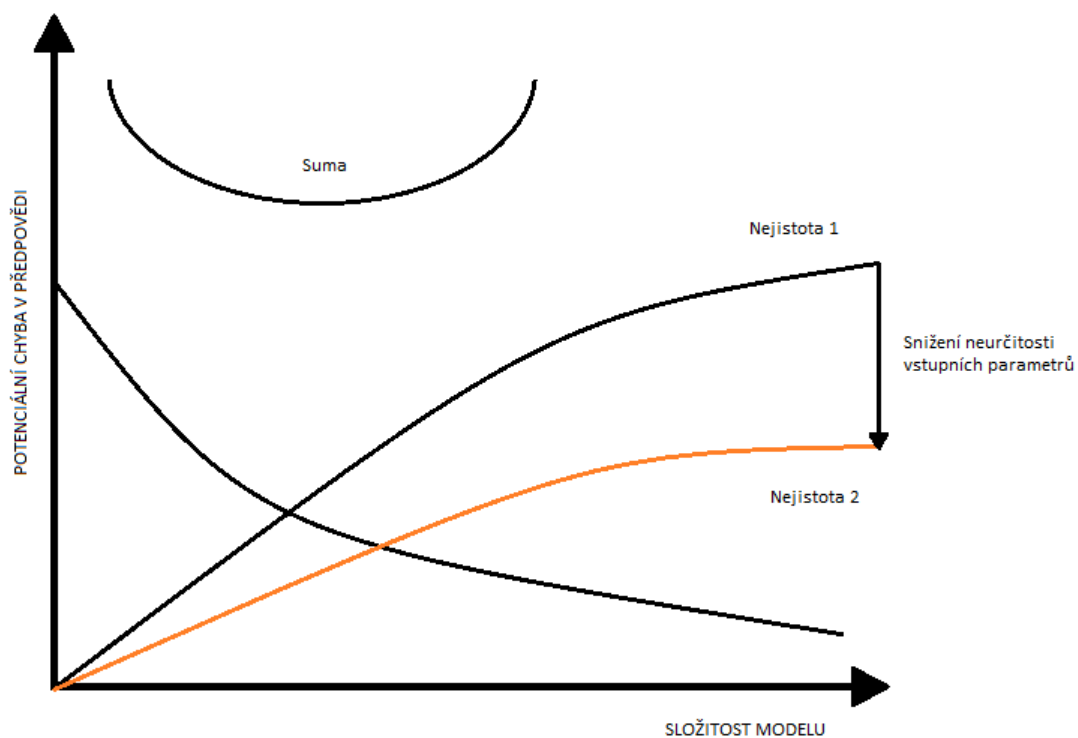
- Verifikace – má za cíl identifikovat jakékoli nepřesnosti a nalézt chyby v modelu, které vzniknou transformací z jedné formy na druhou. **Verifikace modelu se zabývá správnou tvorbou modelu.**
- Validace – Jejím cílem je doložit že chování modelu je přesné, konzistentní a v souladu s úkoly studie. **Validace modelu se zabývá tvorbou správného modelu.**
- Testování – Zahrnuje použití testovacích vstupních dat, které jsou následně vyhodnoceny. Kontrolujeme, zda se model chová správně a podle očekávání. [1]



Obr. 2.2 – Verifikace, validace a testování během simulační studie [1]

Při navrhování modelu musíme rozhodnout o jeho složitosti (jak velkou část reálného světa reprezentuje) a rozlišení (množství proměnných v modelu). Zjednodušeně lze říci, že model by měl být tak jednoduchý, jak je to možné pro dosažení úkolů simulační studie. [1]

Existuje rozšířená mylná představa, že zvýšením složitosti modelu dosáhneme zvýšení přesnosti výsledků. Ve skutečnosti odchýlení od optima k více či méně složitějšímu modelu zvyšuje množství potenciálních chyb simulačních výsledků (viz obr. 2.3). [5]

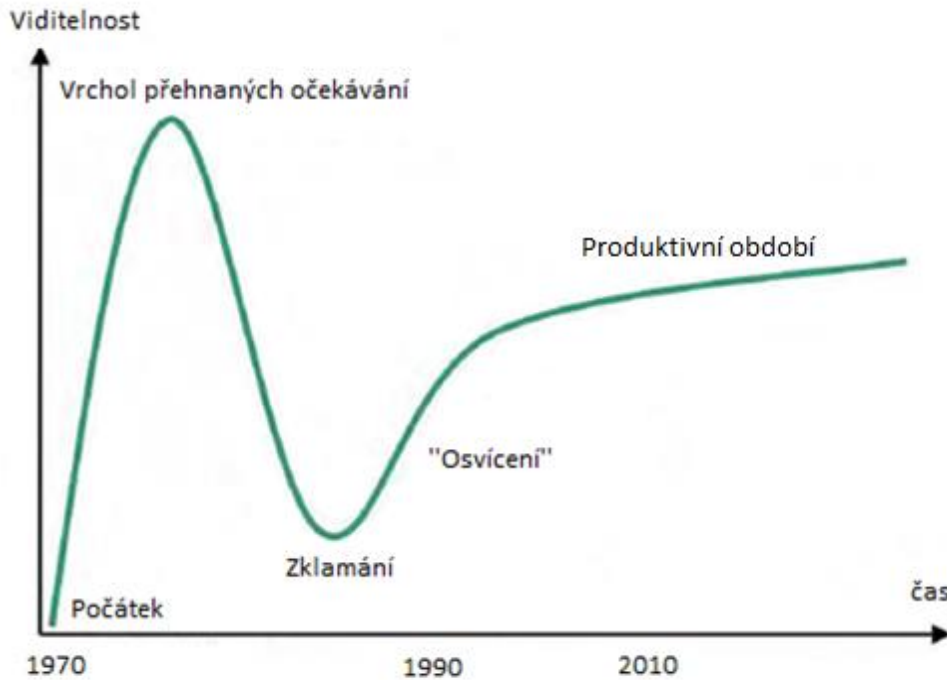


Obr. 2.3 – Závislost úrovně detailu modelu a potenciální chyby v předpovědi [5]

## 2.2 Historie

Modelování energetické náročnosti budov pomocí počítačových simulací je předmětem zkoumání už od 60. let 20. století. Většina prvotních prací se zabývala energetickou analýzou. V průběhu doby se oblast simulací rozšířila a stala se více integrovanou. Programy nabízí nástroje pro simulaci přenosu tepla a hmoty konstrukcemi budov, proudění vzduchu v budově, osvětlení a širokou škálu dalších komponentů. Zároveň bylo zjednodušeno grafické rozhraní, což usnadňuje používání těchto komplexních nástrojů. [6]

Energetické simulace budov zažily tzv. „hype cycle“ (obr. 2.4), jako spousta jiných technologických pokroků. Přehnaná očekávání očekávání v 80. letech vystřídala vlna zklamání. Následujících 30 let využití simulací pozvolna roste. [5]



Obr. 2.4 – "Hype cycle" energetických simulací budov [5]

Po celém světě jsou podporovány hodnotící programy zelených budov jako LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) a BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Method) a také Evropská směrnice EPBD (European Performance of Buildings Directive). [5]

V roce 1986 skupina podobně smýšlejících osob založila IBPSA (International Building Performance Simulation Association), neziskovou společnost výzkumníků, vývojářů a odborníků zabývajících se posuzováním vývoje modelů, usnadňováním hodnocení budov, podporováním použití softwarových programů, adresováním standardizace a urychlováním integrace a přenosu technologií. [1]

ASHRAE (American Society of Heating Refrigerating and Air–Conditioning Engineers) spolupracuje s IBPSA na vytvoření certifikačního programu, který ověřuje schopnost jednotlivce vyhodnocovat, vybrat, použít, kalibrovat, a interpretovat výsledky simulačního programu, a také modelovat nové a existující budovy a systémy. Probíhající iniciativa BESTEST reprezentuje mezinárodní snahu mající za cíl zvýšení důvěryhodnosti simulačních programů. Výsledkem je metoda testování simulačních programů ASHRAE Standard Method of Test 140 (viz dále). [5]

Případy, kdy použití simulace není vhodné [7]:

1. Problém může být vyřešen "zdravým rozumem".
2. Problém může být vyřešen analyticky.
3. Je jednodušší provést experiment.
4. Cena simulace překračuje možné úspory.
5. Pro projekt nejsou dostupné řádné zdroje.
6. Není dostatek času.
7. Nejsou k dispozici žádná data.
8. Model nemůže být verifikován a validován.
9. Očekávaného výsledku nelze dosáhnout.
10. Chování systému je příliš složité, nebo nedefinovatelné.

### 2.3 Simulační programy

Existují stovky softwarových nástrojů pro energetickou simulaci budov. Je důležité rozlišovat výpočetní jádro programu, které dynamicky řeší termodynamické rovnice od simulačního prostředí (rozhraní).

Programy pro energetickou simulaci budov se dělí na:

- programy s integrovaným simulačním jádrem (Energy Plus, ESP–r, TAS, IES–VE, IDA ICE)
- programy využívající cizí simulační jádro (Design Builder, eQuest, RIUSKA, Sefaira)
- Tzv. zásuvné moduly (z angl. plug–in) umožňují energetickou simulaci jiným programům (DIVA pro Rhino, Honeybee, Autodesk Green Building Studio) [8]

Seznam nejpožívanějších simulačních programů je v tabulce 2.1.

Tab. 2.1 Seznam simulačních programů [8]

Simulační jádro	Vývojář	První verze	Licence	Simulační programy a grafická rozhraní
ApacheSim	Integrated Environmental Solutions Ltd., UK		komerční	VE 2018
Carrier HAP	United Technologies, US		komerční	Carrier HAP
DOE–2	James J. Hirsch & Associates, US	1978	freeware	eQuest, RIUSKA, EnergyPro, GBS
Energy+	Lawrence Berkeley National Laboratory, US	2001	freeware	Design Builder, OpenStudio, Many other
ESP–r	University of Strathclyde, UK	1974	freeware	ESP–r
IDA	EQUA Simulation AB, SE	1998	komerční	ICE, ESBO
SPARK	Lawrence Berkeley National Laboratory, US	1986	freeware	VisualSPARK
TAS	Environmental Design Solutions Limited, UK		komerční	TAS 3D Modeler
TRNSYS	University of Wisconsin–Madison, US	1975	komerční	Simulation Studio, TRNBuild

### 3. Metodika testování BESTEST

Informace v této kapitole jsou převzaty ze zprávy BESTEST: Judkoff R., Neymark J. International Energy Agency Building Energy Simulation Test and Diagnostic Method. Golden, Colorado, 1995. National Renewable Energy Laboratory.

Dnes již standardizovaná (ANSI/ASHRAE Standard 140–2017) metodika BESTEST začala vznikat v roce 1990. Byla vytvořena experty ze skupiny Mezinárodní energetické agentury (IEA). Účelem metodiky BESTEST je vytvořit standardizované testy pro vzájemné porovnávání a diagnostiku programů simulujících energetickou náročnost budov. Testy jsou založeny na principu porovnávání výsledků testovaného simulačního programu proti výsledkům referenčních simulačních programů. Tento druh testování nedokáže ohodnotit všechny aspekty simulačního programu, dokáže však odhalit vady a limitace testovaného programu.

Různé simulační programy vyžadují zadávání různých vstupních informací, modelové případy tohle musí zohledňovat. Modelových případů je celkem 40, z toho 4 jsou volně plovoucí varianty případů 600, 650, 900 a 950. Pro otestování simulačního programu metodikou BESTEST je potřeba provést 14 kvalifikačních testů, zbylých 26 testů slouží pro diagnostiku. Modelové případy jsou číslovány od nejjednodušších (195) po složitější (990). Série 600 a 900 jsou tvořeny kvalifikačními případy a proto jsou testovány nejdříve. Zbylé série jsou tvořeny diagnostickými případy.

**Kvalifikační případy 600 až 650 a 900 až 990** jsou sadou budov s lehkou a těžkou konstrukcí. Modely těchto budov jsou relativně realistické, co se týče jejich tepelných charakteristik. Tyto případy mají za cíl otestovat schopnost simulačního programu pracovat s okny v různých orientacích, horizontálním a vertikálním venkovním stíněním, útlumem vytápění/chlazení, pasivním zaskleným prostorem a sdílením tepla s přilehlou zeminou.

**Diagnostické případy 195 až 320** se pokouší izolovat vliv jednotlivých částí algoritmů tím, že mění jediný parametr případ od případu. Tyto případy jsou relativně jednoduché kvůli minimalizování množství interakcí. Požadavek na změnu jednotlivých parametrů může znemožnit použití některých programů, protože nejsou dostatečně detailní.

**Diagnostické případy 395 až 440** jsou realističtější verzí předchozí skupiny případů pro simulační programy, které předchozí případy nedokáží modelovat. Tyto případy však neposkytují tak přesnou diagnózu kvůli vzniklým interakcím.

Základní geometrií modelových případů je kvádrová zóna. Geometrické a materiální specifikace jsou úmyslně co nejjednodušší kvůli minimalizování možnosti chybného zadání dat na straně uživatele.

### 3.1 Pravidla provedení testů

- Používat co nejdětalnější úroveň modelování testovaného programu.
- Nepoužívat konstantní součinitele kombinovaného přenosu tepla konvekcí a sáláním, pokud program umožňuje výpočet konvekce a sálání detailnějším způsobem.
- Pokud program zahrnuje tloušťku stěn do definice 3D geometrie budovy, je nutné definovat tloušťku stěn, střech a podlah tak, aby objem vzduchu v místnosti odpovídal zadání ( $6\text{m} \times 8\text{m} \times 2,7\text{m} = 129,6 \text{ m}^3$ )
- Čas v této metodice je určován tak, že první hodina dne je interval od půlnoci do 1 hodiny ráno.

### 3.2 Postup

Existují dva způsoby provedení testu. Jednodušší způsob je provedení pouze kvalifikačních testů, což je postačující pro vyhodnocení metodikou BESTEST. Vývojáři a výzkumníci mohou provést všechny testy (kvalifikační i diagnostické), čímž získají více informací o chování programu.

Pořadí testovaných případů je určeno kvalifikačními a diagnostickými vývojovými diagramy. Začínáme provedením kvalifikačních testů budov lehké konstrukce (případy 600 – 650). Jako první lze provést případ 600, geometrie budovy a vstupní data jsou popsány dále. Zbývající případy budov lehké konstrukce vytvoříme modifikací případu 600. Po dokončení série 600 následují kvalifikační testy budov těžké konstrukce (případy 900 – 990). Kde je postup obdobný. Zbývající kvalifikační volně plovoucí varianty případů 600, 650, 900 a 950 (600FF, 650FF, 900FF a 950FF), by měly být provedeny, pokud testovaný simulační program dokáže počítat teploty v hodinových intervalech. U těchto případů je vypnuto vytápění a klimatizace (větrání je však i nadále nutné u případů 650FF a 950FF). Simulační program úspěšně splňuje metodiku BESTEST pokud výsledky testovaných případů série 600 a 900 odpovídají referenčnímu programu. V případě neshodujících se výsledků určíme pravděpodobnou chybu simulačního programu z vývojového diagramu. Přesná hodnota dovolené chyby zatím nebyla zvolena, doporučené rozmezí výsledků je popsáno dále.

Následující tabulky 3.1 a 3.2 obsahují specifikaci jednotlivých případů z hlediska požadovaných teplot, charakteru konstrukce (lehké, těžké), intenzit větrání, vlastností povrchů, oken, orientace stěn a stínění.

Tab. 3.1 – Popis diagnostických případů lehké konstrukce (Převzato z BESTESTu)

CASE #	SETPOINTS (c) H,C,V	OPAQUE SURFACE				OPAQUE SURFACE				(m <sup>2</sup> ) GLASS	ORIENT	(m) SHADE	COMMENTS (see note 3)
		MASS	(w) INTGEN	ACH INFILTR	INT IR EMISSIV	EXT IR EMISSIV	INT SW ABSORPT	EXT SW ABSORPT	GLASS				
195	20,20	L	0	0	.1 see note 1	.1 see note 1	NA see note 4	.1	see note 1 see note 2	S	NO	Case 195 tests solid conduction	
200	20,20	L	0	0	.1 see note 1	.1	NA	.1	0	S	NO	Do cases 200 thru 215 only if you can explicitly adjust infra-red emissivity in your code. Cases 200, 195 test film convection algorithms. The major portion of the change in results between 200 & 195 will be from the opaque window. Increased differences between codes will be from the different film algorithms.	
210	20,20	L	0	0	.1	.9	NA	.1	0	S	NO	Cases 210,200 test ext ir with int ir off	
215	20,20	L	0	0	.9	.1	NA	.1	0	S	NO	Cases 220,215 test ext ir with int ir on. Case 215,200 test int ir with ext ir off.	
220	20,20	L	0	0	.9	.9	NA	.1	0	S	NO	Case 220,210 test int ir with ext ir on. Case 220 is Base for 230 - 270.	
230	20,20	L	0	1	.9	.9	NA	.1	0	S	NO	Cases 230,220 test infiltration.	
240	20,20	L	200	0	.9	.9	NA	.1	0	S	NO	Cases 240,220 test internal gains.	
250	20,20	L	0	0	.9	.9	NA	.9	0	S	NO	Cases 250,220 test exterior solar absorptance/incident solar.	
270	20,20	L	0	0	.9	.9	.9	.1	12	S	NO	Cases 270,220 test South solar transmittance/incident solar.	
280	20,20	L	0	0	.9	.9	.1	.1	12	S	NO	Cases 280,270 test cavity albedo.	
290	20,20	L	0	0	.9	.9	.9	.1	12	S	1.0mH	Cases 290,270 test south horizontal overhang.	
300	20,20	L	0	0	.9	.9	.9	.1	6,6	E,W	NO	Cases 300,270 test East & West solar transmittance & incidence.	
310	20,20	L	0	0	.9	.9	.9	.1	6,6	E,W	1.0mHV	Cases 310,300 test East & West overhang & fins.	
320	20,27	L	0	0	.9	.9	.9	.1	12	S	NO	Cases 320,270 test thermostat deadband.	

