

Masarykova univerzita

Fakulta informatiky



Diplomová práce

Aplikace pro výpočet měrné potřeby tepla podle TNI 73 0329

Petr Neděla

Brno, jaro 2011



ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Student(ka): Petr Neděla

Datum: 27. 11. 2009

Program: Aplikovaná informatika

Obor: Aplikovaná informatika

Garant oboru: doc. Ing. Jiří Sochor, CSc.

Vedoucí práce: prof. RNDr. Jiří Hřebíček, CSc.

Název práce: Aplikace pro výpočet měrné potřeby tepla podle TNI 73 0329

Zadání:

Cílem DP je vytvoření aplikace pro tepelně - technické výpočty potřebné k vytvoření projektu v rámci dotačního programu Zelená úsporám. Student posoudí stávající aplikace a určí jejich nevýhody. Navrhne a implementuje aplikaci, která provede posouzení součinitelů prostupu tepla konstrukcí budovy podle ČSN 73 0540 a vypočte celkovou měrnou potřebu tepla na vytápění budovy podle TNI 73 0329. Výstupem aplikace bude protokol obsahující vstupní data, průběh výpočtu a výsledné hodnoty.

Základní literatura:

TNI 73 0329 Zjednodušené výpočtové hodnocení a klasifikace obytných budov s velmi nízkou potřebou tepla na vytápění - Rodinné domy. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, únor 2008 12 s.

Šála Jiří, Kleim Lubomír, Svoboda Zbyněk, Tywoniak Jan: Komentář k ČSN 73 0540 Tepelná ochrana budov. 1. vyd. Praha: Informační centrum ČKAIT, 2008. 292 s. ISBN 978-80-87093-30-6.

Souhlas se zadáním (podpis, datum)

27. 11. 2009

student(ka)

vedoucí diplomové
práce

garant oboru

Prohlášení

Prohlašuji, že tato práce je mým původním autorským dílem, které jsem vypracoval samostatně. Všechny zdroje, prameny a literaturu, které jsem při vypracování používal nebo z nich čerpal, v práci řádně cituji s uvedením úplného odkazu na příslušný zdroj.

Petr Neděla, V Brně 30. května 2011

Poděkování

Na tomto místě chci poděkovat vedoucímu své diplomové práce, prof. RNDr. Jiřímu Hřebíčkovi, CSc., především a hlavně za jeho trpělivost, shovívavost, ochotu a cenné rady.

Shrnutí

Práce se zabývá problematikou úspor energie ve stavebnictví. Vysvětluje základní souvislosti měrné potřeby tepla na vytápění, součinitele prostupu tepla a průměrného součinitele prostupu tepla. V práci jsou uvedeny reálné příklady výpočtu pro konkrétní rodinné domy. Dále práce hodnotí výhody a nevýhody stávajících aplikací, které se těmito výpočty zabývají, a navrhuje a implementuje nové řešení.

Klíčová slova

Energetické úspory ve stavebnictví, měrná potřeba tepla na vytápění, součinitel prostupu tepla, průměrný součinitel prostupu tepla, TNI 73 0329, ČSN 73 0540.

Úvod.....	7
1 Úspory energie ve stavebnictví.....	8
1.1 Nízkoenergetické a pasivní bydlení	8
1.2 Platná evropská legislativa v oblasti energeticky úsporných staveb.....	11
1.2.1 Stručný historický vývoj	11
1.2.2 Evropská směrnice 2010/31/EU.....	12
2 Základní pojmy stavební fyziky.....	14
2.1 Součinitel prostupu tepla konstrukcí U	14
2.2 Průměrný součinitel prostupu tepla U_{em}	18
2.2.1 Příklad domu s vysokým objemovým faktorem budovy	20
2.2.2 Příklad domu s nízkým objemovým faktorem budovy	21
2.3 Měrná potřeba tepla na vytápění	23
2.3.1 Měrná potřeba tepla rodinného domu (I)	27
2.3.2 Měrná potřeba tepla rodinného domu (II).....	29
2.3.3 Měrná potřeba tepla rodinného domu (III)	31
2.4 Některé další pojmy ze stavební fyziky	34
2.4.1 Součinitel tepelné vodivosti λ	34
2.4.2 Měrná tepelná kapacita c_u	34
2.4.3 Objemová hmotnost ρ	35
2.4.4 Tepelná akumulace C	35
2.4.5 Faktor difúzního odporu μ	36
3 Stávající aplikace z oblasti stavební fyziky	37
3.1 Svoboda Software – Energie	37
3.1.1 Klady a zápory programu Energie	38
3.2 ProTech – modul potřeba tepla na vytápění	40
3.2.1 Klady a zápory programu Potřeba tepla na vytápění	40
3.3 Hodnocení energetické náročnosti budov – národní kalkulační nástroj (NKN)	41
3.3.1 Klady a zápory Národního kalkulačního nástroje.....	41

4	Návrh a implementace	42
4.1	Požadavky	42
4.2	Zvolené technologie	42
4.3	Datový model	42
	Závěr	43
	Seznam literatury	44
	Seznam tabulek	46
	Seznam obrázků	47

ÚVOD

Pokles emisí z vytápění, energeticky úsporné bydlení, domy v pasivním standardu... Taková a obdobná hesla jsou slyšet čím dále častěji. Nejde již však pouze o hesla, ale o legislativně zakotvenou povinnost. V roce 2010 byla kompletně přepracována a znovu vydána Evropská směrnice o energetické náročnosti budov, která ukládá mimo jiné národním státům povinnost zabezpečit, aby nová výstavba splňovala podmínky domů s „téměř nulovou“ potřebou neobnovitelných zdrojů a to nejpozději od roku 2020.

Také tato diplomová práce se věnuje oblasti úspor energie bydlení, konkrétně návrhem aplikace pro výpočet měrné potřeby tepla na vytápění. Celá práce je rozdělena do čtyř kapitol. První kapitola pojednává obecně o úsporách energie ve stavebnictví a přibližuje platnou evropskou legislativu v této oblasti.

Druhá kapitola je věnována základním pojmům stavební fyziky, především pak součiniteli prostupu tepla, průměrnému součiniteli prostupu tepla a měrné potřebě tepla na vytápění. Teorie z této oblasti je konfrontována s praktickými výpočty těchto ukazatelů u konkrétních rodinných domů. Na závěr kapitoly jsou zmíněny i další fyzikální veličiny, které jsou důležité pro nízkoenergetické, ale zároveň komfortní bydlení.