Note1: Cases with 0 glass area (except case 195 & 395) have a "High Conductance Wall" in place of the window and with the same area as the window.  
Case 195 has neither a window, nor a "High Conductance Wall", but consists of 100% normally insulated wall as specified for the light-weight case.

Note2: The "High Conductance Wall" has the same exterior & interior IR emissivity, and the same solar absorptivity as specified for the normal wall in each case.  
The "High Conductance Wall" surface texture is very smooth (like glass).

Note3: TITLES: H=Heating, C=Cooling, V=Venting, L=Lightweight, H=Heavyweight  
INTGEN 200 means a constant heat input of 200W (60% radiant, 40% convective)  
ACH INFILTR=Air Changes per Hour Infiltration/INT=Interior, EXT=Exterior, EMISSIV=Emissivity  
SW=ShortWave, ABSORPT=Absorptivity/ORIENT=Orientation, S=South, EW=East&West  
SHADE=Window shading device, 1.0mH=1meter deep Horizontal shade  
HV=combination Horizontal & Vertical shade

Note4: Interior short wave absorptance doesn't matter when glass area is 0.



Tab. 3.2 – Popis zbyvajících diagnostických případů a kvalifikačních případů lehké a těžké konstrukce (Převzato z BESTEST11)

CASE #	SETPOINTS		OPAQUE SURFACE				OPAQUE SURFACE				GLASS (m <sup>2</sup> )	ORIENT	SHADE (m)	COMMENTS (see note 2)
	H, C, V	(g)	MASS	INTGEN	ACH INFILTR	INT IR EMISSIV	EXT IR EMISSIV	INT SW ABSORPT	EXT SW ABSORPT					
395	20,27		L	0	0	.9	.9	NA	.1	see note 3	S	no	Case 395 tests solid conduction	
400	20,27		L	0	0	.9	.9	NA	.1	0	S	no	Cases 400,395 test surface convection & IR. (see note 4)	
410	20,27		L	0	.5	.9	.9	NA	.1	0	S	no	Cases 410,400 test infiltration.	
420	20,27		L	200	.5	.9	.9	NA	.1	0	S	no	Cases 420,410 test internal heat generation.	
430	20,27		L	200	.5	.9	.9	NA	.6	0	S	no	Cases 430,420 test exterior solar absorptance & incident solar.	
440	20,27		L	200	.5	.9	.9	.1	.6	12	S	no	Cases 440,600 test interior solar absorptance & cavity albedo.	
600	20,27		L	200	.5	.9	.9	.6	.6	12	S	no	Cases 600,430 test south solar transmission.	
610	20,27		L	200	.5	.9	.9	.6	.6	12	S	1.0mH	Case 610,600 test south overhang.	
620	20,27		L	200	.5	.9	.9	.6	.6	6,6	E,W	no	Cases 620,600 test East & West solar transmittance/incidence.	
630	20,27		L	200	.5	.9	.9	.6	.6	6,6	E,W	1.0mHV	Cases 630,620 test East & West overhangs & fins.	
640	SETBACK		L	200	.5	.9	.9	.6	.6	12	S	no	Cases 640,600 test night setback.	
650	27,V		L	200	.5	.9	.9	.6	.6	12	S	no	Case 650,600 test venting.	
800	20,27		H	200	.5	.9	.9	NA	.6	0	S	no	Cases 800,430 test thermal mass with no transmitted solar.	
810	20,27		H	200	.5	.9	.9	.1	.6	12	S	no	Cases 810,900 test interior solar absorptance & mass interaction.	
900	20,27		H	200	.5	.9	.9	.6	.6	12	S	no	Case 900,600 test thermal mass & solar interaction.	
910	20,27		H	200	.5	.9	.9	.6	.6	12	S	1.0mH	Cases 910,900 test south overhang/mass interaction.	
920	20,27		H	200	.5	.9	.9	.6	.6	6,6	E,W	no	Cases 920,900 test East & West transmittance/mass interaction.	
930	20,27		H	200	.5	.9	.9	.6	.6	6,6	E,W	1.0mHV	Cases 930,920 test East & West shading/mass interaction.	
940	SETBACK		H	200	.5	.9	.9	.6	.6	12	S	no	Cases 940,900 test setback/mass interaction.	
950	27,V		H	200	.5	.9	.9	.6	.6	12	S	no	Cases 950,900 test venting/mass interaction.	
960	2ZONE SS		H	200	.5	.9	.9	.6	.6	12	S	no	960 tests passive solar/interzone heat transfer.	
990	GROUND COUPLED		H	200	.5	.9	.9	.6	.6	12	S	no	990 tests ground coupling.	
600FF	NONE		H	200	.5	.9	.9	.6	.6	12	S	no	960 tests passive solar/interzone heat transfer.	
900FF	NONE		H	200	.5	.9	.9	.6	.6	12	S	no	990 tests ground coupling.	
650FF	NONE,V		H	200	.5	.9	.9	.6	.6	12	S	no	960 tests passive solar/interzone heat transfer.	
950FF	NONE,V		H	200	.5	.9	.9	.6	.6	12	S	no	990 tests ground coupling.	
see note 1														

Note2: For explanation of TILES see Note3 at bottom of TABLE 1-11.  
 Note3: Case 395 has neither a window, nor an "opaque window". It consists of 100% normally insulated wall as specified for the light-weight case.  
 Note4: Cases 400,395 test surface convection and IR radiation. The major portion of the change in results will be from the opaque window. Increased differences between codes will be from the different film convection & IRT algorithms.

### 3.3 Vstupní data

#### Lokace

Všechny testované budovy se nachází v místě meteorologické stanice Colorado –Denver/Stapleton (39,8°N 104,9°W), v nadmořské výšce 1609 metrů.

#### Počasí

Použitá data o počasí jsou ve formátu TMY (Typical Meteorological Year), což je databáze údajů o počasí z 229 meteorologických stanic v USA z období 1948 až 1980, z nichž je zpracován typický průběh počasí během roku. Nejaktuálnější je formát TMY3 z období 1976 – 2005. Data byla dodávána na disketě, ale jsou dostupná také v databázi Design Builderu.

#### Styk se zemí

Kvůli možné nepřesnosti simulací přenosu tepla podlahou byla podlahová izolace zesílena natolik, aby došlo k téměř úplnému odizolování budovy od země. Uvažuje se izolace s nejmenší možnou hustotou a měrnou tepelnou kapacitou. Příklad 990 je přímo navržen na testování přenosu tepla mezi podlahou a zemí, pro tento případ jsou upřesněna speciální pravidla.

#### Infiltrace

Z důvodu vysoké nadmořské výšky je hustota vzduchu asi 80 % hustoty na úrovni moře. Pokud testovaný simulační program nepoužívá barometrický tlak z dat o počasí a lokaci, je nutné ručně upravit hodnotu infiltrace.

Tab. 3.3 – Hodnoty infiltrace podle přítomnosti automatické úpravy infiltrace podle nadmořské výšky

Způsob úpravy infiltrace	Intenzita větrání [1/h]	Faktor úpravy
Programy s automatickou úpravou infiltrace na základě nadmořské výšky	0.5 nebo 1 (Záleží na případu)	1
Programy, které uvažují nadmořskou výšku vždy 0 m n. m. (bez automatické úpravy)	0.41 nebo 0.822	0.822

#### Vnitřní tepelné zisky

Jsou to tepelné zisky od vybavení, osvětlení, lidí, zvířat, atd., které nesouvisí s větráním a vytápěním. Případy s vnitřně generovanými citelnými zisky jsou popsány v tabulkách 2 a 3. Uvažujeme konstantní hodnotu 200 W (60 % zářením, 40 % konvekcí, 100% citelný výkon).

#### Vysoce vodivá stěna (neprůsvitné okno)

Tento element nahrazuje 12 m<sup>2</sup> průsvitné okno na jižní stěně, pro všechny případy s rozměrem skla 0,0 m<sup>2</sup> (kromě případů 195 a 395, kdy je průsvitné okno nahrazeno normální izolovanou stěnou).

Vlastnosti tohoto elementu jsou následující:

- Krátkovlnná propustnost = 0
- Vnitřní a vnější dlouhovlnná emisivita je stejná jako u normální izolované stěny
- Kombinovaný součinitel přestupu tepla na vnitřním povrchu je  $8,29 \text{ W/m}^2\text{K}$ , a kombinovaný součinitel přestupu tepla na vnějším povrchu je  $21 \text{ W/m}^2\text{K}$  pro případy s emisivitou 0,9. Pro případy s emisivitou 0,1 je kombinovaný součinitel přestupu tepla na vnitřním povrchu  $3,73 \text{ W/m}^2\text{K}$  a kombinovaný součinitel přestupu tepla na vnějším povrchu je  $16,9 \text{ W/m}^2\text{K}$ .
- Vnější absorpce slunečního záření je stejná jako u normální izolované stěny.
- Vodivost, hustota, měrná tepelná kapacita, drsnost povrchu jsou stejné jako u průsvitného okna.

## Okna

Tab. 3.4 – Vlastnosti okna

Vlastnost	Hodnota
Počet tabulí skla	2
Tloušťka jedné tabule	3.175 mm
Tloušťka vzduchové mezery	13 mm
Index lomu světla	1.526
Kolmá propustnost pro přímé ozáření pro jednu tabuli ve vzduchu	0.86156
Tepelný odpor skla	$0.003 \text{ (m}^2\cdot\text{K)/W}$
Kombinovaný radiační a konvektivní součinitel vzduchové mezery	$6.297 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$
Kombinovaný součinitel přestupu tepla na vnějším povrchu	$21.00 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$
Kombinovaný součinitel přestupu tepla na vnitřním povrchu	$8.29 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$
Součinitel prostupu tepla	$3.0 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$
Dlouhovlnná hemisférická emisivita skla bez povrchové úpravy	0.84
Hustota skla	$2500 \text{ kg/m}^3$
Měrná tepelná kapacita skla	$750 \text{ J/(kg}\cdot\text{K)}$
Záclony, žaluzie, rámy	Žádné
Stínící součinitel dvojskla (při kolmém dopadu paprsků)	0.916
Celková energetická propustnost dvojskla (při kolmém dopadu paprsků)	0.787

## Systémy větrání, vytápění a chlazení

Uvažuje se následující:

- 100% konvektivní vzduchový systém
- Termostat řídící se pouze teplotou vzduchu
- Neproporcionální termostat
- Bez latentních zisků

Regulace teploty vzduchu:

- 20, 20: Pokud je teplota  $< 20^{\circ}\text{C}$  – vytápět  
Pokud je teplota  $> 20^{\circ}\text{C}$  – chladit
- 20, 27: Pokud je teplota  $< 20^{\circ}\text{C}$  – vytápět  
Pokud je teplota  $> 27^{\circ}\text{C}$  – chladit
- S útlumem: Od 23:00 do 7:00 pokud je teplota  $< 10^{\circ}\text{C}$  – vytápět  
Od 7:00 do 23:00 pokud je teplota  $< 20^{\circ}\text{C}$  – vytápět  
Vždy pokud je teplota  $> 27^{\circ}\text{C}$  – chladit
- Větrání: Od 18:00 do 7:00 – větrání zapnuto  
Od 7:00 do 18:00 – větrání vypnuto  
Vytápění – vždy vypnuto  
Od 7:00 do 18:00 pokud je teplota  $> 27^{\circ}\text{C}$  – chladit  
Od 18:00 do 7:00 – chlazení vypnuto

Vlastnosti zařízení:

- Vytápění – max. výkon: 1000 kW, účinnost: 100 %
- Chlazení – max. výkon: 1000 kW, účinnost: 100 %, pouze citelné chlazení
- Větrání – max. průtok: 1703,16 m<sup>3</sup>/h (navíc ke specifikované infiltraci), odpadní teplo z běžícího ventilátoru se zanedbává

### Pasivní zasklený prostor (případ 960)

Případ 960 je složen ze dvou zón oddělených společnou zdí (tabulka 3.5). Jedna zóna je stejná jako zóna v případě 600 (lehká konstrukce, stejné rozměry). Druhá je tvořena pasivním zaskleným prostorem a podobá se zóně v případě 900 (těžká konstrukce, rozměry jsou uvedeny na obr. 3.4). Objem vzduchu pasivního zaskleného prostoru je 43,2 m<sup>3</sup>. V pasivním zaskleném prostoru, jak název napovídá, se ani netopí ani nechladí.

Tab. 3.5 – Vlastnosti společné zdi

$\lambda$ [W/(m·K)]	$\delta$ [m]	U [W/(m <sup>2</sup> ·K)]	R [(m <sup>2</sup> ·K)/W]	$\rho$	c [J/(kg·K)]	$\alpha$
0.510	0.2	2.55	0.392	1400	1000	0.6

### Sdílení tepla s přilehlou zemínou (případ 990)

V případě 990 nejsou zadány žádné zjednodušující okrajové podmínky sdílení tepla s přilehlou zemínou. Je tedy na uživateli, aby případ vymodeloval co nejpřesněji. Obecně u nových staveb trvá přibližně rok, než se vyrovnají teplotní rozdíly mezi budovou a zemínou. V tomto případě máme uvažovat, že budova byla právě postavena.

Případ 990 je stejný jako kvalifikační případ 900, až na následující rozdíly:

- Budova je ponořena o 1,35 m do země
- V úrovni pod zemínou byly odstraněny všechny vrstvy z podlahy a stěn kromě těch betonových
- V úrovni nad zemínou jsou stěny i strop stejné jako v případě 900
- Velikost jižního okna byla zmenšena na 10,8 m<sup>2</sup> a zabírá celou výšku stěny nad zemínou

Zemina v případě 990 má následující vlastnosti:

- Vodivost zeminy:  $\lambda = 1,3 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$
- Hustota zeminy:  $\rho = 1500 \text{ kg/m}^3$
- Měrná tepelná kapacita zeminy:  $c = 800 \text{ J/(kg}\cdot\text{K)}$
- Teplota zeminy – Nespecifikováno

### Konstrukce

#### Materiálové specifikace: Lehká konstrukce

Tab. 3.6 – Materiálové specifikace: Lehká konstrukce

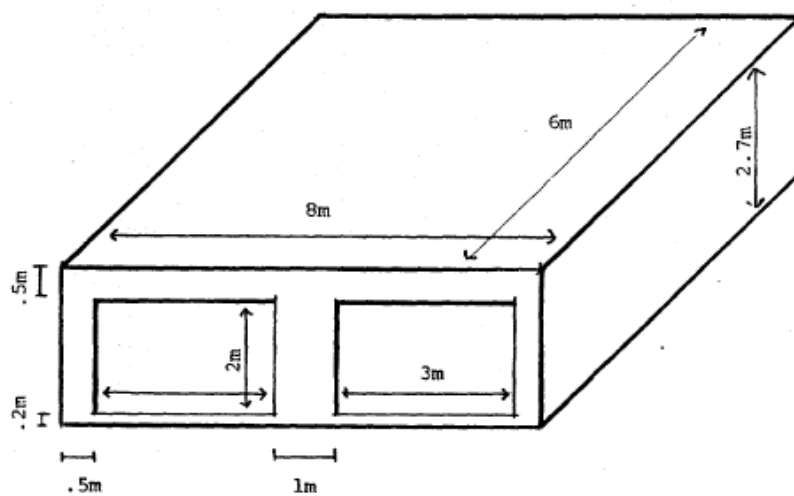
Venková zeď (vnitřek → venek)						
Element	$\lambda \text{ [W/(m}\cdot\text{K)]}$	$\delta \text{ [m]}$	$U \text{ [W/(m}^2\cdot\text{K)]}$	$R \text{ [(m}^2\cdot\text{K)/W]}$	$\rho \text{ [kg/m}^3]$	$c \text{ [J/(kg}\cdot\text{K)]}$
Sádrokarton	0.160	0.012	13.333	0.075	950	840
Skelná vata	0.040	0.066	0.606	1.650	12	840
Dřevěný obklad	0.140	0.009	15.556	0.064	530	900
Podlaha (vnitřek → venek)						
Element	$\lambda \text{ [W/(m}\cdot\text{K)]}$	$\delta \text{ [m]}$	$U \text{ [W/(m}^2\cdot\text{K)]}$	$R \text{ [(m}^2\cdot\text{K)/W]}$	$\rho \text{ [kg/m}^3]$	$c \text{ [J/(kg}\cdot\text{K)]}$
Parkety	0.140	0.025	5.600	0.179	650	1200
Izolace	0.040	1.003	0.040	25.075	Nejmenší možná	Nejmenší možná
Střecha (vnitřek → venek)						
Element	$\lambda \text{ [W/(m}\cdot\text{K)]}$	$\delta \text{ [m]}$	$U \text{ [W/(m}^2\cdot\text{K)]}$	$R \text{ [(m}^2\cdot\text{K)/W]}$	$\rho \text{ [kg/m}^3]$	$c \text{ [J/(kg}\cdot\text{K)]}$
Sádrokarton	0.160	0.010	16.000	0.063	950	840
Skelná vata	0.040	0.1118	0.358	2.794	12	840
Krytina	0.140	0.019	7.368	0.136	530	900

**Materiálové specifikace: Těžká konstrukce**

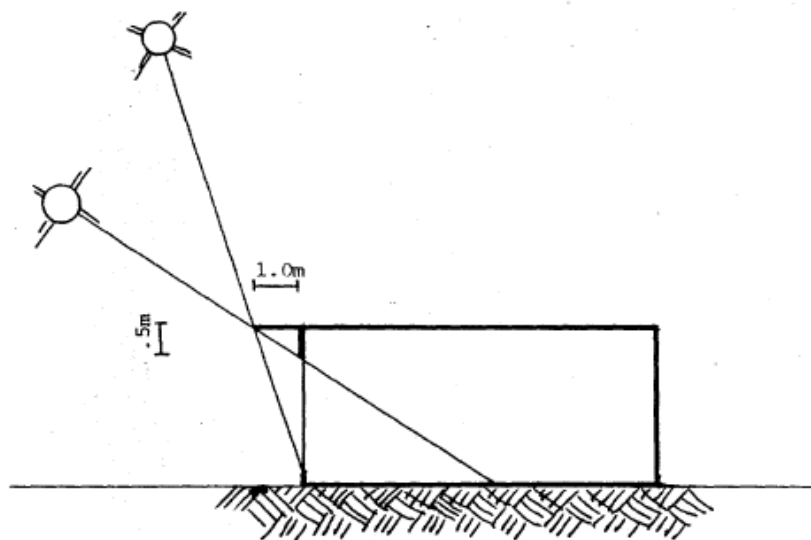
Tab. 3.7 – Materiálové specifikace: Těžká konstrukce

Venkovní zed' (vnitřek → venek)						
Element	$\lambda$ [W/(m·K)]	$\delta$ [m]	U [W/(m <sup>2</sup> ·K)]	R [(m <sup>2</sup> ·K)/W]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	c [J/(kg·K)]
Beton	0.510	0.100	5.100	0.196	1400	1000
Pěnová izolace	0.040	0.0615	0.651	1.537	10	1400
Dřevěný obklad	0.140	0.009	15.556	0.064	530	900
Podlaha (vnitřek → venek)						
Element	$\lambda$ [W/(m·K)]	$\delta$ [m]	U [W/(m <sup>2</sup> ·K)]	R [(m <sup>2</sup> ·K)/W]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	c [J/(kg·K)]
Beton	1.130	0.080	14.125	0.071	1400	1000
Izolace	0.040	1.007	0.040	25.175	Nejmenší možná	Nejmenší možná
Střecha (vnitřek → venek)						
Element	$\lambda$ [W/(m·K)]	$\delta$ [m]	U [W/(m <sup>2</sup> ·K)]	R [(m <sup>2</sup> ·K)/W]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	c [J/(kg·K)]
Sádkartón	0.160	0.010	16.000	0.063	950	840
Skelná vata	0.040	0.1118	0.358	2.794	12	840
Krytina	0.140	0.019	7.368	0.136	530	900

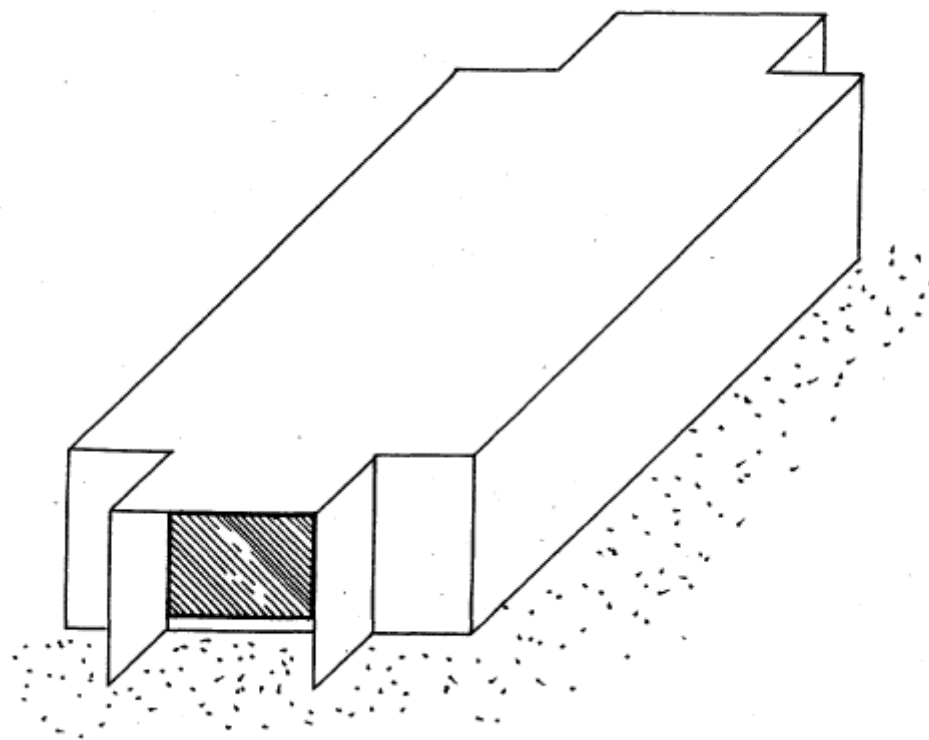
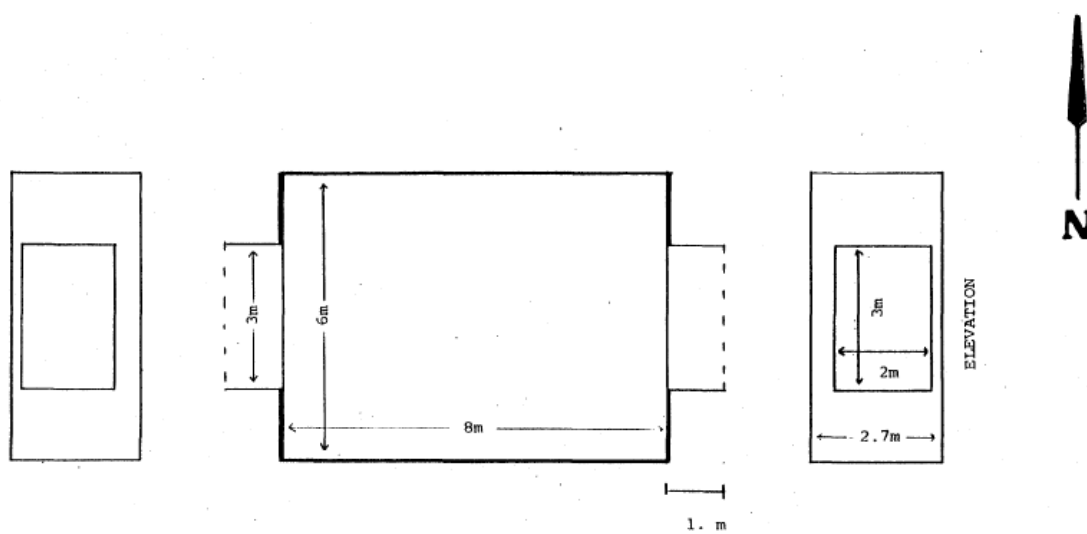
## Geometrie



Obr. 3.1 – Příklad s jižními okny bez stínění (převzato z BESTESTu)

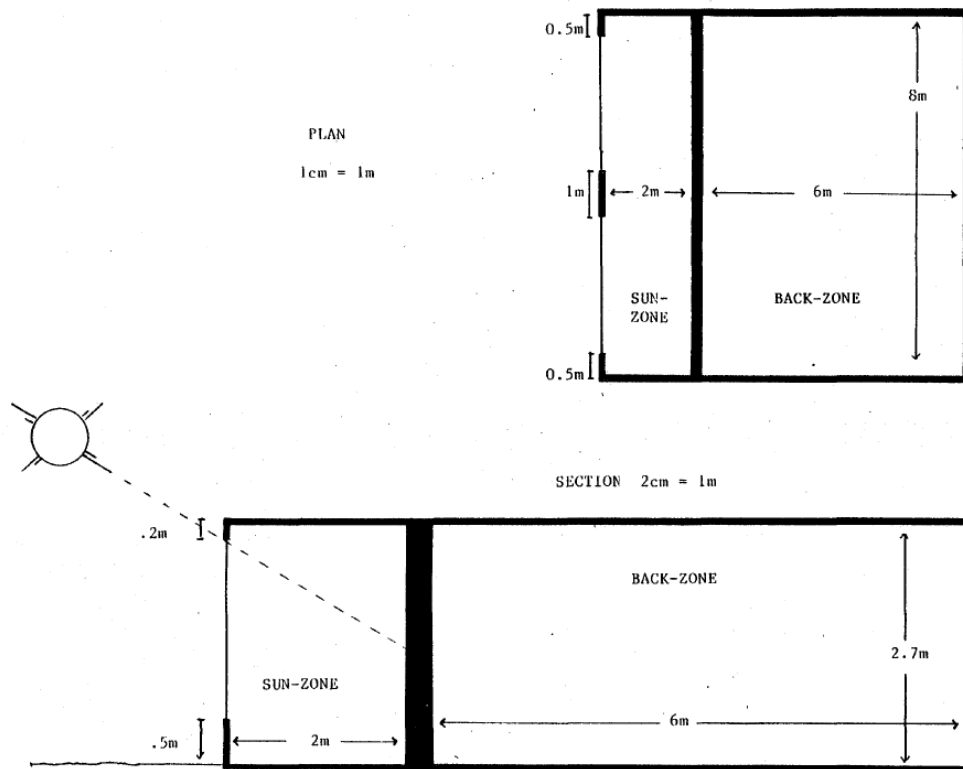


Obr. 3.2 – Příklad s jižními okny se stíněním (převzato z BESTESTu)



Obr. 3.3 – Příklad s východními a západními okny se stíněním vodorovným i svislým (převzato z BESTESTu)





Obr. 3.4 – Příklad s pasivním zaskleným prostorem (převzato z BESTESTu)

### 3.4 Požadované výstupy

#### Roční výstupy:

- Potřeba roční topné a chladicí energie [MWh] pro všechny ne volně plovoucí případy.
- Roční hodinově integrované špičky topného a chladicího výkonu [kW] s datem a časem pro všechny ne volně plovoucí případy.
- Roční hodinově integrovaná maximální a minimální teplota [°C] s datem a časem a roční průměrná teplota pro všechny volně plovoucí případy a pro případ 960.
- Roční energetický zisk prostupem solární radiace (difúzní a přímé) [(kWh)/m<sup>2</sup>] bez zastínění na severních, východních, západních, jižních a vodorovných površích pro případy 600 a 900.
- Roční energetický zisk prostupem solární radiace (difúzní a přímé) [(kWh)/m<sup>2</sup>] západními a jižními okny bez zastínění pro případy 600 a 900. To nezahrnuje sekundární tepelný zisk.
- Roční energetický zisk prostupem solární radiace [(kWh)/m<sup>2</sup>] stíněným jižním oknem (případy 610 a 910) a západním oknem (případy 630 a 930).

**Denní hodinové výstupy:**

Pokud testovaný simulační program umožňuje zobrazení výsledků v hodinových intervalech, máme získat data v hodinových intervalech v následujících dnech (tab. 3.7)

Tab. 3.7 – Požadované hodinové výstupy

Hodinové výstupy	Případ číslo	Den
Hodinová teplota bez regulace [°C]	600FF a 900FF	4. ledna
Hodinové vytápění a chlazení [kWh]	600 a 900	4. ledna
Hodinová teplota bez regulace [°C]	650FF a 950FF	27. července
Hodinový energetický zisk prostupem solární radiace bez zastínění na jižních a západních površích [Wh/m <sup>2</sup> ]	600 nebo 900	27. července
Hodinový energetický zisk prostupem solární radiace bez zastínění na jižních a západních površích [Wh/m <sup>2</sup> ]	600 nebo 900	5. března

Hodinové výstupy jsou tvořeny 24 hodnotami pro každý den. První hodina (hodina 1) je definována jako čas 00:00 až 01:00.

U případů 650 a 950 se provozuje ventilátor podle rozvrhu, ale systémy chlazení a vytápění jsou vypnuty.

### 3.5 Stanovení mezí pro výsledky simulací

Při tvorbě metodiky BESTEST byly použity výsledky simulačních programů v tabulce 3.8.

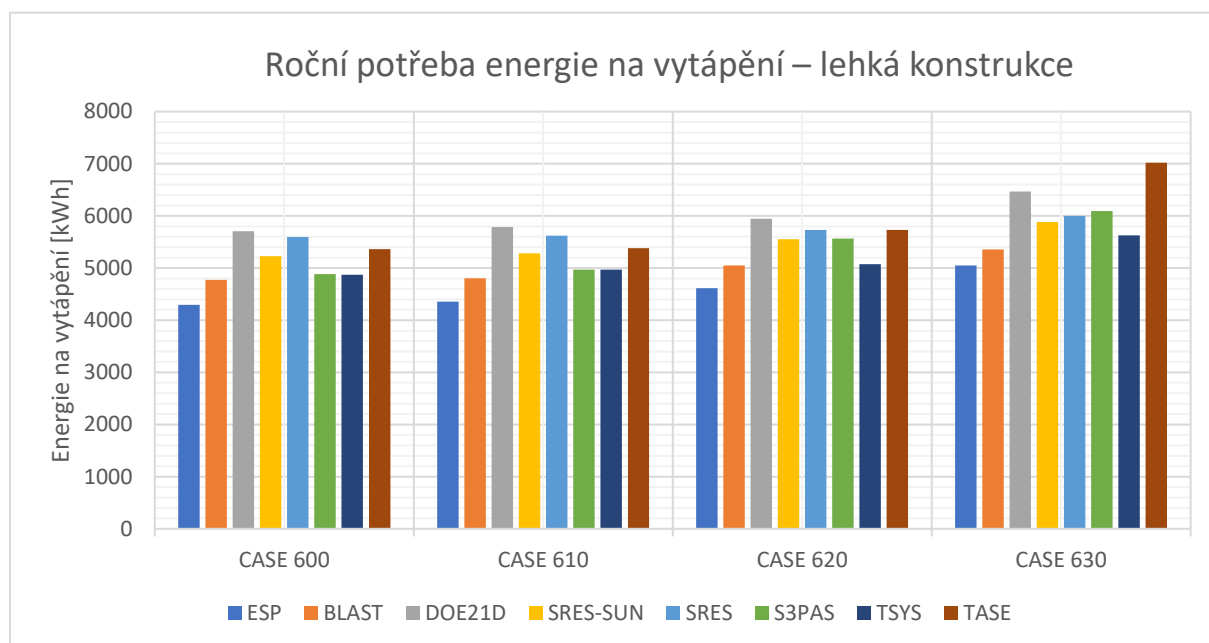
Tab. 3.8 – Simulační programy použité pro stanovení mezí BESTESTu

Simulační program	Vývojář
BLAST–3.0 level 193 v.1	CERL, US
DOE2.1D 14	LANL, US
ESP–RV8	Strathclydská univerzita, UK
SERIRES/SUNCODE 5.7	NREL, US
SERIRES 1.2	NREL/BRE, US/UK
S3PAS	Sevillská univerzita, Španělsko
TASE	Tamperská univerzita, Finsko
TRNSYS 13.1	Wisconsinská univerzita, US

Tyto referenční simulační programy byly vybrány zástupci jednotlivých zemí účastnících se tvorby metodiky BESTEST podle následujících kritérií:

- Program musí reprezentovat nejlepší možnou technologii na poli energetických simulací budov.
- Vývoj programu musí být z větší části sponzorován státem a jeho zdrojový kód musí být volně dostupný.
- Program musí simulovat na základě hodinových dat počasí a musí umožňovat simulaci po hodinových krocích.

Následující graf (obr. 3.5) ukazuje výslednou roční potřebu energie na vytápění podle referenčních simulačních programů pro kvalifikační případy lehké konstrukce (600 – 630). Tyto výsledky byly použity pro stanovení minimální a maximální dovolené hodnoty. Pro úspěšné splnění BESTESTu by měl testovaný simulační program dosáhnout výsledku v těchto mezích.



Obr. 3.5 – Ukázka výsledků referenčních simulačních programů

Pokud se některý testovaný program svým výsledkem od intervalu min–max liší, nutně to neznamená chybu, je však třeba důkladně zkontrolovat výpočetní algoritmy a zadané hodnoty.

Výsledky referenčních programů se v mnoha případech dost liší od ostatních referenčních programů. Zatímco pro kvalifikační případy byly stanoveny přijatelné meze výsledků, u diagnostických případů tomu tak není, jelikož se předpokládá, že budou provedeny experty, pro které toto zjednodušení není potřebné.