Třetí kapitola je věnována posouzení stávajících aplikací, které se zabývají výpočtem měrné potřeby tepla na vytápění. Posuzovány jsou dva komerční produkty (firem ProTech a K-CAD) a jeden volně dostupný nástroj (Národní kalkulační nástroj).

Poslední kapitola je pak věnována návrhu a implementaci. Kdy nejprve jsou představeny požadavky na novou aplikaci, následně je popsána zvolená technologie a závěr kapitoly je věnován samotnému datovému modelu. Součástí diplomové práce je právě i tato nová aplikace.

1 ÚSPORY ENERGIE VE STAVEBNICTVÍ

1.1 Nízkoenergetické a pasivní bydlení

Zájem o stavby v nízkoenergetickém a pasivním standardu stále roste. Obecně lze říci, že termín nízkoenergetický a pasivní dům se používá pro mezinárodně uznávaný standard budovy s velmi nízkou spotřebou energie.¹ Oproti klasické zástavbě disponují pasivní domy až 10 krát menšími nároky na energie. Princip nízkoenergetické resp. pasivní stavby je v podstatě velmi jednoduchý.

"Jde o to nepustit skoro žádné teplo ven a přitom využít co nejefektivněji tepelné zisky, které jsou k dispozici. Tím dochází k výraznému snížení výkonu zdroje, objemu technologií i celkové závislosti objektu na dodávkách energie. Jednoduše řečeno, malé tepelné ztráty pasivního domu lze pokrýt prakticky čímkoliv." (Hazucha 2010, str. 1)

Výše bylo zmíněno, že nízkoenergetické a pasivní domy jsou takové, které mají velmi nízké nároky na spotřebu energie. Jaké to jsou velmi nízké nároky, definuje norma ČSN 73 0540 na základě ukazatele měrné potřeby tepla na vytápění.²

Mimo pojmů nízkoenergetický a pasivní dům se lze ještě setkat s pojmy nulový dům a dům s přebytkem tepla. Energetické nároky a základní charakteristika viz následující tabulka.

Tabulka 1 Rozdělení rodinných domů dle energetických nároků na provoz

	plášť budovy	větrání a vytápění	potřeba tepla na vytápění [kWh/(m ² a)]
rodinný dům ze 70. a 80. let	- obvykle cihlové (plná pálená) škvárobetonové či plynosilikátové zdivo - nezateplené ani vodorovné ani svislé konstrukce - špatně těsnící výplně otvorů - A/V ³ faktor budovy se z hlediska energetické náročnosti neřeší	- zastaralá otopná soustava, častá je kombinace plynových kotlů a kotlů na tuhá paliva - větrání otevřením oken a neustálá infiltrace venkovního vzduchu velkými netěsnostmi výplní otvorů	obvykle 200 a více
současné novostavby	- moderní zdivo (Porotherm, Ytong, vápenopískové zdivo...)	- obvykle vytápění pomocí plynových kotlů o vyšším výkonu	obvykle 80 až 140

¹ (Hazucha 2010)

² Měrná potřeba na vytápění - kolik tepla dům potřebuje za rok pro udržení potřebných parametrů vnitřního prostředí přepočteno na metr čtvereční podlahové plochy.

³ A/V - povrch/objem budovy.

	<ul style="list-style-type: none"> - obvykle zateplené vodorovné i svislé konstrukce, ale v nedostatečné vrstvě a s nepřerušenými tepelnými mosty - izolační výplně otvorů, ne vždy správně osazené v plášti - A/V faktor budovy se z hlediska energetické náročnosti obvykle neřeší 	- větrání otevřením oken	
nízkoenergetický dům	<ul style="list-style-type: none"> - moderní zdívo - dostatečně zateplené vodorovné i svislé konstrukce, ale ne vždy jsou odstraněny všechny tepelné mosty - izolační výplně otvorů, obvykle správně osazené v plášti, často s orientací tak, aby bylo využito solárních zisků - A/V faktor budovy se z hlediska energetické náročnosti ne vždy řeší 	<ul style="list-style-type: none"> - různé typy vytápění s nižším výkonem - řízené větrání 	méně než 50
pasivní dům	<ul style="list-style-type: none"> - moderní zdívo - dostatečně zateplené vodorovné i svislé konstrukce, jsou odstraněny tepelné mosty - izolační výplně otvorů, precizně osazené v plášti, s orientací tak, aby bylo využito solárních zisků - A/V faktor budovy se z hlediska energetické náročnosti řeší 	<ul style="list-style-type: none"> - teplovzdušné vytápění s rekuperací tepla - řízené větrání 	méně než 15 ⁴
nulový dům, dům s přebytkem energie	viz pasivní dům	viz pasivní dům + velká plocha fotovoltaických panelů	méně než 5

Zdroj: vlastní zpracování, doplnění z: (Centrum pasivního domu, Co je pasivní dům? 2006-2010)

Při pohledu na tabulku by se mohlo zdát, že stavba nízkoenergetického resp. pasivního domu je jednoznačnou volbou, neboť její provoz je výrazně ekonomičtější než provoz klasické novostavby.

⁴ Hodnota 15 kWh/(m²a) je v našich podmínkách obtížně dosažitelná, proto někteří autoři a práce uvádějí hodnotu 20 kWh/(m²a). S touto hodnotou například pracoval i SFŽP při posuzování pasivních domů v rámci programu Zelená úsporám.

Laická veřejnost však je přesto ke stavbě těchto domů skeptická, neboť panuje názor, že stavba pasivního domu je velmi nákladná. Tento názor je mylný, resp. může být mylný. Aby nedošlo k prodražení stavby, musí být projekt na pasivní dům velmi precizně a detailně vyřešen. Stejně tak samotná realizace musí být přesná, každý detail musí být zpracován velmi pečlivě. Tato práce se zabývá právě správným návrhem pasivního domu resp. jeho částí, tj. výpočtu měrné potřeby tepla na vytápění. Pasivní a nízkoenergetický dům musí mimo zmíněné hodnoty měrné potřeby tepla na vytápění splňovat i další podmínky. Podrobněji viz následující tabulka.