V následující tabulce 3.9 jsou uvedeny maximální odchylky výsledků referenčních simulačních programů od středních hodnot z intervalu min-max (nejhorší možný případ) pro jednotlivé skupiny případů. To jinými slovy znamená, že pro každý případ byly získány výsledky z osmi simulačních programů, z nich byl vytvořen dovolený interval min-max ohraničený minimální a maximální získanou hodnotou. Střední hodnota je hodnota ležící v polovině tohoto intervalu a výsledek referenčního simulačního programu, který je nejvíce vzdálený této střední hodnotě je maximální odchylka. V tabulce 3.9 je uvedena největší maximální odchylka pro danou skupinu případů.

Tabulka 3.9 ukazuje, že nesouhlas výsledků je obecně menší u výpočtu maximální tepelné ztráty / maximální tepelné zátěže (17 % až 35 %) a větší u výpočtu roční potřeby energie (28 % až 66 %). Dále je zřejmé, že nesouhlas je obecně vyšší při výpočtu chlazení (37 % až 66 %), zatímco u vytápění je menší (28 % až 39 %). Obecně je také nesouhlas větší u případů s těžkou konstrukcí (27 % až 60 %) a menší u případů s lehkou konstrukcí (17 % až 37 %).

Tab. 3.9 – Shrnutí referenčních výsledků metodiky BESTEST

Skupina případu	Maximální odchylka od střední hodnoty intervalu min-max (v absolutní hodnotě)	Maximální odchylka v procentech
Lehká konstrukce - roční potřeba energie na vytápění (série 600)	1,3 MWh	28 %
Lehká konstrukce - roční potřeba energie na chlazení (série 600)	1,7 MWh	37 %
Lehká konstrukce - maximální tepelná ztráta během roku (série 600)	1,0 kW	23 %
Lehká konstrukce - maximální tepelná zátěž během roku (série 600)	0,9 kW	17 %
Těžká konstrukce - roční potřeba energie na vytápění (série 900)	0,9 MWh	39 %
Těžká konstrukce - roční potřeba energie na chlazení (série 900)	1,0 MWh	66 %
Těžká konstrukce - maximální tepelná ztráta během roku (série 900)	1,0 kW	27 %
Těžká konstrukce - maximální tepelná zátěž během roku (série 900)	0,8 kW	35 %

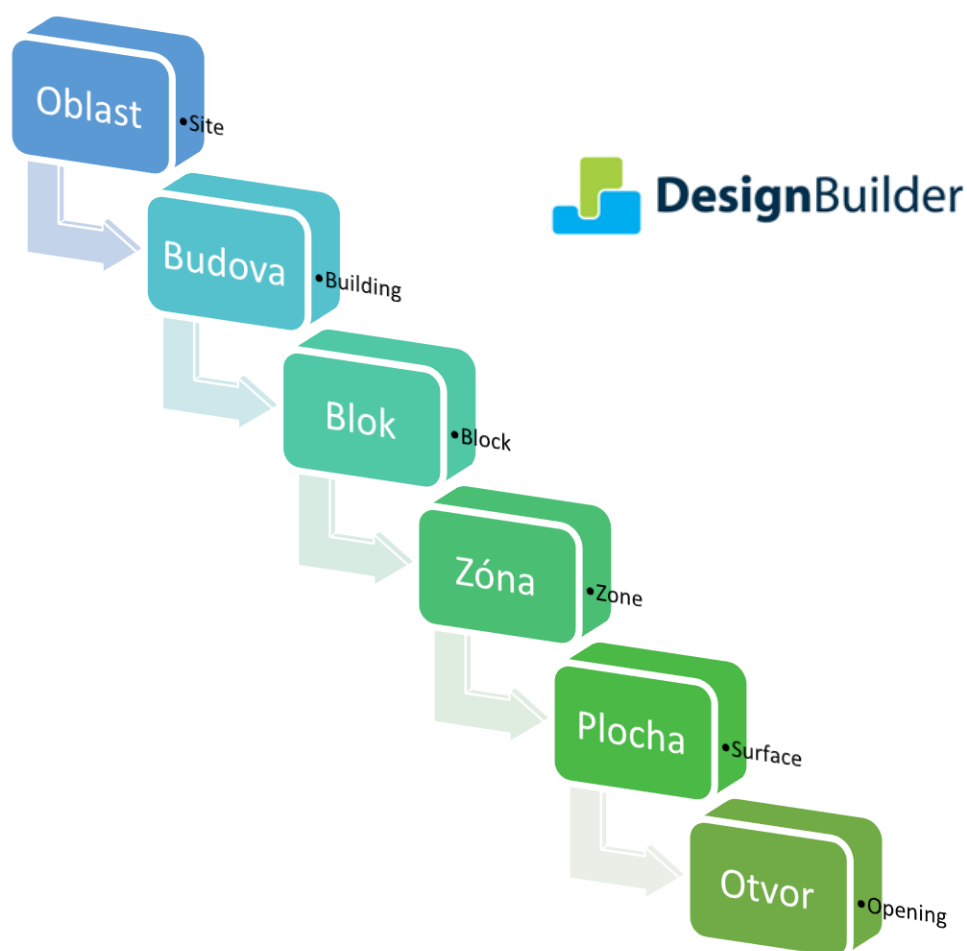
## 4. Modelování a simulace v softwaru Design Builder

### 4.1 Software Design Builder

Design Builder je britský simulační software, používající výpočetní jádro Energy Plus pro dynamickou simulaci. Dokáže simulovat energetickou náročnost budov, emise, osvětlení a tepelný komfort. Výpočty provádí po hodinových, denních nebo měsíčních krocích. Mezi hlavní oblasti použití tohoto programu patří výpočet spotřeby energie na vytápění a chlazení budov, jejich certifikace a dimenzování systémů vytápění a chlazení.

Výchozí data jsou zděděna z úrovně výše v hierarchii (obr. 4.1). Data bloku jsou zděděna z úrovně budovy, data zóny jsou zděděna z úrovně bloku a data plochy z úrovně zóny. Tím se značně zmenšuje množství zadávaných dat, což snižuje čas strávený modelováním a snižuje riziko chyb při zadávání. Při změně dat v některé z úrovní je změna zděděna všemi nižšími úrovněmi. [9]

**Pro provedení této bakalářské práce byl použit program Design Builder v5.5.2.007 s jádrem EnergyPlus DLL v8.6.0.001.**



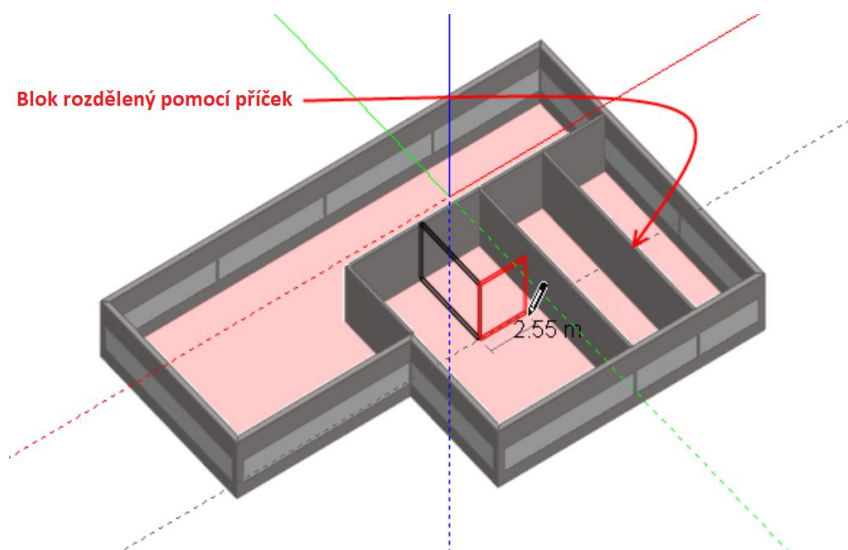
Obr. 4.1 – Hierarchie dat v programu Design Builder

Software používá tyto druhy bloků:

- Stavební blok – slouží k modelování částí budovy
- Komponentní blok
  - 1 – Standardní** – používá se pro stínění a odražení světla a pro vizualizaci (žaluzie, balkóny, sloupy, okolní budovy); modrá barva.
  - 2 – Přiléhající k zemině** – používá se k modelování styku budovy se zemí; zelená barva.
  - 3 – Adiabatický** – používá se k modelování adiabatického styku (sousedící vyhřívaná budova); červená barva.
- Obrysový blok – slouží k modelování složitých konstrukcí. Převádí se na stavební blok.

Rozměry bloků jsou měřeny vodorovně od vnějšího povrchu stěny k vnějšímu povrchu stěny a svisle od podlahy k podlaze. To však neodpovídá metodice BESTEST. Proto je nutné v nastavení změnit geometrickou konvenci na „internal dimensions“ (vnitřní povrch stěny – vnitřní povrch stěny a podlaha – strop)

Blok může být rozdělen na libovolný počet zón zakreslením příček (obr. 4.2). [9]



Obr. 4.2 – Ukázka rozdělení bloku pomocí příček [9]

Software rozlišuje tyto typy zón [9]:

- Standardní – obývaná zóna, vytápěná/klimatizovaná
- Prostory bez úpravy prostředí – půdy, garáže
- Kavita – například Trombeho stěna
- Duté podlahy a podhledy – technický prostor pro rozvod vzduchu.

Design Builder obsahuje následujících 9 modulů [10]:

- **3–D modelář:** OpenGL modelář umožňuje sestavení modelu budovy umístováním bloků v 3D prostoru a jejich následným řezáním, slučováním a protahováním. Bloky lze rozdělit na zóny pomocí příček. Následně je možné vytvořit individuální okna, větrací otvory, dveře apod. Geometrie může být importována z 2–D půdorysného výkresu. 3D CAD modely mohou být importovány ve formátu gbXML.
- **Vizualizace:** Vytváří renderované pohledy a analýzy zastínění. Umožňuje zobrazit pozici Slunce v průběhu roku, barevné označení zón na základě jejich využití, řezy jednotlivými zónami nebo celou budovou. Renderovaný model je možné exportovat ve 3D ve formátu DXF pro použití v jiných programech.
- **Simulace:** Počítá teplotu vnitřního vzduchu, střední radiační teplotu, operativní teplotu a relativní vlhkost. Počítá přenos tepla přes stavební konstrukce včetně zdí, střech, infilrací, větráním, apod. Poskytuje údaje o solárních ziscích na jednotlivých površích, povrchové teplotě a výměně tepla sáláním, umožňuje dimenzovat systémy chlazení a vytápění, umožňuje provádět výpočty s naměřenými hodinovými daty k ověření chování budovy ve skutečných provozních podmínkách. Simuluje efekt různých návrhů na roční spotřebu energie, tepelnou pohodu, emise CO<sub>2</sub>. Tyto výstupy mohou být zobrazeny v grafech nebo formou tabulky a mohou být exportovány do různých formátů.
- **Certifikace:** Může být použit pro demonstraci splnění certifikačních systémů LEED, Energy Star a BREEAM.
- **Denní osvětlení:** Modul počítá činitel denní osvětlenosti, průměrnou hodnotu činitele denní osvětlenosti a rovnoměrnost osvětlení pro každou zónu pomocí simulačního jádra Radiance. Ve většině případů není potřeba po předchozí energetické simulaci doplňovat další údaje, geometrie budovy, rozdělení do zón, odrazivost povrchů a vlastnosti zasklení jsou přeneseny z energetického modelu.
- **TZB:** Obsahuje knihovnu zdrojů tepla, chladičů, výměníků tepla, tepelných čerpadel, oběhových čerpadel, ventilátorů, zvlhčovačů, apod. A také koncových prvků vzduchotechniky, jako jsou chladicí trámy, vyústky a indukční jednotky.
- **Náklady:** Tento modul umožňuje analýzu nákladů životního cyklu v raných fázích projektu, jako jsou náklady na výstavbu, provozní náklady, opakující se náklady (např. údržba, opravy), jednorázové náklady (např. likvidace stavby), diskontní sazby, daně, znehodnocení, inflace, nárůst cen, úpravy provozu.
- **Optimalizace:** Modul umožňuje nalezení řešení návrhu, které nejlépe kombinují náklady, spotřebu energie, tepelnou pohodu a emise CO<sub>2</sub>, optimalizací typu zasklení, procenta zasklení, akumulace budovy, TZB systémů, přirozeného větrání a osvětlení, včetně strategií ovládání. Modul Optimalizace využívá genetickou optimalizaci. Nejlepší znaky návrhu jsou přeneseny na budoucí generace a proces pokračuje, dokud nejsou nalezeny optimální návrhy.
- **CFD – Computational Fluid Dynamics:** Modul CFD umožňuje provádět detailní analýzu proudění vzduchu a rozložení teplot v budově s výsledky, které odpovídají profesionálním CFD programům. Ty na rozdíl od Design Builderu vyžadují odborné znalosti, správné nastavení okrajových podmínek a jsou značně nákladné.

## 4. 2 Postup zpracování případu BESTEST 600

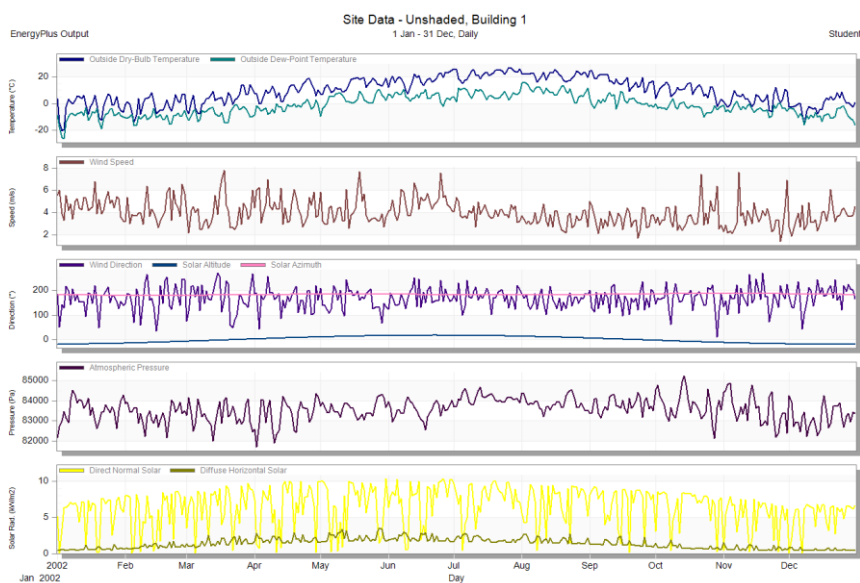
V této kapitole je předveden postup tvorby modelu pro kvalifikační případ 600.

Po založení nového projektu můžeme vkládat vstupní data. Začneme s lokací (obr. 4.3), která je BESTESTem specifikována jako meteorologická stanice DENVER/STAPLETON. Tato lokace je dostupná v databázi Design Builderu, stačí ji tedy vybrat ze seznamu a tím se načtou i zbývající hodnoty. Načtou se také data o počasí, kvůli drobné odchylce však bylo rozhodnuto použít data o počasí dodávané k BESTESTu (obr. 4.4).

The screenshot shows the 'Location Template' configuration window in Design Builder. The template is set to 'CO - DENVER/STAPLETON'. The configuration is organized into several sections:

- Site Location:** Latitude (°) is 39.75, Longitude (°) is -104.87, and ASHRAE climate zone is 5B.
- Site Details:** Elevation above sea level (m) is 1612.0, Exposure to wind is 2-Normal, and Site orientation (°) is 0.
- Simulation Weather Data:** The weather data source is set to 'Hourly weather data' with the template 'BESTEST\_FIXED'. The 'Day of week for start day' is set to '8-Use weather file'. There is an unchecked checkbox for 'Use weather file snow and rain indicators'.

Obr. 4.3 – Nastavení údajů o lokaci

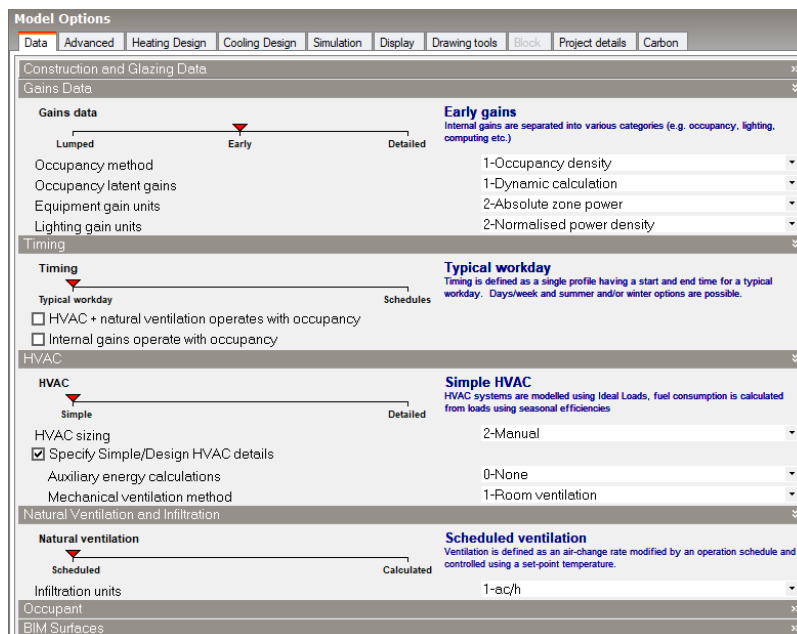


Obr. 4.4 – Grafická ukázka dat o počasí dodávaných k metodice BESTEST

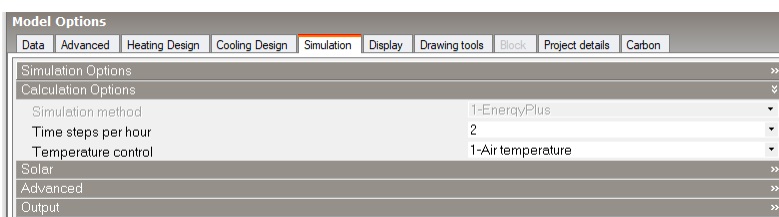


V dalším kroku (obr. 4.5) je třeba nastavit model tak, aby bylo možné zadat požadovaná data jako např. výkon vytápění a chlazení, intenzitu větrání infiltrací a časový rozvrh provozu. V základním módu by tato data nemohla být jednoduše zadána.

Musíme se také ujistit, že termostat se řídí podle teploty vzduchu (obr. 4.6), jak je specifikováno v BESTESTu.

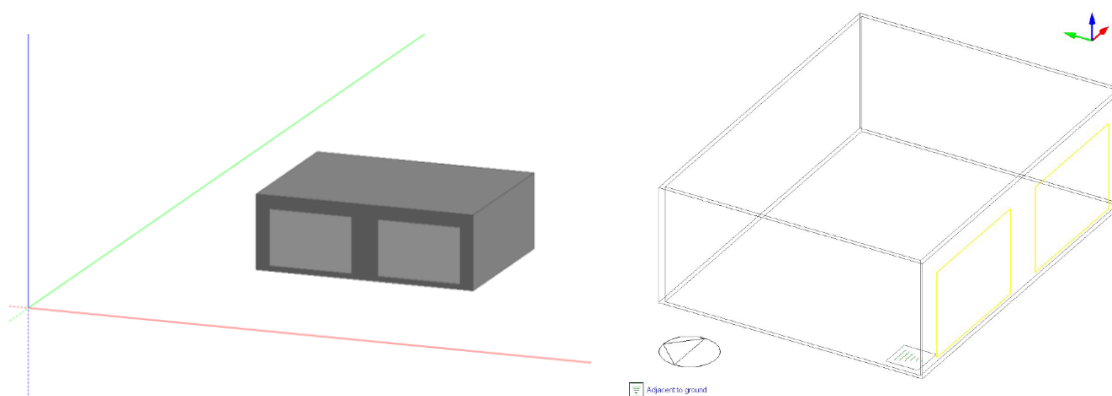


Obr. 4.5 – Nastavení způsobů vkládání dat do modelu



Obr. 4.6 – Základní nastavení simulace

Dalším krokem je vytvoření 3D modelu budovy na základě specifikované geometrie (obr. 3.1). Příklad 600 je tvořen jedním blokem, do jehož jižní stěny vložíme okna (obr 4.7).



Obr. 4.7 – 3D model budovy případu 600

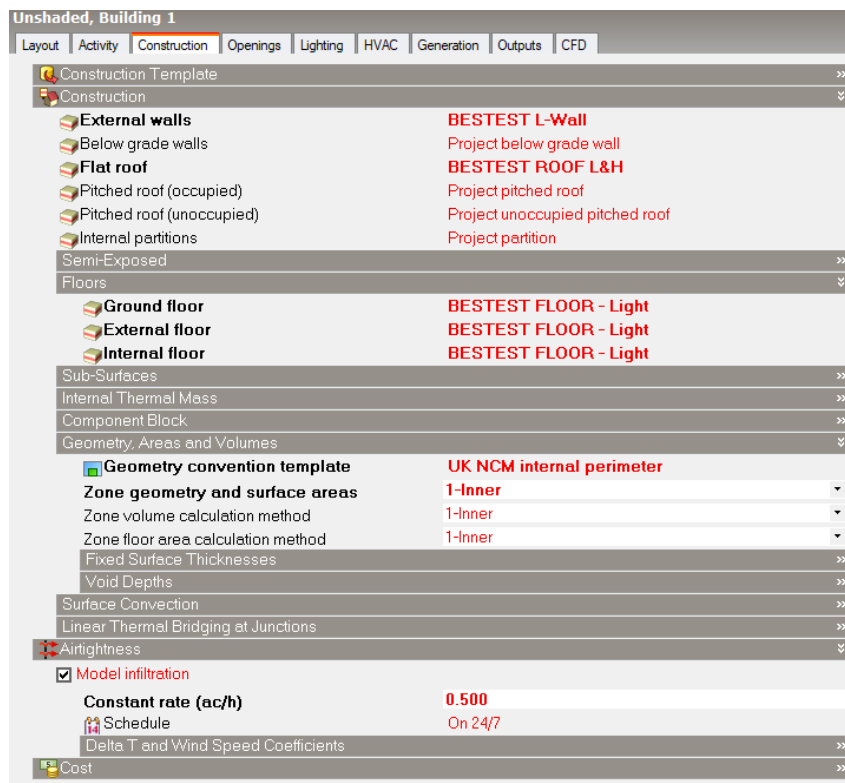
Na kartě aktivit (obr. 4.8). Můžeme ověřit, jestli se objem místnosti shoduje s objemem uvedeným pro daný případ v BESTESTu (v tomto okamžiku se shodovat nebude, je třeba změnit geometrickou konvenci, viz karta konstrukce). Dále na této kartě nastavíme teploty pro spuštění vytápění 20°C a chlazení 27°C. Také se zde specifikují vnitřní tepelné zisky, v tomto případě je nejlepší použít kancelářskou techniku, kde se dá snadno nastavit celkový výkon 200 W a způsob sdílení tepla (60 % zářením, 40 % konvekcí).

The screenshot shows the 'Unshaded, Building 1' activity card with the following settings:

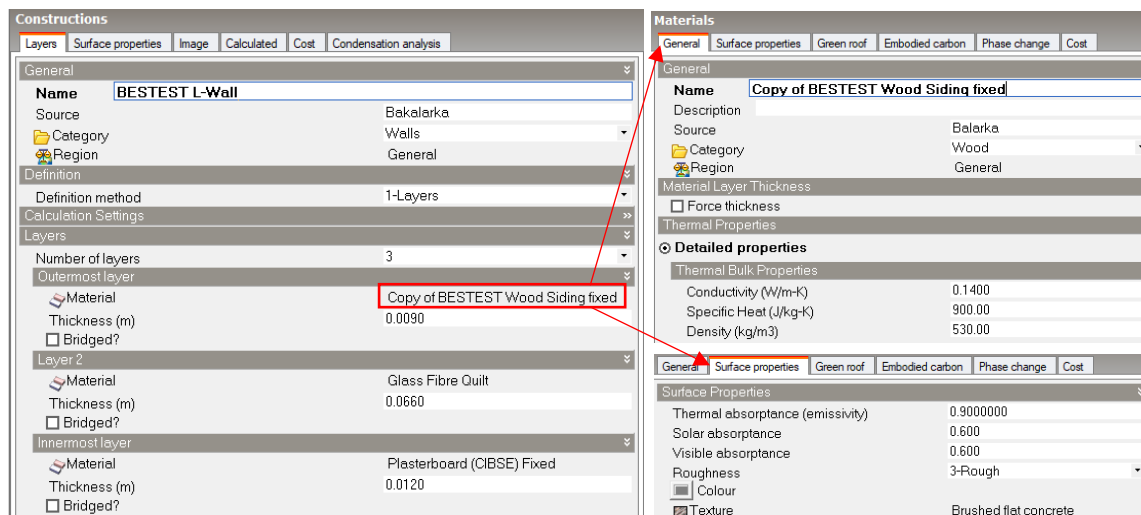
- Floor Areas and Volumes:**
  - Occupied floor area (m<sup>2</sup>): 48.0
  - Occupied volume (m<sup>3</sup>): 129.6
  - Unoccupied floor area (m<sup>2</sup>): 0.0
  - Unoccupied volume (m<sup>3</sup>): 0.0
- Occupancy:**
  - Occupancy density (people/m<sup>2</sup>): 0.0000
  - On at: 0:00
  - Off at: 24:00
  - Days / week: 7.0
- Environmental Control:**
  - Heating Setpoint Temperatures:**
    - Heating (°C): 20.0
    - Heating set back (°C): 20.0
  - Cooling Setpoint Temperatures:**
    - Cooling (°C): 27.0
    - Cooling set back (°C): 27.0
  - Ventilation Setpoint Temperatures: (empty)
  - Minimum Fresh Air: (empty)
  - Lighting: (empty)
- Office Equipment:**
  - On:
  - Absolute zone power (W): 200.00
  - On at: 0:00
  - Off at: 24:00
  - Radiant fraction: 0.600
- Miscellaneous:**
  - Catering: (empty)
  - Process: (empty)

Obr. 4.8 – Karta aktivit

Na kartě konstrukcí (obr. 4.9) definujeme vnější stěny, vnější podlahu a rovnou střechu. Případ 600 má lehkou konstrukci. Např. vnější stěna je tvořena dřevěným obložením na vnější straně, izolací a sádkokartonem na vnitřní straně. Vyplníme tloušťky a vlastnosti těchto materiálů: vodivost, měrnou tepelnou kapacitu, hustotu a také emisivitu a solární pohltivost (obr. 4.10). Dále je třeba přepnout geometrickou konvenci na vnitřní rozměry, tím získáme správný objem místnosti v předchozí kartě. A nakonec se zde specifikuje intenzita větrání infiltrací, která je v tomto případě 0,5/h.

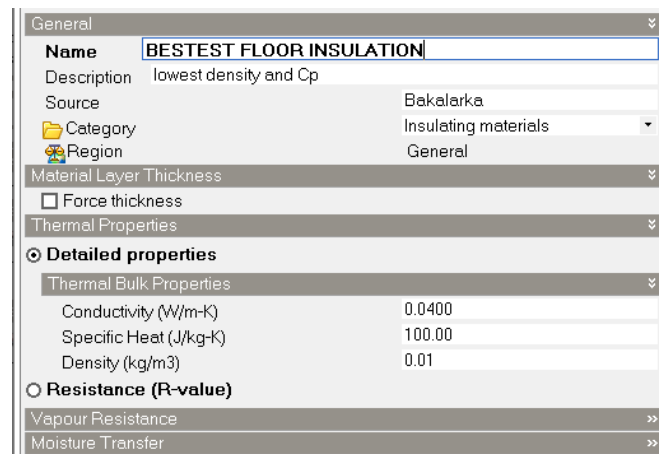


Obr. 4.9 – Karta konstrukcí a infiltrace



Obr. 4.10 – Nastavení vlastností materiálů (v tomto případě dřevěného obložení)

Podlahová izolace (obr. 4.11) má předepsanou nejmenší možnou hustotu a největší možnou měrnou tepelnou kapacitu, aby se vyloučil vliv styku s okolní zemínou. V Design Builderu je to hustota  $0.01 \text{ kg/m}^3$  a měrná tepelná kapacita  $100 \text{ J/(kg}\cdot\text{K)}$ .



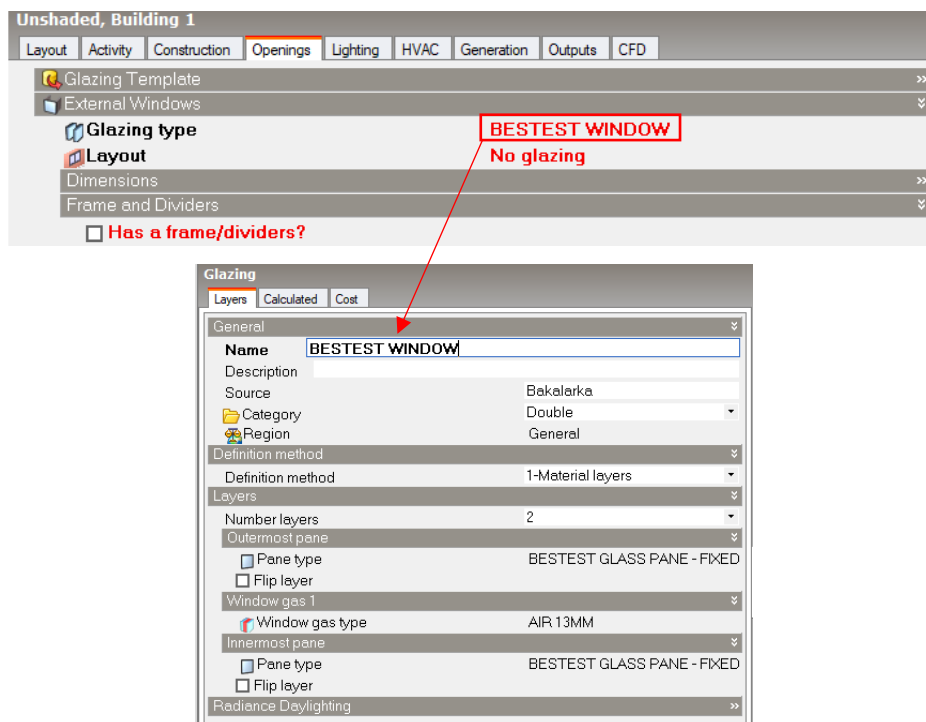
Obr. 4.11 – Vlastnosti podlahové izolace

Na obr. 4.12 je grafické znázornění výsledných konstrukcí případu 600.



Obr. 4.12 – Grafické znázornění výsledných konstrukcí případu 600

V kartě otvory (obr. 4.13) se specifikují okna. Automaticky je zapnutá možnost rámu, kterou v našem případě vypneme. Okno je tvořeno dvěma tabulemi oddělenými 13 mm vzduchu. Vlastnosti okenních tabulí jsou na obr. 4.15.



Obr. 4.13 – Karta otvorů

Vlastnosti okenních tabulí popsané v BESTESTu nejsou dostatečné pro úplnou specifikaci v Design Builderu. Podařilo se mi najít práci [11], ve které je tento problém vyřešen.

Windows are described in EnergyPlus using the Windows 5 format. Additional glass properties are required for the front side and back side. In consultation with F. Winkelmann of LBNL, it was recommended that the window described above for the ANSI/ASHRAE Standard 140-2001 test be modeled as follows in EnergyPlus:

MATERIAL WINDOWGLASS.

```

Glass Type 1, !A1 [NAME] BESTEST CLEAR 1/8 IN
SpectralAverage, !A2 [Optical data type {SpectralAverage or Spectral}]
, !A3 [Name of spectral data set when Optical Data Type = Spectral].
MATERIAL WINDOWGLASS, BESTEST CLEAR 1/8 IN
0.003175, !N1 [Thickness {m}] 1/8"
0.86156, !N2 [Solar transmittance at normal incidence]
0.07846, !N3 [Solar reflectance at normal incidence: front side, calc
from n=1.526, Tsol=.86156]
0.07846, !N4 [Solar reflectance at normal
incidence: back side]
0.91325, !N5 [Visible transmittance at normal
incidence, scaled from Window4 ID=1]
0.08200, !N6 [Visible reflectance at normal incidence: front side, based
on Window4 ID=14]
0.08200, !N7 [Visible reflectance at normal incidence: back side]
0.0, !N8 [IR transmittance at normal incidence]
0.84, !N9 [IR emittance: front side]
0.84, !N10 [IR emittance: back side]
1.06, !N11 [Conductivity {W/m-K}]
    
```

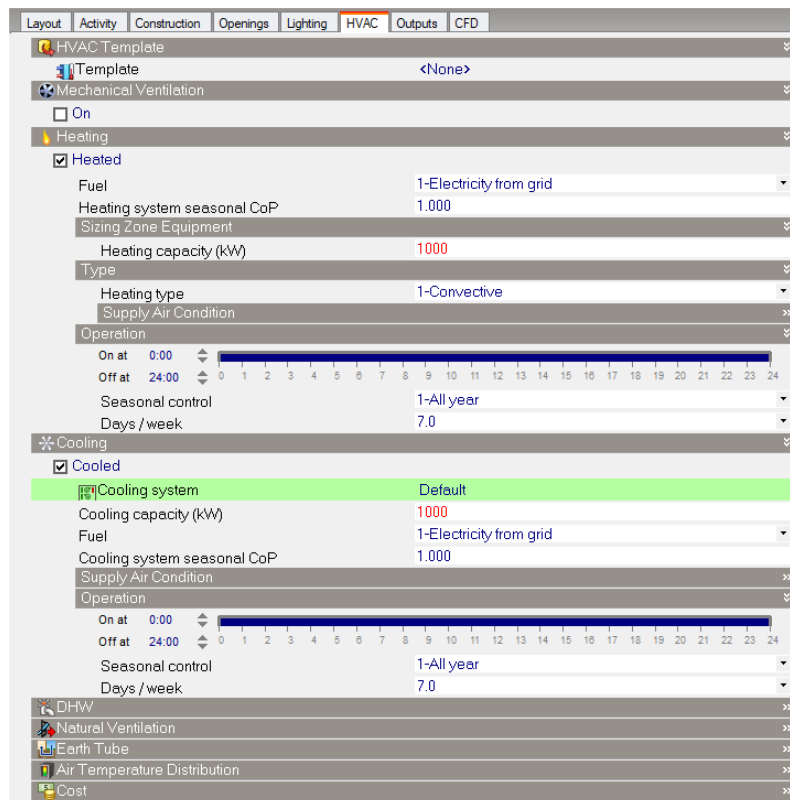


Panels				
General	Thermal	Solar	Visible	Infra-red
Thermal Properties				
Thickness (mm)	3.17500			
Conductivity (W/m-K)	1.06000			
Panels				
General	Thermal	Solar	Visible	Infra-red
Solar Properties				
Solar transmittance	0.86156			
Outside solar reflectance	0.07846			
Inside solar reflectance	0.07846			
Panels				
General	Thermal	Solar	Visible	Infra-red
Visible Properties				
Visible transmittance	0.91325			
Outside Visible reflectance	0.08200			
Inside Visible reflectance	0.08200			
Colour	<input type="checkbox"/>			
Panels				
General	Thermal	Solar	Visible	Infra-red
Infra-Red Properties				
Infra red transmittance	0.00000			
Outside emissivity	0.84000			
Inside emissivity	0.84000			