Tabulka 2 Základní požadavky na nízkoenergetické a pasivní rodinné domy

Číslo	Jev, veličina	Značka	Jednotka	Požadavek	Způsob prokázání
Prostup tepla					
1a	Součinitel prostupu tepla jednotlivých konstrukcí na systémové hranici.	U	$W/(m^2K)$	Doporučené hodnoty podle ČSN 730540-2, pokud není výjimečně a zdůvodněně jinak. ⁵	Výpočet v souladu s ČSN 730540-4.
1b	Střední hodnota součinitele prostupu tepla.	U_{em}	$W/(m^2K)$	$U_{em} \leq 0,22$ pro pasivní domy. ⁶ $U_{em} \leq 0,35$ pro nízkoenergetické domy.	Výpočet v souladu s ČSN 730540-4.
Kvalita vzduchu a tepelná ztráta výměnou vzduchu					
2	Přívod čerstvého vzduchu do všech obytných místností.	-	-	Zajištěn.	Kontrola projektové dokumentace.
3	Účinnost zpětného získání tepla z odváděného vzduchu.	η	%	$\eta \leq 75$	Podle ověřených podkladů výrobce rekuperátoru.
4	Neprůvzdušnost obálky budovy - ve fázi přípravy stavby.	η_{50}	[1/h]	$\eta_{50} = 0,6$ pro pasivní rodinné domy. $\eta_{50} = 1,5$ pro nízkoenergetické rodinné domy.	Kontrola projektové dokumentace, zejména úplné celistvosti vzduchotěsnicího systému.
	Neprůvzdušnost obálky budovy - po dokončení stavby.	η_{50}	[1/h]	$\eta_{50} = 0,6$ pro pasivní rodinné domy. $\eta_{50} = 1,5$ pro nízkoenergetické rodinné domy.	Měření metodou tlakového spádu a výpočet η_{50} v souladu s ČSN EN 13829,

⁵ Doporučuje se splnit doporučené hodnoty normy na úrovni 2/3 až 3/4.

⁶ Pro pasivní domy se doporučuje $U_{em} \leq 0,15$ resp. $0,18$ (dle konkrétních podmínek).

					metoda Blower door testu.
Zajištění pohody prostředí v letním období					
5	Nejvyšší teplota vzduchu v pobytové místnosti.	θ_i	°C	≤ 27	Výpočet podle ČSN 73 0540-4. Strojní chlazení se nepředpokládá.
Potřeba tepla na vytápění					
6	Měrná potřeba tepla na vytápění.	E_A	kWh/(m ² a)	≤ 15 pro energeticky pasivní dům. ≤ 50 pro nízkoenergetický rodinný dům.	Výpočet podle ČSN EN ISO 13790 a dalších norem.
Potřeba primární energie					
7	Potřeba primární energie z neobnovitelných zdrojů na vytápění, přípravu teplé vody a technické systémy budovy.	PE_A	kWh/(m ² a)	≤ 60 pro energeticky pasivní rodinný dům. Pro nízkoenergetický rodinný dům se nehodnotí.	Výpočet podle TNI 73 0329.

Zdroj: (J. Tywoniak, Tzb-info, Pasivní domy. Jaké jiné? 2009), vlastní doplnění

Pasivní domy musí splňovat všechny požadavky z tabulky (1 až 7). Nízkoenergetické domy musí splňovat 2, 5 a 6 a požadavky 1a, 1b, 3 a 4 jsou doporučovány splnit. Předmětem této práce je výpočet a hodnocení bodů 1a, 1b a 6.

1.2 Platná evropská legislativa v oblasti energeticky úsporných staveb

1.2.1 Stručný historický vývoj

Původní představa o energeticky šetrných domech byla taková, že téměř vše bude řešeno a vyřešeno prostřednictvím solární energie. V současnosti již chápeme solární zisky přes vhodně umístěné prosklené plochy pouze jako jednu z podmínek dobře fungujících domů s nízkými nároky na vytápění. Čím dál více se začíná zdůrazňovat hlavně nutnost kvalitních (kvalitně zateplených) obvodových konstrukcí a nutnost zpětného získávání tepla z větracího vzduchu.⁷

Nová koncepce pasivního domu vznikla v roce 1988 na univerzitě v Lundu, kde Dr. Wolfgang Feist z Darmstadtu a prof. Bo Adamson zveřejnili svou původně čistě teoretickou vizi:

Je třeba využít potenciálu vyplývajícího z možností úspor u investičních nákladů díky vylepšené

⁷ (J. Tywoniak, Nízkoenergetické domy 2 2008)

Původně teoretický koncept přešel v praxi díky jednomu výzkumnému projektu v Hesensku nazvaném „*Pasivní domy*“. V roce 1990 byl položen základní kámen 1. pasivního domu (jednalo se o řadový dům) a v roce 1991 byl již tento dům obýván. Od začátku byl celý projekt pečlivě vědecky dokumentován. Výsledky byly převratné, prokázaly, že i ve střední Evropě lze dlouhodobě dosahovat průměrné hodnoty spotřeby topného tepla stabilně na úrovni 10 kWh/(m²a), což je zhruba desetinová hodnota než je běžná u současných novostaveb.⁹

V současnosti je koncepce pasivních domů hojně rozvíjena především v Německu mluvících zemích, kde stojí tisíce těchto domů. Staví se také v severských zemích, Itálii, Rusku, Chorvatsku atd. V České republice v současnosti stojí pouze desítky pasivních domů. Polsko je na tom ještě hůře, tam stojí pouze jednotky. Nutno však podotknout, že počty pasivních domů v jednotlivých zemích nelze úplně srovnat. Prvně, každá země má pasivní standard definován jinak a hlavně, každá země má jiné klimatické podmínky. Jinak se dosahuje pasivního standardu ve slunné Itálii a jinak třeba na severní Moravě.

Co se týká vývoje v legislativní oblasti. Tak některé země Rakouska a Německa již do své legislativy umístily požadavky, aby všechny budovy resp. všechny administrativní budovy byly stavěny v nízkoenergetickém nebo pasivním standardu.

1.2.2 Evropská směrnice 2010/31/EU

Evropská unie se rozhodla řešit energeticky úsporné bydlení legislativní cestou. Z tohoto důvodu byla kompletně přepracována směrnice z roku 2002 o energetické náročnosti budov a byla vydána nově pod číslem 2010/31/EU. Tato směrnice mimo jiné poukazuje na to, že podíl budov na celkové spotřebě energie v Unii činí 40 %. Navíc zdůrazňuje, že se tento sektor rozrůstá, což bude mít za následek zvýšení spotřeby energie. Proto je nutné se na tento sektor v rámci energetických úspor zaměřit. Směrnice především zdůrazňuje nutnost zmenšit značné rozdíly v energeticky úsporných budovách mezi jednotlivými členskými státy, ale zároveň upozorňuje na to, že musí být akceptovány místní klimatické podmínky, jinak řečeno, že každý stát sice musí vést své občany energeticky úsporným stavbám, ale stanovení, co je energeticky úsporná stavba je výhradní povinností členského státu¹⁰.