Obr. 4.14 – Dohledané vlastnosti okenních tabulí [11]

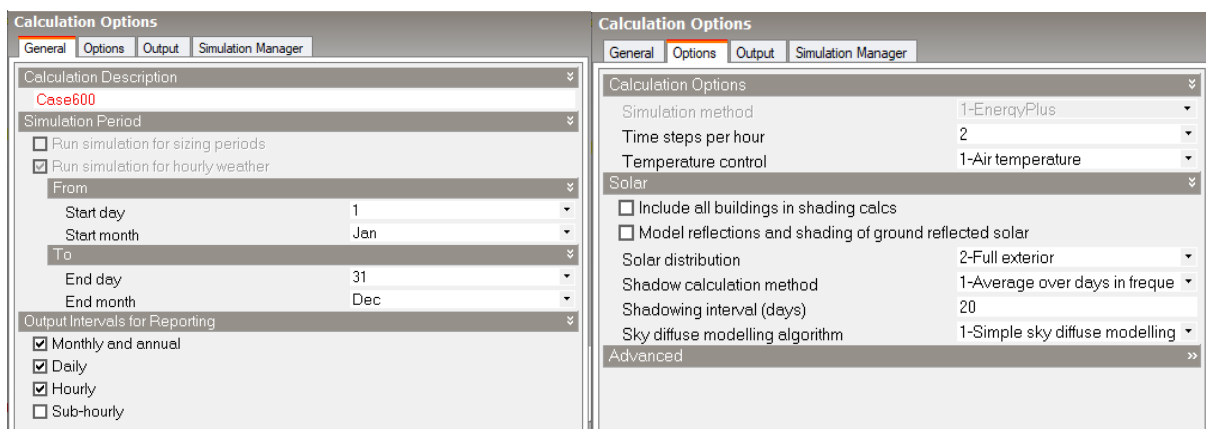
Obr. 4.15 – Vlastnosti okenních tabulí

Poslední kartou je nastavení zařízení pro vytápění a chlazení (obr. 4.16). Maximální výkon pro vytápění i chlazení je 1000 kW. A vytápění či chlazení se spustí vždy, pokud se teplota vzduchu v místnosti dostane mimo interval  $<20;27>$  °C.



Obr. 4.16 – Karta nastavení zařízení pro vytápění a chlazení

Před spuštěním simulace musíme ještě určit její podmínky (obr. 4.17). Chceme simulovat celý rok po hodinových krocích pro získání všech potřebných výsledků.



Obr. 4.17 – Nastavení podmínek simulace

## 5. Výsledky

Výsledky simulací provedených v rámci této práce jsou dále uvedeny v grafické formě a podrobněji také v tabulkách (viz část 5.7)

Grafy porovnávají vlastní hodnoty ze simulací v Design Builderu s minimálními a maximálními hodnotami dovolenými BESTESTem. Hodnoty DB TEAM jsou hodnoty získané vývojáři Design Builderu ze souboru, ve kterém oficiálně deklarují splnění BESTESTu [12].

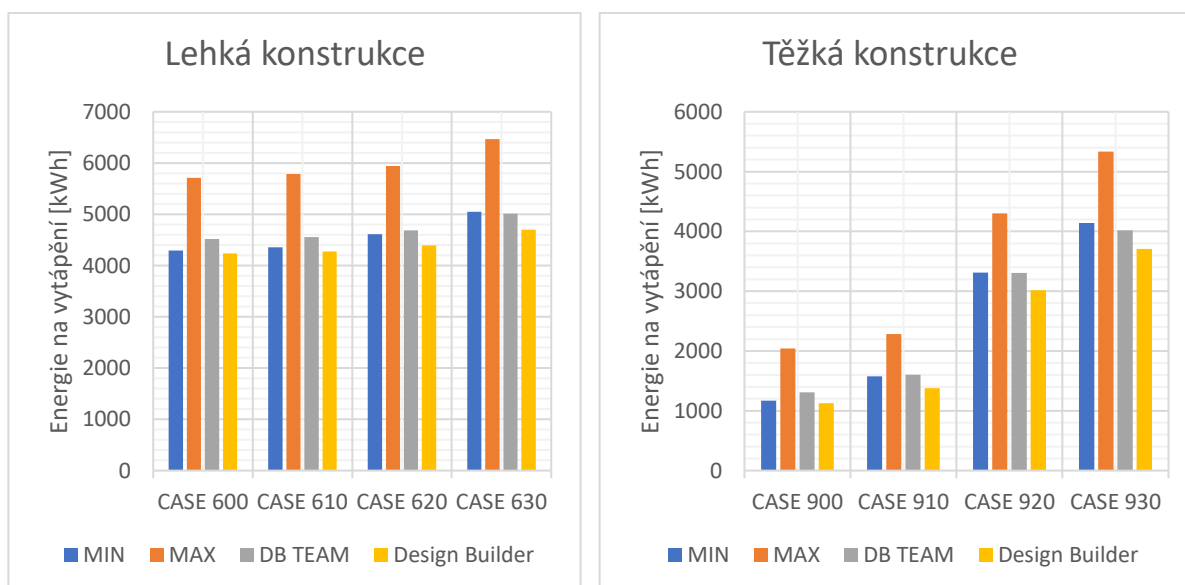
- MIN, modrá barva ... minimální hodnota dovolená BESTESTem
- MAX, oranžová barva ... maximální hodnota dovolená BESTESTem
- DB TEAM, šedá barva ... hodnoty získané týmem vývojářů Design Builderu
- Design Builder, žlutá barva ... výsledky vlastních simulací provedených v této práci

Případy 195, 200 nedokázala splnit většina referenčních programů až na jeden, z toho důvodu je hodnota MAX a MIN pro tyto případy stejná.

V části 5.5 je porovnán výsledek simulace ročního energetického zisku vstupem solární radiace v programu Design Builder (žlutá) s výsledky ostatních programů BESTESTu.

V části 5.6 jsou uvedeny výsledky simulace průběhu výkonu potřebného na vytápění a chlazení během určeného dne (4. ledna) a jsou porovnány s výsledky programů BESTESTu, v tomto případě pouze v grafické formě.

### 5.1 Roční potřeba energie na vytápění



Obr. 5.1 – Roční potřeba energie na vytápění pro případy 600 – 900

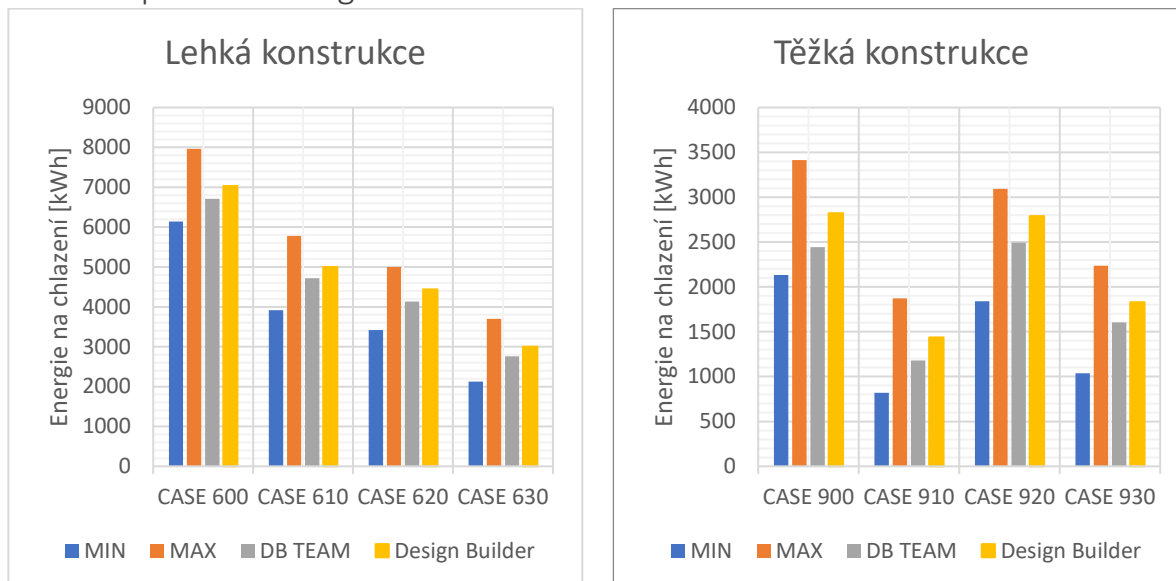


Obr. 5.2 – Roční potřeba energie na vytápění pro diagnostické případy

Skupina testů simulujících roční potřebu energie na vytápění je zdaleka nejproblémovější. Z 29 testů 15 testů vyšlo bezchybně. Oficiální výsledky DB TEAM i výsledky této práce překročily meze u případů 630, 920, 930, 300 a 310. U případů 600, 610, 900 DB TEAM nemá problém, avšak vlastní simulace v Design Builderu je mimo dovolené meze. U případů 620, 910, 270, 280, 290, 810 je DB TEAM na hraně dovolených hodnot a vlastní simulace je mimo dovolené meze. Výsledky vlastní simulace a výsledky expertního týmu DB TEAM jsou si i přesto velmi blízké. V některých případech dokonce výsledky této práce odpovídají BESTESTu lépe než výsledky DB TEAM.



## 5.2 Roční potřeba energie na chlazení



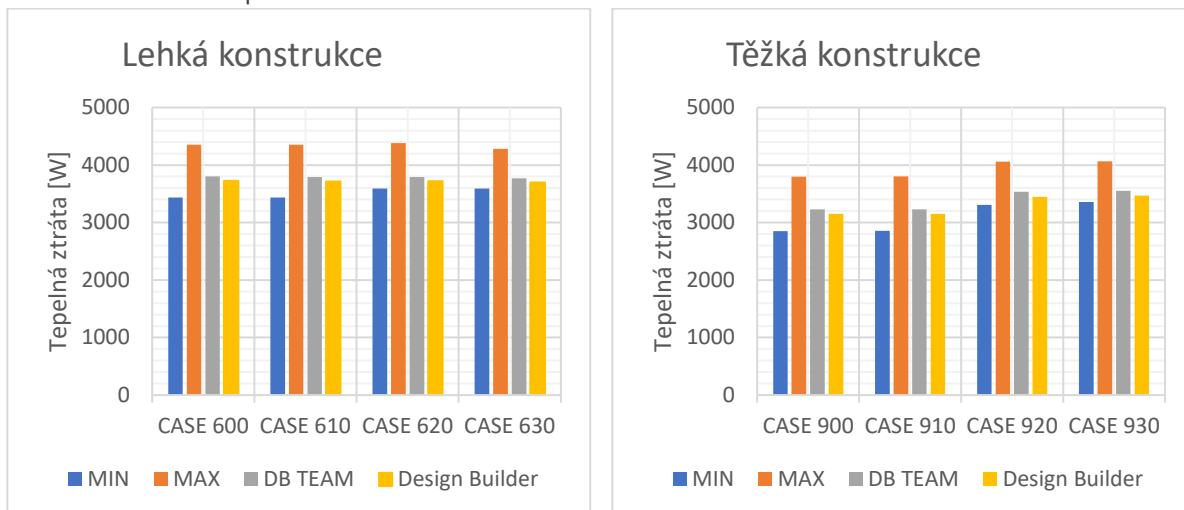
Obr. 5.3 – Roční potřeba energie na chlazení pro případy 600 – 900



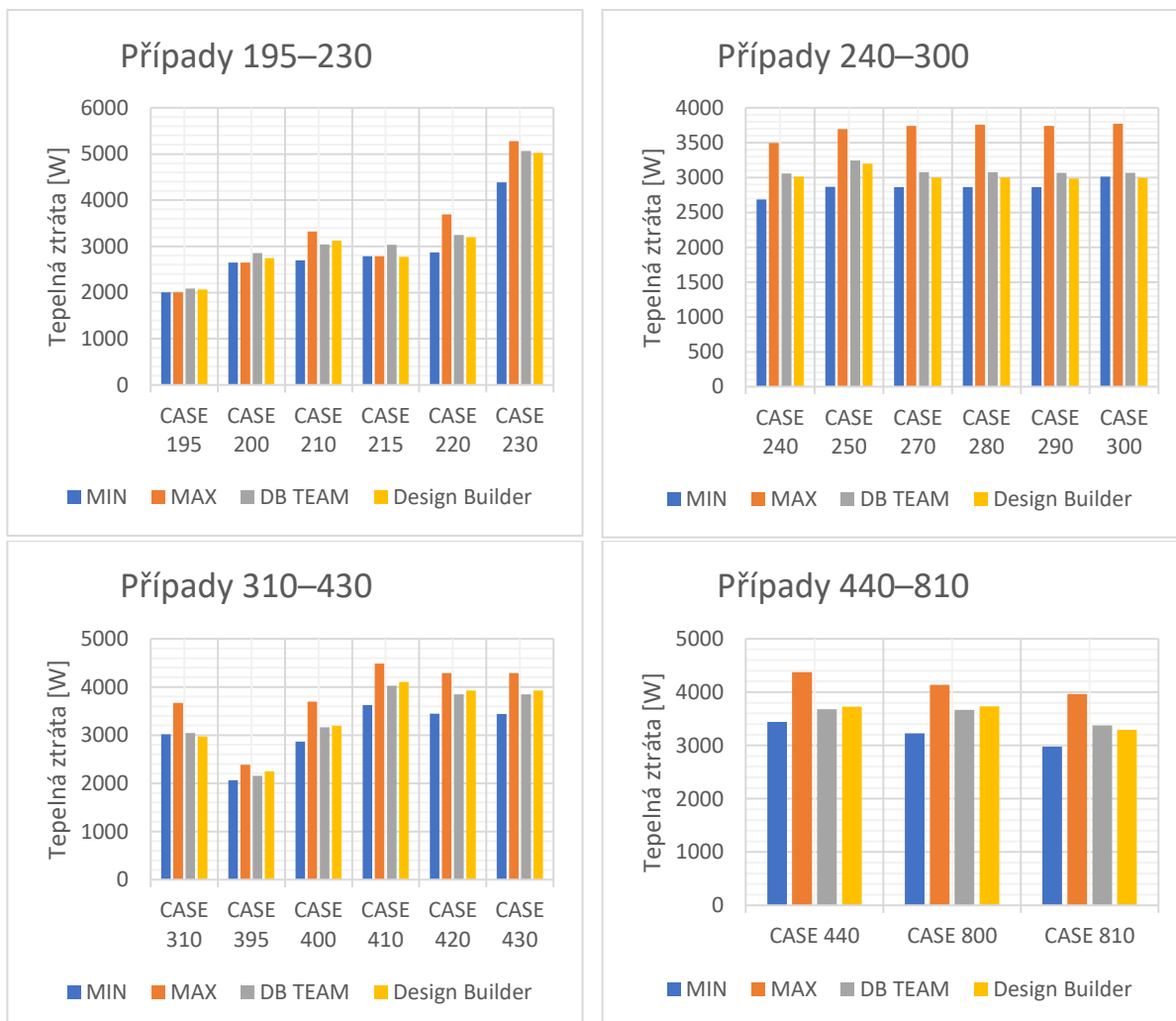
Obr. 5.4 – Roční potřeba energie na chlazení pro diagnostické případy

Výsledky této skupiny případů spadají do povoleného intervalu, až na případ 250, který výrazně překračuje dovolené meze.

## 5.3 Maximální tepelná ztráta během roku



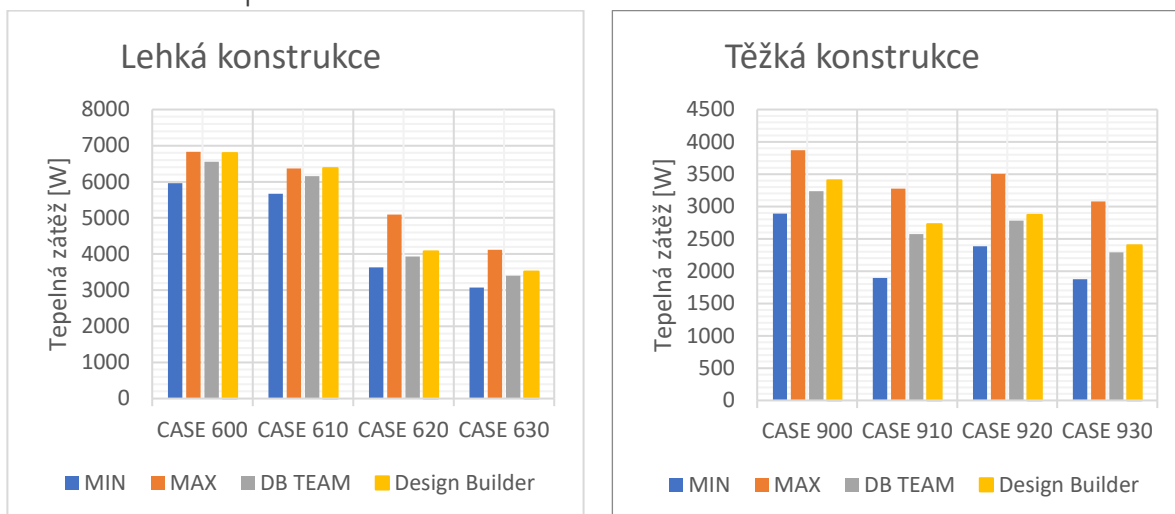
Obr. 5.5 – Maximální tepelná ztráta během roku pro případy 600 – 900



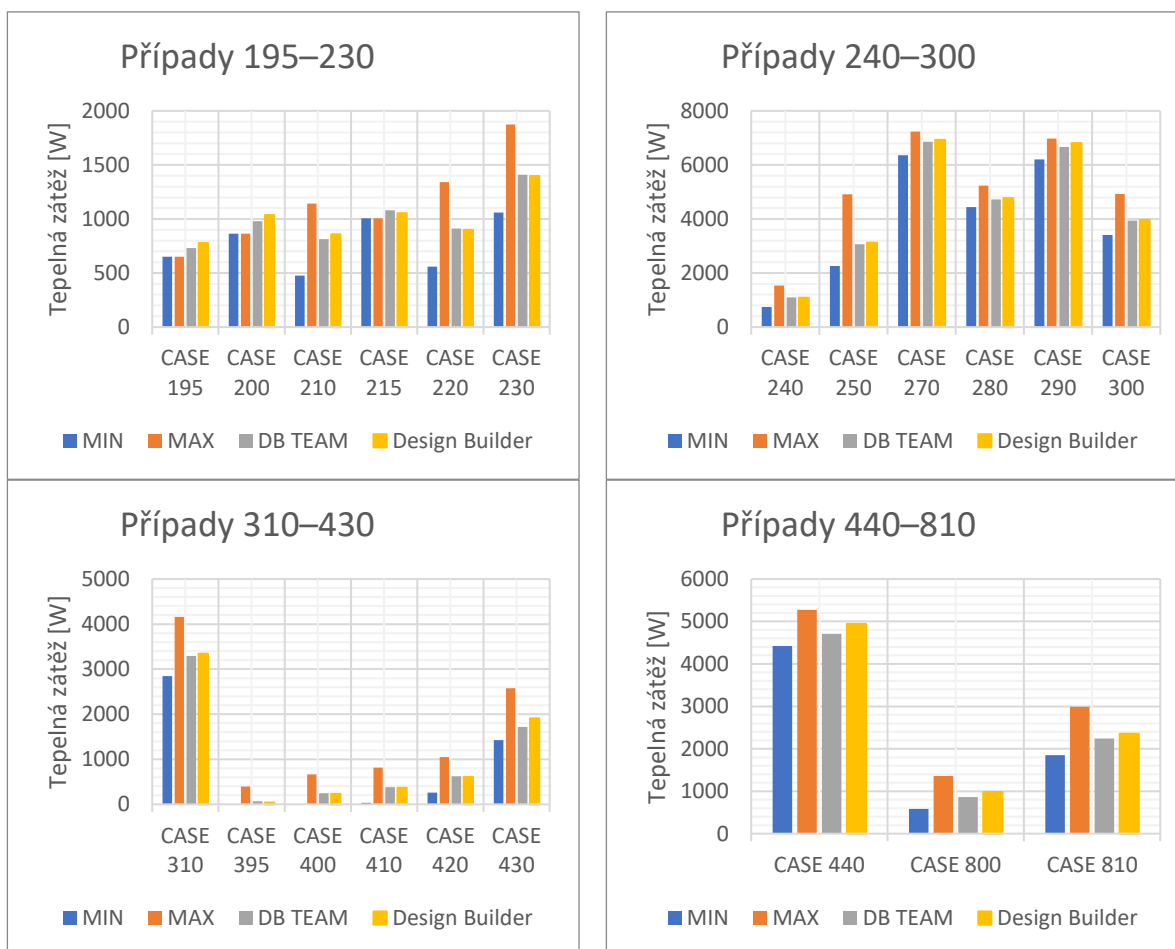
Obr. 5.6 – Maximální tepelná ztráta během roku pro diagnostické případy

Výsledky této skupiny případů spadají do povoleného intervalu, až na případy 300 a 310, kdy DB TEAM je na hraně povolených mezí a Design Builder meze mírně překračuje.

### 5.4 Maximální tepelná zátěž během roku



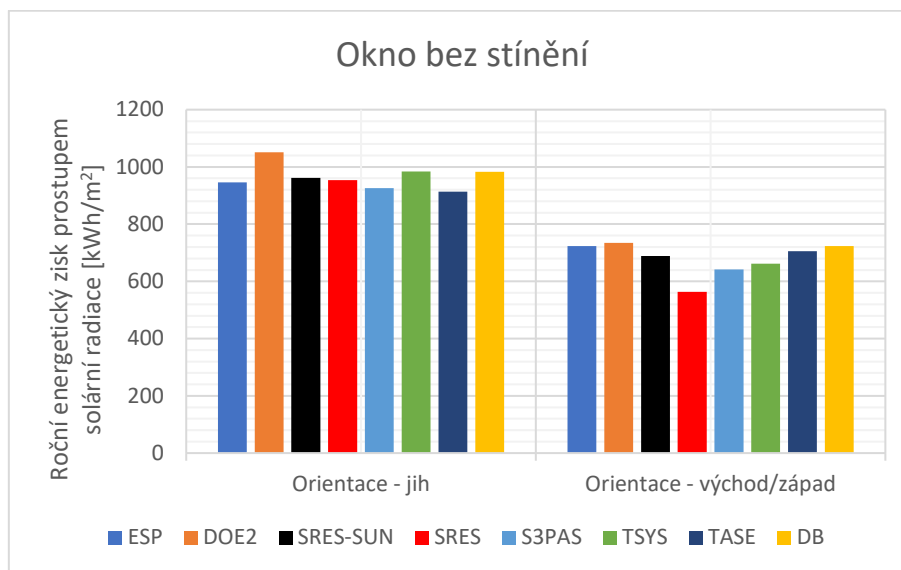
Obr. 5.7 – Maximální tepelná zátěž během roku pro případy 600 – 900



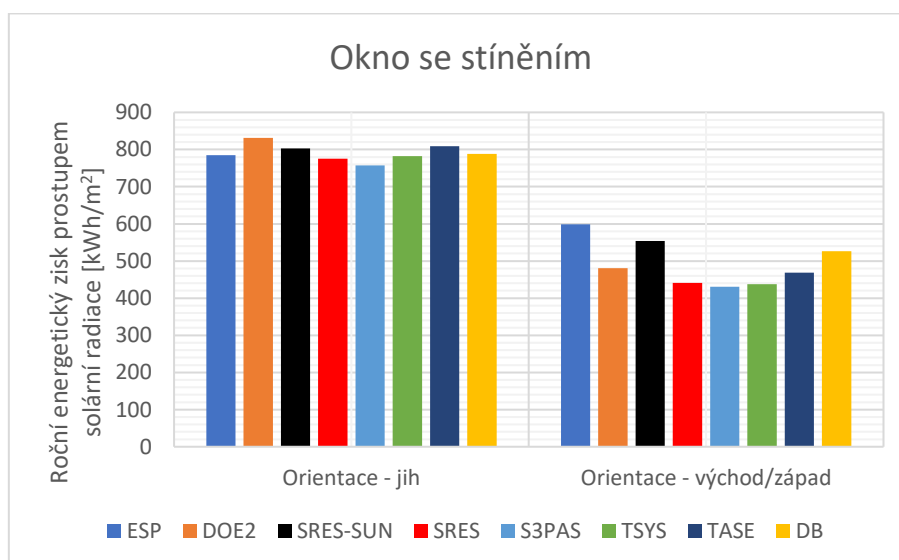
Obr. 5.8 – Maximální tepelná zátěž během roku pro diagnostické případy

Výsledky této skupiny případů spadají do povoleného intervalu.

## 5.5 Roční energetický zisk prostupem solární radiace



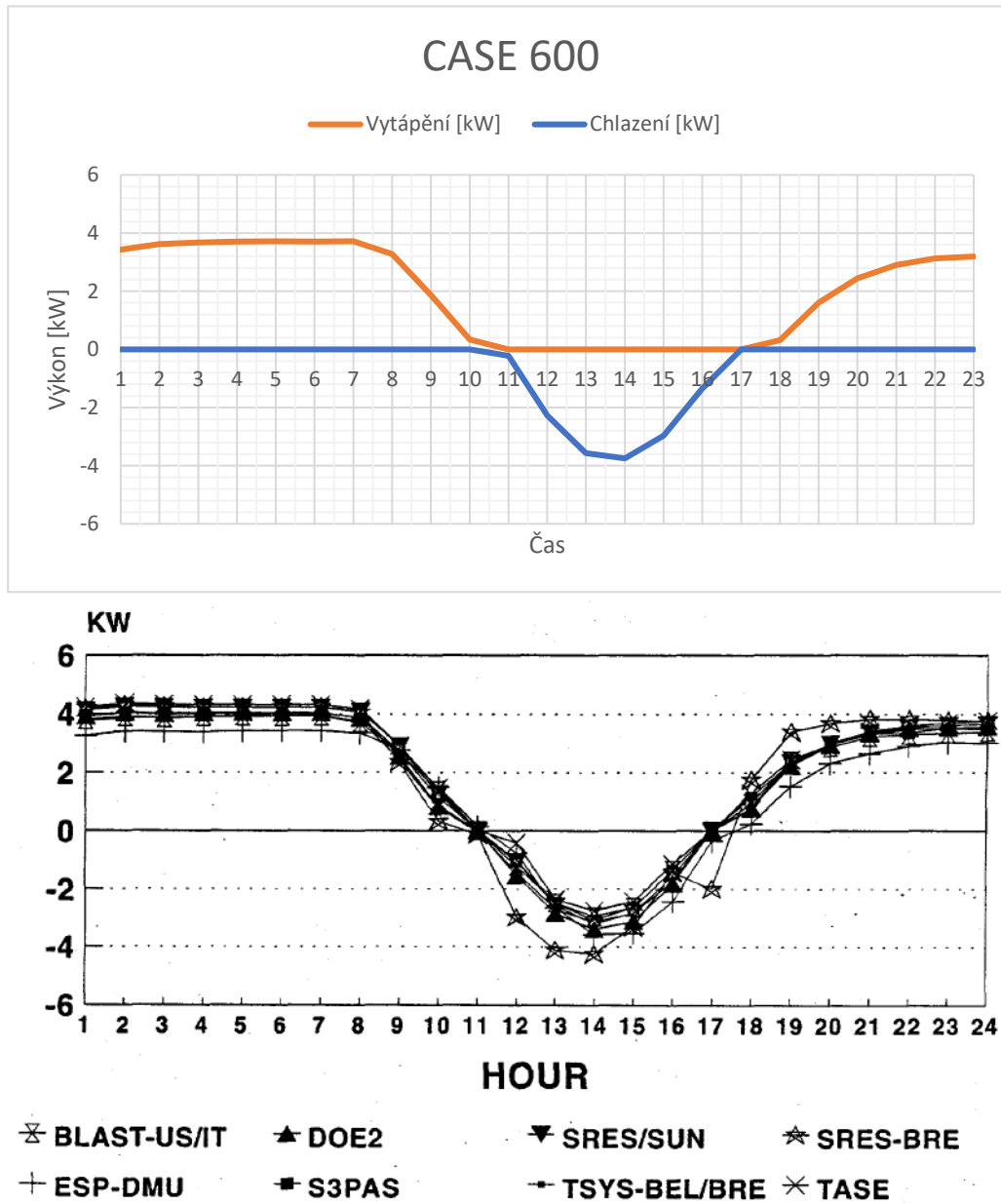
Obr. 5.9 – Roční energetický zisk prostupem solární radiace oknem bez stínění



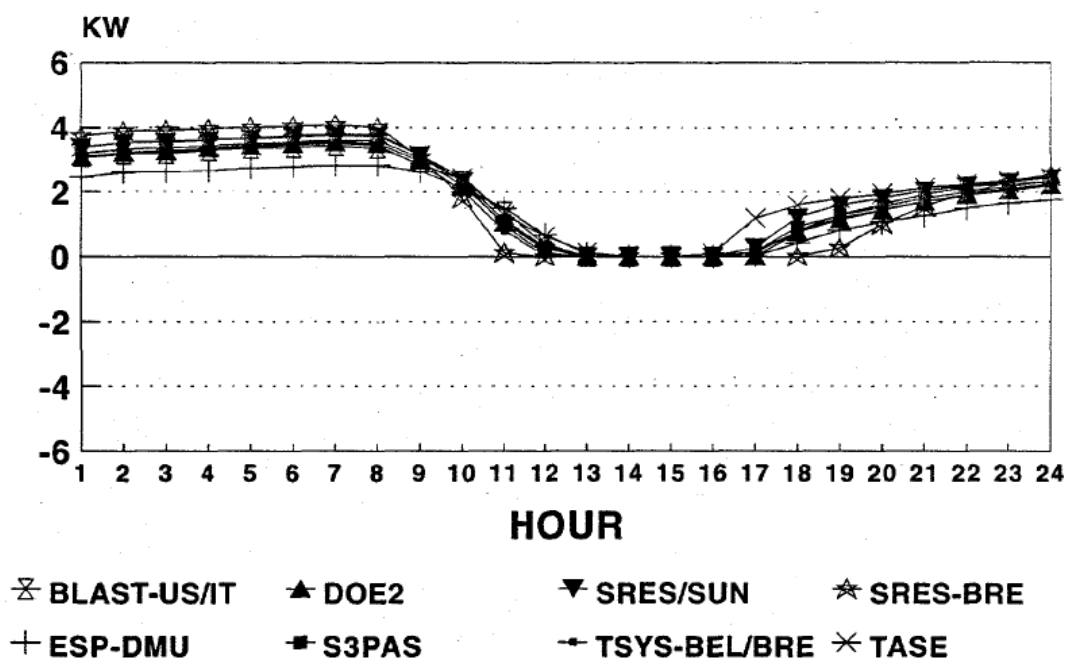
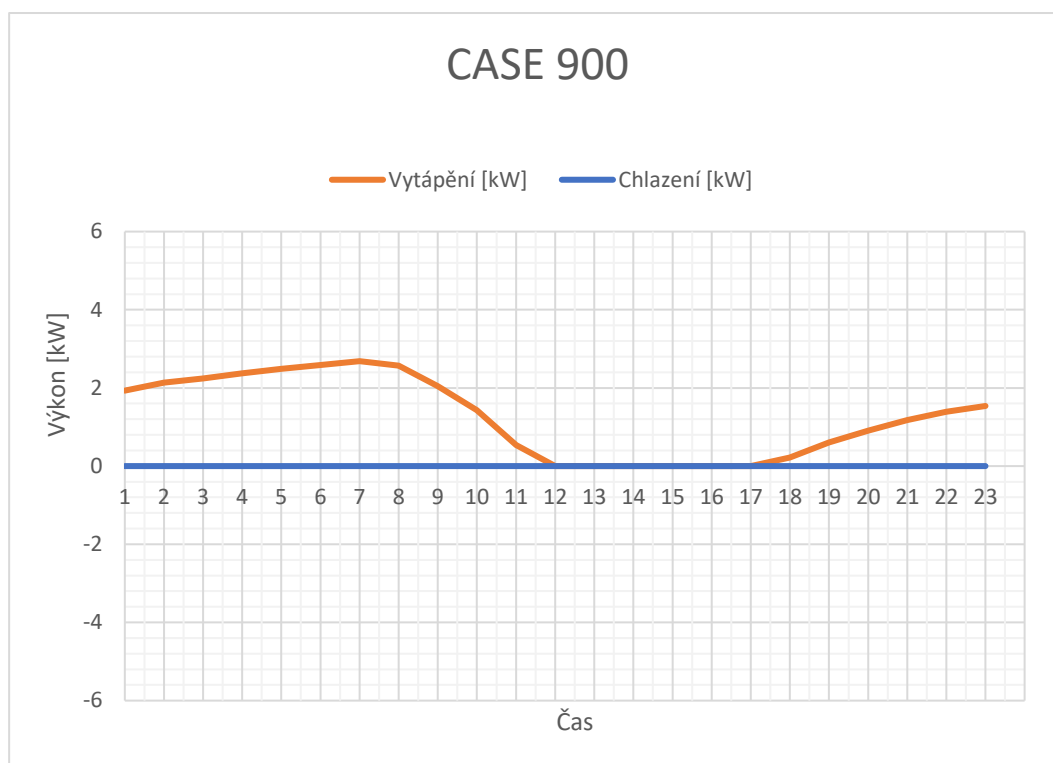
Obr. 5.10 – Roční energetický zisk prostupem solární radiace oknem se stíněním

Energetický zisk během roku nebyl v práci [12] týmu Design Builder vypracován. Z toho důvodu jsou pro porovnání prezentovány výsledky všech referenčních programů metodiky BETSEST. Energetický zisk během roku simulovaný programem Design Builder v této práci (žlutá) odpovídá výsledkům referenčních programů z metodiky BESTEST.