Státy mají povinnost tuto směrnici implementovat nejpozději do roku 2020, což laicky řečeno,

⁸ (Centrum pasivního domu, Co je pasivní dům? 2006-2010)

⁹ Tamtéž.

¹⁰ (Směrnice EP a Rady 2010/31/EU o energetické náročnosti budov 2010)

znamená, že nejpozději od roku 2020 se budou muset stavět výhradně pasivní domy. S velkou pravděpodobností to ale bude dříve, zdá se, že zákonodárci připravují variantu, že toto bude platit již od roku 2015. Otázkou stále zůstává, zda bude pasivní dům definován standardně jako dům s měrnou roční potřebou tepla na čtvereční metr nižší než $15 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$, či zda bude uzákoněna méně přísná hranice, která již byla použita v rámci programu Zelená úsporám a to hodnota $20 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$. Kromě toho, že se implementace směrnice dotkne novostaveb, tak se bude týkat i starších domů a bytů a to přinejmenším v tom, že při jejich prodeji se bude muset dokládat energetický výpočet.

Předpokládaná budoucí rostoucí poptávka po energetických výpočtech byla hlavním důvodem, proč jsem se začal tomuto tématu věnovat a proč jsem si ho také vybral pro svou diplomovou práci. Navíc jsem zjistil, že v tomto existuje na českém trhu „díra“, neboť čeští projektanti se doposud energetickým výpočtům věnovali ve velmi okrajové míře, často s odůvodněním, že nejde o stavebnictví, ale o matematiku a fyziku.

2 ZÁKLADNÍ POJMY STAVEBNÍ FYZIKY

Stavební fyzika je velmi rozsáhlý obor. Toto diplomová práce však zahrnuje pouze určitou oblast stavební fyziky a to tu, která souvisí s energetickou náročností budov. Pro potřeby této práce je zejména nutné definovat:

- součinitel prostupu tepla konstrukcí U ;
- průměrný součinitel prostupu tepla U_{em} ;
- měrná potřeba tepla na vytápění.

Pro doplnění budou také okrajově vysvětleny následující fyzikální veličiny:

- součinitel tepelné vodivosti λ ;
- měrná tepelná kapacita c_u ;
- objemová hmotnost ρ ;
- tepelná akumulace b ;
- faktor difúzního odporu μ .

2.1 Součinitel prostupu tepla konstrukcí U

Hodnotí tepelný tok prostupem tepla jednotlivými konstrukcemi na nastavené úrovni. (Šála 2008, str. 17)

Nastavenou úroveň se rozumí požadované resp. doporučené hodnoty normy ČSN 730540-2, některé z těchto hodnot jsou uvedeny v následující tabulce.

Tabulka 3 Požadované a doporučené hodnoty součinitele prostupu tepla pro budovy s převažující návrhovou vnitřní teplotou 20 °C

Popis konstrukce		Součinitel prostupu tepla $U_{N,20}$ [W/(m ² K)]	
		Požadované hodnoty	Doporučené hodnoty
Střecha plochá a šikmá se sklonem do 45° včetně		0,24	0,16
Strop s podlahou nad venkovním prostorem		0,24	0,16
Strop pod nevytápěnou půdou		0,30	0,20
Stěna vnější vytápěná		0,30	0,20
Stěna vnější	lehká	0,30	0,20
	těžká	0,38	0,25
Stěna k nevytápěné půdě	lehká	0,30	0,20
	těžká	0,38	0,25
Střecha strmá se sklonem nad 45 °C	lehká	0,30	0,20
	těžká	0,38	0,25
Podlaha a stěna vytápěného prostoru přilehlá k zemině		0,45	0,30
Strop a stěna vnitřní z vytápěného k nevytápěnému prostoru		0,60	0,40

Strop a stěna vnitřní z vytápěného k částečně vytápěnému prostoru	0,75	0,50
Strop a stěna vnější z částečně vytápěného prostoru k venkovnímu prostředí	0,75	0,50
Podlaha a stěna částečně vytápěného prostoru přilehlá k zemině	0,85	0,60
Stěna mezi sousedními budovami	1,05	0,70
Strop mezi prostory s rozdílem teplot do 10 °C	1,05	0,70
Stěna mezi prostory s rozdílem teplot do 10 °C	1,30	0,90
Strop vnitřní mezi prostory s rozdílem teplot do 5 °C	2,20	1,45
Stěna vnitřní mezi prostory s rozdílem teplot do 5 °C	2,70	1,80
Okno, dveře a jiná výplň otvoru ve vnější stěně a strmé střeše, z vytápěného prostoru ven	1,70	1,20
Okno, dveře a jiná výplň otvoru ve stěně a strmé střeše, z vytápěného do částečně vytápěného prostoru nebo z částečně vytápěného prostoru do venkovního prostředí	3,50	2,30
Šikmé střešní okno, světlík a jiná šikmá výplň otvoru se sklonem do 45 °C, z vytápěného prostoru do venkovního prostředí	1,50	1,10
Šikmé střešní okno, světlík a jiná šikmá výplň otvoru se sklonem do 45 °C, z vytápěného do částečně vytápěného prostoru nebo z částečně vytápěného prostoru ven	2,60	1,70

Zdroj: (Šála 2008, str. 59 - 63)

Předchozí tabulka ukazuje požadavky resp. doporučené hodnoty normy pro jednotlivé konstrukce. Pro pasivní domy musí být splněna doporučená hodnota normy, mezi odbornou veřejností však je zažito, že se nové stavby navrhují tak, aby v případě, kdy je to technicky možné, konstrukce splňovaly 2/3 hodnotu doporučené hodnoty. Požadované resp. doporučené hodnoty normy nejsou vhodné pouze pro navrhování novostaveb, ale také pro rekonstrukce.

Hodnoty součinitele prostupu tepla se stanovují především podle ČSN 73 0540:4 a ČSN EN ISO 6946.