5.6 Průběh výkonu potřebného na vytápění a chlazení 4. ledna



Obr. 5.11 – Průběh výkonu potřebného na vytápění a chlazení 4. ledna – CASE 600



Obr. 5.12 – Průběh výkonu potřebného na vytápění a chlazení 4. ledna – CASE 900

Průběh výkonu pro případ 600 odpovídá grafickému průběhu ze zprávy BESTEST. Průběh případu 900 se především v první polovině dne mírně liší od většiny referenčních programů, nejvíce se blíží výsledkům ESP-DMU. Z grafického průběhu je možné spekulovat, že program Design Builder lépe simuluje akumulaci tepla v těžkých konstrukcích, což by se mohlo projevit větším útlumem kolísání požadovaného výkonu, nebo by mohla být důvodem energie přenášená solární radiací do interiéru zóny a navazující tepelné procesy (např. uvolňování tepla ze stěn do vzduchu v zóně).

## 5.7 Výsledky v tabulkové formě

Následují výsledky všech provedených simulací v tabulkové formě:

- MIN ... minimální hodnota dovolená BESTESTem
- MAX ... maximální hodnota dovolená BESTESTem
- DB TEAM ... hodnoty získané týmem vývojářů Design Builderu
- Design Builder ... výsledky vlastních simulací provedených v této práci

Tab. 5.1 – Roční potřeba energie na vytápění

<b>Roční potřeba energie na vytápění [kWh]</b>				
	MIN	MAX	DB TEAM	Design Builder
<b><u>CASE 600</u></b>	4296	5709	4516	4236
<b><u>CASE 610</u></b>	4355	5786	4558	4274
<b><u>CASE 620</u></b>	4613	5944	4686	4392
<b><u>CASE 630</u></b>	5050	6469	5013	4701
<b><u>CASE 900</u></b>	1170	2041	1311	1125
<b><u>CASE 910</u></b>	1575	2282	1601	1379
<b><u>CASE 920</u></b>	3313	4300	3304	3016
<b><u>CASE 930</u></b>	4143	5335	4020	3708
<b><u>CASE 195</u></b>	4167	4167	4357	4196
<b><u>CASE 200</u></b>	5252	5252	5575	5245
<b><u>CASE 210</u></b>	6456	6967	6596	6882
<b><u>CASE 215</u></b>	5547	5547	5948	5280
<b><u>CASE 220</u></b>	6944	8787	7107	7049
<b><u>CASE 230</u></b>	10376	12243	10896	10838
<b><u>CASE 240</u></b>	5649	7448	5866	5806
<b><u>CASE 250</u></b>	4751	7024	5192	5008
<b><u>CASE 270</u></b>	4510	5920	4566	4426
<b><u>CASE 280</u></b>	4675	6148	4767	4625
<b><u>CASE 290</u></b>	4577	5942	4599	4461
<b><u>CASE 300</u></b>	4761	5964	4614	4461
<b><u>CASE 310</u></b>	5221	6165	4894	4722
<b><u>CASE 395</u></b>	4799	5835	4811	5035
<b><u>CASE 400</u></b>	6900	8770	6853	6955
<b><u>CASE 410</u></b>	8596	10506	8641	8841
<b><u>CASE 420</u></b>	7298	9151	7385	7579
<b><u>CASE 430</u></b>	5429	7827	5803	5731
<b><u>CASE 440</u></b>	4449	5811	4515	4421
<b><u>CASE 800</u></b>	4868	7228	5153	4986
<b><u>CASE 810</u></b>	1839	3004	2076	1817

Tab. 5.2 – Roční potřeba energie na chlazení

<b>Roční potřeba energie na chlazení [kWh]</b>				
	MIN	MAX	DB TEAM	Design Builder
<b><u>CASE 600</u></b>	6137	7964	6712	7035
<b><u>CASE 610</u></b>	3915	5778	4718	4997
<b><u>CASE 620</u></b>	3417	5004	4136	4437
<b><u>CASE 630</u></b>	2129	3701	2762	3000
<b><u>CASE 900</u></b>	2132	3415	2443	2822
<b><u>CASE 910</u></b>	821	1872	1180	1436
<b><u>CASE 920</u></b>	1840	3092	2493	2789
<b><u>CASE 930</u></b>	1039	2238	1605	1828
<b><u>CASE 195</u></b>	414	414	414	481
<b><u>CASE 200</u></b>	570	570	590	676
<b><u>CASE 210</u></b>	162	668	367	390
<b><u>CASE 215</u></b>	639	639	646	679
<b><u>CASE 220</u></b>	186	835	408	405
<b><u>CASE 230</u></b>	454	1139	697	695
<b><u>CASE 240</u></b>	415	1246	706	706
<b><u>CASE 250</u></b>	2177	3380	3179	3877
<b><u>CASE 270</u></b>	7528	10350	8459	8582
<b><u>CASE 280</u></b>	4873	7114	5485	5557
<b><u>CASE 290</u></b>	5204	8089	6357	6446
<b><u>CASE 300</u></b>	4302	7100	5432	5542
<b><u>CASE 310</u></b>	2732	5471	3723	3794
<b><u>CASE 395</u></b>	0	16	0	0
<b><u>CASE 400</u></b>	0	61	6	4
<b><u>CASE 410</u></b>	0	84	16	12
<b><u>CASE 420</u></b>	11	189	68	61
<b><u>CASE 430</u></b>	422	875	656	828
<b><u>CASE 440</u></b>	3967	5204	4258	4504
<b><u>CASE 800</u></b>	55	325	211	290
<b><u>CASE 810</u></b>	1052	1711	1175	1399



Tab. 5.3 – Maximální tepelná ztráta během roku

<b>Maximální tepelná ztráta během roku [W]</b>				
	MIN	MAX	DB TEAM	Design Builder
<b><u>CASE 600</u></b>	3437	4354	3803	3724
<b><u>CASE 610</u></b>	3437	4354	3792	3712
<b><u>CASE 620</u></b>	3591	4379	3794	3722
<b><u>CASE 630</u></b>	3592	4280	3772	3696
<b><u>CASE 900</u></b>	2850	3797	3228	3151
<b><u>CASE 910</u></b>	2858	3801	3230	3150
<b><u>CASE 920</u></b>	3308	4061	3533	3449
<b><u>CASE 930</u></b>	3355	4064	3555	3469
<b><u>CASE 195</u></b>	2004	2004	2090	2065
<b><u>CASE 200</u></b>	2651	2651	2853	2749
<b><u>CASE 210</u></b>	2701	3325	3040	3123
<b><u>CASE 215</u></b>	2787	2787	3032	2771
<b><u>CASE 220</u></b>	2867	3695	3244	3197
<b><u>CASE 230</u></b>	4386	5279	5064	5022
<b><u>CASE 240</u></b>	2685	3495	3060	3013
<b><u>CASE 250</u></b>	2866	3695	3243	3197
<b><u>CASE 270</u></b>	2863	3738	3076	2998
<b><u>CASE 280</u></b>	2864	3759	3076	2999
<b><u>CASE 290</u></b>	2863	3738	3065	2986
<b><u>CASE 300</u></b>	3014	3770	3066	2995
<b><u>CASE 310</u></b>	3015	3669	3044	2969
<b><u>CASE 395</u></b>	2062	2385	2153	2249
<b><u>CASE 400</u></b>	2867	3695	3165	3197
<b><u>CASE 410</u></b>	3625	4487	4028	4107
<b><u>CASE 420</u></b>	3443	4287	3844	3923
<b><u>CASE 430</u></b>	3442	4287	3844	3923
<b><u>CASE 440</u></b>	3439	4376	3678	3725
<b><u>CASE 800</u></b>	3227	4138	3665	3731
<b><u>CASE 810</u></b>	2979	3963	3376	3295

Tab. 5.4 – Maximální tepelná zátěž během roku

<b>Maximální tepelná zátěž během roku [W]</b>				
	MIN	MAX	DB TEAM	Design Builder
<b><u>CASE 600</u></b>	5965	6827	6558	6793
<b><u>CASE 610</u></b>	5669	6371	6156	6382
<b><u>CASE 620</u></b>	3634	5096	3928	4078
<b><u>CASE 630</u></b>	3072	4116	3401	3512
<b><u>CASE 900</u></b>	2888	3871	3238	3407
<b><u>CASE 910</u></b>	1896	3277	2572	2725
<b><u>CASE 920</u></b>	2385	3505	2781	2868
<b><u>CASE 930</u></b>	1873	3080	2291	2398
<b><u>CASE 195</u></b>	651	651	731	779
<b><u>CASE 200</u></b>	863	863	980	1035
<b><u>CASE 210</u></b>	476	1142	813	859
<b><u>CASE 215</u></b>	1007	1007	1080	1054
<b><u>CASE 220</u></b>	560	1340	911	901
<b><u>CASE 230</u></b>	1059	1875	1408	1398
<b><u>CASE 240</u></b>	739	1540	1094	1084
<b><u>CASE 250</u></b>	2258	4912	3062	3121
<b><u>CASE 270</u></b>	6356	7234	6851	6929
<b><u>CASE 280</u></b>	4444	5236	4725	4765
<b><u>CASE 290</u></b>	6203	6976	6662	6808
<b><u>CASE 300</u></b>	3404	4929	3940	3962
<b><u>CASE 310</u></b>	2848	4164	3295	3346
<b><u>CASE 395</u></b>	0	394	65	39
<b><u>CASE 400</u></b>	0	666	249	229
<b><u>CASE 410</u></b>	35	814	383	365
<b><u>CASE 420</u></b>	258	1047	620	611
<b><u>CASE 430</u></b>	1427	2578	1718	1905
<b><u>CASE 440</u></b>	4424	5278	4709	4940
<b><u>CASE 800</u></b>	585	1358	863	984
<b><u>CASE 810</u></b>	1852	2991	2241	2355

Tab. 5.5 – Roční energetický zisk prostupem solární radiace

Roční energetický zisk prostupem solární radiace [kWh/m <sup>2</sup> ] – Okno bez stínění		
	Orientace – jih	Orientace – východ/západ
<b>ESP</b>	946	723
<b>DOE2</b>	1051	735
<b>SRES–SUN</b>	962	689
<b>SRES</b>	954	563
<b>S3PAS</b>	926	642
<b>TSYS</b>	984	662
<b>TASE</b>	914	706
<b>Design Builder</b>	983	724
Roční energetický zisk prostupem solární radiace [kWh/m <sup>2</sup> ] – Okno se stíněním		
	Orientace – jih	Orientace – východ/západ
<b>ESP</b>	785	599
<b>DOE2</b>	831	481
<b>SRES–SUN</b>	803	554
<b>SRES</b>	775	441
<b>S3PAS</b>	757	431
<b>TSYS</b>	782	438
<b>TASE</b>	809	469
<b>Design Builder</b>	788	526

Tab. 5.6 – Průběh spotřeby energie na vytápění a chlazení 4. ledna – Příklad 600

Čas	Vytápění [W]	Chlazení [W]
1:00	3426	0
2:00	3621	0
3:00	3678	0
4:00	3707	0
5:00	3718	0
6:00	3713	0
7:00	3717	0
8:00	3281	0
9:00	1873	0
10:00	340	0
11:00	0	216
12:00	0	2272
13:00	0	3574
14:00	0	3749
15:00	0	2973
16:00	0	1347
17:00	0	0
18:00	313	0
19:00	1602	0
20:00	2447	0
21:00	2904	0
22:00	3128	0
23:00	3194	0

Tab. 5.7 – Průběh spotřeby energie na vytápění a chlazení 4. ledna – Příklad 900

Čas	Vytápění [W]	Chlazení [W]
1:00	1931	0
2:00	2134	0
3:00	2245	0
4:00	2373	0
5:00	2489	0
6:00	2585	0
7:00	2685	0
8:00	2568	0
9:00	2042	0
10:00	1434	0
11:00	539	0
12:00	0	0
13:00	0	0
14:00	0	0
15:00	0	0
16:00	0	0
17:00	0	0
18:00	220	0
19:00	601	0
20:00	906	0
21:00	1179	0
22:00	1391	0
23:00	1536	0

## 6. Závěr

V této práci se podařilo zpracovat 8 kvalifikačních případů a 21 diagnostických případů z celkového počtu 35 případů, které obsahuje metodika BESTEST. Zbylé případy byly z časových důvodů vynechány. Jedná se o případy s pasivním zaskleným prostorem a případy, které testují sdílení tepla s přilehlou zeminou. Výsledky až na výjimky odpovídají metodice BESTEST. Většina výsledků z této práce se však liší od publikovaných výsledků vývojářů Design Builderu.

Potřeba na vytápění je vždy obecně o něco nižší a potřeba na chlazení o něco vyšší, než ukazují výsledky označené v této práci jako DB TEAM. To může být zapříčiněno např. odlišnými kroky při modelování některých detailů. V několika případech výsledky vývojářů BESTESTU překračují dovolené meze BESTESTu, jindy jsou těsně na hraně. V těchto případech se výsledky této práce chovají velmi podobně. Ve třech případech data vývojářů Design Builderu bez problému splňují meze BESTESTu, výsledky této práce však meze nesplňují. Jedná se o roční potřebu energie na vytápění pro případy 600 (odchylka 15,3 %), 610 (odchylka 15,7 %) a 900 (odchylka 29,9 %).

V jednom případě výsledek této práce výrazně překračuje povolené meze BESTESTu a neodpovídá ani výsledku vývojářů Design Builderu (DB TEAM). Jedná se o roční potřebu energie na chlazení pro případ 250 (odchylka činí 39,5 %). Důvod této odchylky se nepodařilo odhalit.

V kapitole 3 jsou podrobně popsány případy, u kterých je nutné řešit specifická nastavení modelu. Problém nastal u specifikace zasklení oken, kdy hodnoty zadané v BESTESTu nebyly použitelné pro úplnou specifikaci zasklení v Design Builderu. Na toto téma byla provedena rešerše literatury a byla nalezena práce na téma testu výpočetního jádra Energy+ metodikou BESTEST, která obsahovala odpovídající charakteristiky zasklení použitelné v Design Builderu.

Pokud bych měl podat osobní názor na způsob práce v programu Design Builder, byl by spíše negativní. Program je vhodný pro rychlé vyplňování standardizovaných postupů, ale pro akademickou práci je spíše nevhodný. Jako příklad lze uvést, že není možné zadat konstantní intenzitu větrání infiltrací, aniž by ji program nadále upravoval. Program se snaží práci ulehčit, ale v daném případě dělal spíše opak. Pro akademickou práci je pravděpodobně vhodnější pracovat přímo v Energy+, jehož je Design Builder nadstavbou.

## 7. Literatura

- [1] Hensen J. L. M., Lamberts R. *Building performance simulation for Design and Operation*. 2nd ed. Routledge, 2019. ISBN 9781138392199.
- [2] de Wilde P. *Building Performance Analysis*. Wiley–Blackwell, 2018. ISBN 9781119341925.
- [3] *About Building Energy Modeling*. Department of Energy [online]. [cit. 2020-12-18]. Dostupné z: <https://www.energy.gov/eere/buildings/about-building-energy-modeling>
- [4] Hensen, J. L. M. (2006). About the current state of building performance simulation and IBPSA. In *Proceedings of the 4th national IBPSA-CZ conference Simulace Budov a Techniky Prostedí, Praha, November 2006, International Building Performance Simulation Association - Czech Republic, Prague*
- [5] Hensen J. L. M., Lamberts R. (2011). Introduction to building performance simulation. *Journal of Physics D–applied Physics – J PHYS–D–APPL PHYS*.
- [6] Kusuda, T. (1999). Early history and future prospects of building system simulation. In *Proceedings of Building Simulation*.
- [7] Banks J., Gibson R. Don't Simulate When: Ten Rules for Determining When Simulation Is Not Appropriate.
- [8] Building performance simulation. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation [cit. 2020-12-18]. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Building\\_performance\\_simulation](https://en.wikipedia.org/wiki/Building_performance_simulation)
- [9] *Design Builder v 5.5 help file* [online]. [cit. 2020-12-18]. Dostupné z: <https://designbuilder.co.uk/helpv5.5/index.htm>
- [10] *Design Builder - seznam modulů* [online]. [cit. 2020-12-18]. Dostupné z: <https://designbuilder.cz/o-programu/moduly-26>
- [11] Henninger R. H., Witte M. J. *EnergyPlus Testing with ANSI/ASHRAE Standard 140-2001 (BESTEST)* [online]. Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory. Berkeley, California, June 2004 [cit. 2020-12-18]. Dostupné z: [https://simulationresearch.lbl.gov/dirpubs/epl\\_bestest\\_ash.pdf](https://simulationresearch.lbl.gov/dirpubs/epl_bestest_ash.pdf).
- [12] ANSI/ASHRAE Standard 140-2017 Building Thermal Envelope and Fabric Load Tests Design Builder v5.5 with EnergyPlus v8.6 [online]. 2019 [cit. 2020-12-18]. Dostupné z: <https://designbuilder.co.uk/download/documents>