Součinitel prostupu tepla U nahradil dříve užívanou veličinu tepelný odpor konstrukce R . Součinitel prostupu tepla zahrnuje navíc i vliv přestupů tepla na vnitřní a vnější straně konstrukce R_{si} , R_{se} . Tato veličina tak lépe vystihuje skutečnost, že teplo se šíří z ustáleného prostředí na jedné straně konstrukce do prostředí na druhé straně konstrukce při dvojrozměrném a trojrozměrném šíření tepla. Součinitel prostupu tepla je definován pro konstantní teploty a nenarušené přilehlé prostředí.¹¹

¹¹ (Šála 2008)

$$U = \frac{1}{R + (R_{si} + R_{se})}^{12}$$

$$R = \frac{d}{\lambda}^{13}$$

R_{si} , R_{se} – konstanty pro směr proudění,

d – síla vrstvy,

λ – součinitel tepelné vodivosti.

Znalost součinitelů prostupu tepla jednotlivých konstrukcí je důležitá při navrhování nízkoenergetických resp. novostaveb, ale také při rekonstrukcích stávajících budov. Splnění dílčích požadavků na jednotlivé součinitele prostupu velmi napomáhá k tomu, aby se podařilo zajistit nízký prostup tepla celé obálky budovy. Při navrhování je třeba dbát zejména na to, aby nedocházelo k předimenzování jedné konstrukce a ostatní zůstaly naopak silně poddimenzovány (jedna část je sice dokonalá, ale zbytkem teplo stále významně uniká), tzn., pokud např. navrhujeme pasivní stavbu, snažíme se u všech hodnot dodržet 2/3 doporučené hodnoty normy. Dalším velkým nedostatkem při výpočtech součinitele prostupu tepla je absence zohlednění tepelných mostů v konstrukci (např. uvažujeme zateplení polystyrénem o tl. 140 mm na celé konstrukci, ale polystyrénem procházejí kotvy, což snižuje zateplovací schopnost polystyrénu). Vliv tepelných mostů lze zohlednit dle následujícího vztahu.¹⁴

$$U = U_{id} + \Delta U_{tbk}^{15}$$

U_{id} – součinitel prostupu tepla v ideálním úseku,

ΔU_{tbk} – přírážka za tepelné mosty.

Pro ilustraci uvádím několik skladeb konstrukcí vždy v nejprve v nezatepleném a následně v zatepleném stavu a ohodnocení z hlediska splnění požadované resp. doporučené hodnoty normy na součinitel prostupu tepla. Pro ilustraci uvádím jednu skladbu obvodového zdiva, jednu skladbu stropu nad nevytápěným suterénem a jednu skladbu střechy.

Tabulka 4 Vstupní hodnoty pro výpočet součinitele prostupu tepla obvodového zdiva

Nezateplené obvodové zdivo		
	D[m]	λ [W/(m·K)]
omítka vápenná	0,020	0,870
CPP	0,450	0,800
omítka vápenocementová	0,010	0,990
břizolit	0,015	0,900

¹² (ČSN 73 0540 - 4 Tepelná ochrana budov. Část 4 - Výpočtové metody 2005)

¹³ Tamtéž.

¹⁴ (Šála 2008), (J. Tywoniak, Nízkoenergetické domy 2 2008)

¹⁵ (ČSN 73 0540 - 4 Tepelná ochrana budov. Část 4 - Výpočtové metody 2005)

Zateplené obvodové zdivo		
	D[m]	λ [W/(m·K)]
omítka vápenná	0,020	0,870
CPP	0,450	0,800
omítka vápenocementová	0,010	0,990
břizolit	0,015	0,900
lep. stěrka	0,003	0,800
polystyrén	0,140	0,039
lep. stěrka	0,003	0,800
silikonová omítka	0,002	0,700

Zdroj: hodnoty λ převzaty z: (ČSN 73 0540 - 3 Tepelná ochrana budov. Část 3 - Návrhové hodnoty veličin 2005);
tloušťky d zvoleny dle obvyklých reálných konstrukcí

Tabulka 5 Součinitel prostupu tepla obvodového zdiva

konstrukce	součinitel prostupu tepla			požadavek ČSN 73 0540-2 $U \leq U_N$
	požadovaná hodnota	doporučená hodnota	vypočtená hodnota	
	$U_{N,20}$ [W/(m ² ·K)]		U [W/(m ² ·K)]	
obvodové zdivo nezatepleno	0,38	0,25	1,282	není splněn
obvodové zdivo zatepleno	0,38	0,25	0,248	je splněn

Zdroj: vlastní výpočet

Tabulka 6 Vstupní hodnoty pro výpočet součinitele prostupu tepla střechy

Nezateplená střecha		
	D[m]	λ [W/(m·K)]
omítka vápenná	0,015	0,870
Hurdis do I	0,080	0,600
betonová mazanina	0,060	1,300
škvárový násyp se spádem	0,100	0,270
plynosilikátové desky	0,100	0,230
cementový potěr	0,020	1,160
IPA	0,0102	0,210
Zateplená střecha		
	D[m]	λ [W/(m·K)]
omítka vápenná	0,015	0,870
Hurdis do I	0,080	0,600
betonová mazanina	0,060	1,300
škvárový násyp se spádem	0,100	0,270
plynosilikátové desky	0,100	0,230
cementový potěr	0,020	1,160
IPA	0,0102	0,210
polystyrén 100S	0,240	0,037
modifikovaný pás	0,004	0,210

Zdroj: hodnoty λ převzaty z: (ČSN 73 0540 - 3 Tepelná ochrana budov. Část 3 - Návrhové hodnoty veličin 2005);
tloušťky d zvoleny dle obvyklých reálných konstrukcí

Tabulka 7 Součinitel prostupu tepla střechy

konstrukce	součinitel prostupu tepla			požadavek ČSN 73 0540-2 $U \leq U_N$
	požadovaná hodnota	doporučená hodnota	vypočtená hodnota	
	$U_{N,20}[\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})]$		$U[\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})]$	
střecha nezateplená	0,24	0,16	0,826	není splněn
střecha zateplená	0,24	0,16	0,150	je splněn

Zdroj: vlastní výpočet

Tabulka 8 Vstupní hodnoty pro výpočet součinitele prostupu tepla stropu nad nevytápěným suterénem

Nezateplený strop nad nevytápěným suterénem		
	D[m]	$\lambda[\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})]$
cementový potěr	0,020	1,160
betonová mazanina	0,170	1,300
hurdis do ocelových nosníků	0,080	0,600
omítka vápenocementová	0,015	0,990
Zateplený strop nad nevytápěným suterénem		
	D[m]	$\lambda[\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})]$
cementový potěr	0,020	1,160
betonová mazanina	0,170	1,300
hurdis do ocelových nosníků	0,080	0,600
omítka vápenocementová	0,015	0,990
lep. stěrka	0,003	0,800
polystyrén	0,080	0,039
lep. stěrka	0,003	0,800

Zdroj: hodnoty λ převzaty z: (ČSN 73 0540 - 3 Tepelná ochrana budov. Část 3 - Návrhové hodnoty veličin 2005); tloušťky d zvoleny dle obvyklých reálných konstrukcí**Tabulka 9 Součinitel prostupu tepla stropu nad nevytápěným suterénem**

konstrukce	součinitel prostupu tepla			požadavek ČSN 73 0540-2 $U \leq U_N$
	požadovaná hodnota	doporučená hodnota	vypočtená hodnota	
	$U_{N,20}[\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})]$		$U[\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})]$	
nezateplený strop nad suterénem	0,60	0,40	1,562	není splněn
zateplený strop nad suterénem	0,60	0,40	0,370	je splněn

Zdroj: vlastní výpočet

2.2 Průměrný součinitel prostupu tepla U_{em}

Hodnotí stavební část budovy z hlediska tepelných toků obálkou budovy prostupem na nastavené úrovni. (Šála 2008, str. 19)

Nastavenou úrovní se rozumí požadované resp. doporučené hodnoty normy ČSN 730540-2, ty se vypočtou dle následujícího vzorce dle objemového faktoru budovy.

$$U_{em,rq} = 0,30 + \frac{0,15}{\left(\frac{A}{V}\right)}^{16}$$

$$U_{em,rc} = 0,75 \cdot U_{em,rq}^{17}$$

Pro některé objemové faktory budovy jsou hodnoty uvedeny v následující tabulce. Pro ilustraci, např. stávající zástavba ze 70. a 80. let má obvykle objemový faktor mezi 0,65 až 1.

Tabulka 10 Průměrný součinitel prostupu tepla u vybraných A/V faktorů budovy

Objemový faktor tvaru budovy A/V [m ² /m ³]	Průměrný součinitel prostupu tepla U _{em,N} [W/(m ² K)]	
	Požadované hodnoty U _{em,rq}	Doporučené hodnoty U _{em,rc}
0,6	0,55	0,41
0,7	0,51	0,39
0,8	0,49	0,37
0,9	0,47	0,35

Zdroj: (Šála 2008, str. 141)

Průměrný součinitel prostupu tepla lze vyjádřit následujícím vzorcem.

$$U_{em} = \frac{H_T}{A}^{18}$$

H_T – měrná ztráta prostupem tepla (ve W/K), která se stanovuje ze součinitelů prostupu tepla U všech teplosměnných konstrukcí tvořících obálku budovy na její systémové hranici dané vnějšími rozměry (podrobněji viz ČSN 730540-4).¹⁹

A – plocha obálky budovy (v m²).

Při navrhování pasivních a nízkoenergetických staveb je jedním z klíčových požadavků vhodný A/V faktor budovy (tj. vícepodlažní dům je vhodnější než bungalov, dvojdomek je lepší než samostatně stojící dům, krychle je vhodnější než kvádr, minimalizace různých odskoků atd. je velice žádoucí...). Pro ilustraci uvádím 2 rozdílné typy domů, jejich A/V faktory a nutnosti jejich zateplení tak, aby dosáhli na požadované hodnoty průměrného součinitele tepla. Pro lepší porovnání uvádím domy, kde jsou vodorovné i svislé konstrukce tvořeny podobnými skladbami materiálů.

¹⁶ (ČSN 73 0540 - 2 Tepelná ochrana budov. Část 2 - Požadavky 2007)

¹⁷ Tamtéž,

¹⁸ (ČSN 73 0540 - 4 Tepelná ochrana budov. Část 4 - Výpočtové metody 2005)

¹⁹ (Šála 2008)

2.2.1 Příklad domu s vysokým objemovým faktorem budovy

Jedná se o plně podsklepený rodinný dům s jedním nadzemním podlažím a dvěma pultovými střechami (viz obrázek). Objekt má jednu vytápěnou teplotní zónu, přičemž návrhová teplota byla stanovena jako vážený průměr (dle objemu) návrhových teplot jednotlivých místností. Nevytápěným prostorem je suterén a půda.

Obvodové zdivo vytápěného prostoru je tvořeno plynosilikátovými tvárnicemi tl. 400 mm a tl. 300 mm. Strop nad 1. NP i suterénem je tvořen deskami Hurdis do ocelových nosníků se zmonolitněním škvárobetonem a betonem. Původní okna vytápěného prostoru jsou dřevěná zdvojená kyvná. Vstupní vchodové dveře jsou dřevěné zasklené jednoduchým sklem. Původní tepelná izolace byla řešena na stropě nad 1. NP. Část stropu je zateplena minerální vlnou v celkové tl. 260 mm. Část stropu nad 1. NP resp. podlahy půdy, která je uvažována jako pochozí, je zateplena kombinací minerální vlny tl. 20 mm a podlahového polystyrénu tl. 200 mm. Dále je zatepleno rozhraní mezi vytápěným a nevytápěným prostorem, které tvoří část zdi půdy do vytápěného prostoru a to polystyrénem tl. 80 mm.

Obrázek 1 Dům s vysokým objemovým faktorem budovy



Zdroj: vlastní nákres dle konkrétního domu.

Tabulka 11 Průměrný součinitel prostupu tepla domu s vysokým A/V faktorem – původní stav

objemový faktor tvaru budovy	Průměrný součinitel prostupu tepla			požadavek ČSN 73 0540-2 $U_{em} \leq U_{em,N}$
	požadovaná hodnota	doporučená hodnota	vypočtená hodnota	
	$U_{em,N,rq}$ [W/(m ² ·K)]	$U_{em,N,rc}$ [W/(m ² ·K)]	U_{em} [W/(m ² ·K)]	
1,10	0,44	0,33	0,86	není splněn

Zdroj: vlastní výpočty.

Podíváme-li se na materiálové řešení, tak se jedná o dům z průměrně kvalitních až lepších materiálů s dostatečně zateplenou střechou. Velmi slabým místem jsou pouze původní výplně otvorů. Přesto dům nesplňuje průměrný součinitel prostupu tepla více jak dvojnásobně. Hlavním důvodem je právě nevhodný A/V faktor budovy (laicky: hodně venkovních stěn).

Aby se energetická spotřeba domu zlepšila, bylo třeba provést zateplení obvodového zdiva polystyrénem tl. 120 mm, zateplení stropu nad suterénem polystyrénem tl. 100 mm a výměnu oken a vchodových dveří za kvalitní výplně otvorů s izolačním trojsklem. Jak se změnil průměrný součinitel prostupu tepla, vidíme v tabulce.

Tabulka 12 Průměrný součinitel prostupu tepla domu s vysokým A/V faktorem – nový stav

objemový faktor tvaru budovy	Průměrný součinitel prostupu tepla			požadavek ČSN 73 0540-2 $U_{em} \leq U_{em,N}$
	požadovaná hodnota	doporučená hodnota	vypočtená hodnota	
	$U_{em,N,rq}$ [W/(m ² ·K)]	$U_{em,N,rc}$ [W/(m ² ·K)]	U_{em} [W/(m ² ·K)]	
1,10	0,44	0,33	0,31	je splněn

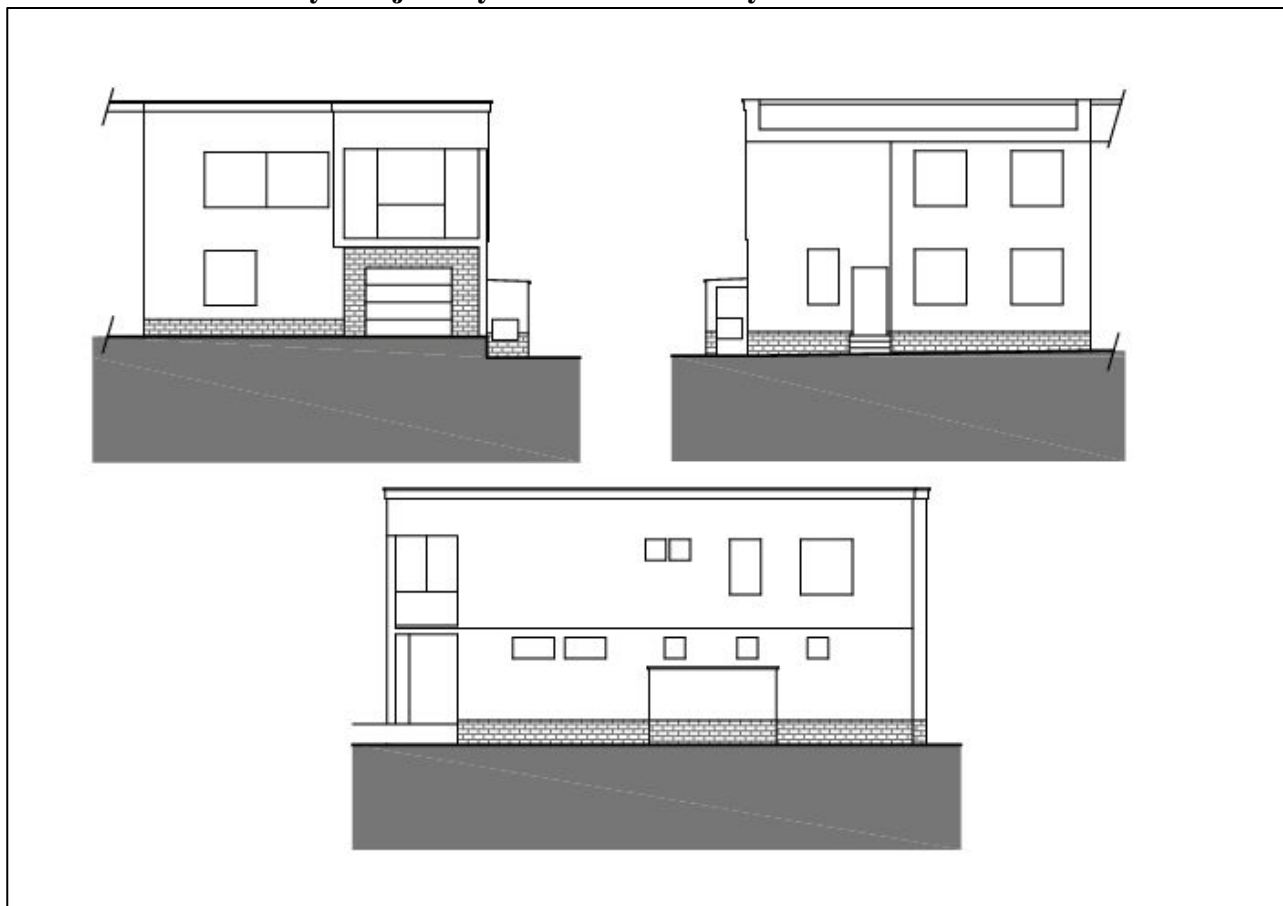
Zdroj: vlastní výpočty.

2.2.2 Příklad domu s nízkým objemovým faktorem budovy

Jedná se o částečně podsklepený rodinný dům s plochou střechou se dvěma nadzemními podlažími. SZ stěna je společná s vedlejším rodinným domem. Objekt je jednou vytápěnou teplotní zónou o návrhové hodnotě 20°. Garáž a suterén tvoří nevytápěný prostor.

Obvodové zdivo je tl. 400 mm a je provedeno z plynosilikátových tvárnic. Strop nad oběma podlažími i suterénem je proveden jako kombinovaný z desek HURDIS do ocelových nosníků se zmonolitněním škvárobetonem. Původní okna vytápěného prostoru jsou plastová zasklená izolačním dvojsklem. Původní tepelná izolace je provedena minerální vlnou tl. 60 mm na stropní konstrukci nad 2. NP, tato minerální vlna je přisypána škvárou o tl. 50 mm.

Obrázek 2 Dům s nízkým objemovým faktorem budovy



Zdroj: vlastní nákres dle konkrétního domu.

Tabulka 13 Průměrný součinitel prostupu tepla domu s nízkým A/V faktorem – původní stav

objemový faktor tvaru budovy	Průměrný součinitel prostupu tepla			požadavek ČSN 73 0540-2 $U_{em} \leq U_{em,N}$
	požadovaná hodnota	doporučená hodnota	vypočtená hodnota	
	$U_{em,N,rq}$ [W/(m ² ·K)]	$U_{em,N,rc}$ [W/(m ² ·K)]	U_{em} [W/(m ² ·K)]	
0,63	0,54	0,40	0,720	není splněn

Zdroj: vlastní výpočty.

Podíváme-li se na materiálové řešení, tak se jedná o dům z průměrně kvalitních až lepších materiálů s částečně (velmi nedostatečně) zateplenou střechou, ale poměrně s kvalitními okny a vchodovými dveřmi. Ačkoliv je obvodové zdivo kompletně nezatepleno, není splněn průměrný součinitel prostupu tepla jen o dvě desetiny. Důvodem je vhodný A/V faktor budovy (laicky: málo venkovních stěn, jedna stěna je dokonce „teplá“ – je společná s vedlejším objektem).

I přes poměrně příznivý průměrný součinitel prostupu tepla, bylo třeba energetickou spotřebu domu snížit. Došlo k zateplení obvodového zdiva polystyrénem tl. 120 mm, dozateplení střechy foukanou minerální vlnou tl. 220 mm a zateplení stropu nad suterénem polystyrénem tl. 80 mm. Jak se změnil

průměrný součinitel prostupu tepla, vidíme v tabulce.

Tabulka 14 Průměrný součinitel prostupu tepla domu s nízkým A/V faktorem – nový stav

objemový faktor tvaru budovy	Průměrný součinitel prostupu tepla			požadavek ČSN 73 0540-2 $U_{em} \leq U_{em,N}$
	požadovaná hodnota	doporučená hodnota	vypočtená hodnota	
	$U_{em,N,rq}$ [W/(m ² ·K)]	$U_{em,N,rc}$ [W/(m ² ·K)]	U_{em} [W/(m ² ·K)]	
0,63	0,54	0,40	0,440	je splněn

Zdroj: vlastní výpočty

2.3 Měrná potřeba tepla na vytápění

Měrná potřeba tepla na vytápění je jeden ze základních ukazatelů stavební fyziky.

Tento ukazatel říká, kolik tepla dům potřebuje za jeden rok pro udržení potřebných parametrů vnitřního prostředí. Pro snadnější porovnání se přepočítává na jeden metr čtvereční užité plochy. (Hazucha 2010, str. 6)

Měrná potřeba tepla se vypočte podle ČSN EN ISO 13790.

Výpočet měrné potřeby tepla je naznačen následujícími vzorci.

(1)

$$H_D = \sum_i A_i \cdot U_i + \sum_k l_k \cdot \psi_k + \sum_j \chi_j^{20}$$

H_D je měrný tepelný tok prostupem tepla přes obvodový plášť mezi vytápěným nebo chlazeným prostorem a vnějším prostředím ve W/K.

A_i je plocha i-tého prvku obvodového pláště v m².

U_i je součinitel prostupu tepla i-tého prvku obvodového pláště ve W/(m²K).

l_k je délka k-tého lineárního tepelného mostu v m.

ψ_k je lineární činitel prostupu tepla k-tého tepelného mostu ve W/(mK).

χ_j je bodový činitel prostupu tepla j-tého tepelného mostu ve W/K.

(2)

$$H_U = H_{iu} \cdot b^{21}$$

(3)

²⁰ (ČSN EN ISO 13789 Tepelné chování budov - měrné tepelné toky prostupem tepla a větráním - výpočtová metoda 2009)

²¹ Tamtéž.

$$b = \frac{H_{ue}}{H_{iu} + H_{ue}}^{22}$$

H_U je měrný tepelný tok prostupem tepla mezi klimatizovaným prostorem a vnějším prostředím přes neklimatizované prostory ve W/K.

b je redukční činitel, který zohledňuje odlišnost teploty neklimatizovaného prostoru od teploty venkovního prostředí.

H_{iu} je měrný tepelný tok mezi klimatizovaným a neklimatizovaným prostorem ve W/K a vypočte se podle následujícího vztahu.

H_{ue} je měrný tepelný tok mezi neklimatizovaným prostorem a vnějším prostředím ve W/K a vypočte se dle následujícího vztahu.

(4)

$$H_{iu} = H_{T,iu} + H_{V,iu}^{23}$$

$$H_{ue} = H_{T,ue} + H_{V,ue}^{24}$$

$H_{T,ue}$ a $H_{T,iu}$ jsou měrné tepelné toky prostupem tepla a vypočtou se jako součet měrných toků konstrukcí mezi interiérem a nevytápěným prostorem.

$H_{V,ue}$ a $H_{V,iu}$ jsou měrné tepelné toky větráním a vypočtou se podle následujících vztahů.

(5)

$$H_{V,iu} = \rho \cdot c_p \cdot V_{iu}^{25}$$

$$H_{V,ue} = \rho \cdot c_p \cdot V_{ue}^{26}$$

ρ je hustota vzduchu v kg/m^3 .

c_p je měrná tepelná kapacita vzduchu ve $\text{Wh}/(\text{kgK})$.

V_{ue} je objemový tok vzduchu mezi neklimatizovaným prostorem a venkovním prostředím v m^3/h .

V_{iu} je objemový tok vzduchu mezi klimatizovaným a neklimatizovaným prostorem v m^3/h .

(6)

$$H_A = b \cdot H_{ia}^{27}$$

H_A je měrný tepelný tok do přiléhající budovy ve W/K.

H_{ia} je měrný tepelný tok mezi klimatizovaným prostorem a přiléhající budovou ve W/K a vypočte se obdobně jako (4).

b je redukční činitel a vypočte se dle následujícího vztahu.

(7)

$$b = \frac{\theta_i - \theta_a}{\theta_i - \theta_e}^{28}$$

²² Tamtéž.

²³ Tamtéž.

²⁴ Tamtéž.

²⁵ Tamtéž.

²⁶ Tamtéž.

²⁷ Tamtéž.

²⁸ Tamtéž.

θ_i je teplota uvnitř budovy v °C.

θ_a je teplota přiléhající budovy v °C.

θ_e je teplota venkovního prostředí v °C.

(8)

$$H_g = A \cdot U + P \cdot \varphi_g^{29}$$

H_g je měrný tepelný tok zeminou ve W/K.

A je plocha podlahy v m².

P je exponovaný obvod podlahy v m.

φ_g je lineární činitel prostupu tepla zastupující vliv napojení stěna/podlaha v W/(mK).

$$(9) = (1) + (2) + (6) + (8)$$

$$H_T = H_D + H_U + H_A + H_g^{30}$$

H_T je měrný tepelný tok prostupem tepla W/K.

(10)

$$H_V = \rho \cdot c_p \cdot V^{31}$$

H_V je měrný tepelný tok větráním v W/K.

ρ je hustota vzduchu v kg/m³.

c_p je měrná tepelná kapacita vzduchu ve Wh/(kgK).

V je objemový tok vzduchu vytápěným nebo chlazeným prostorem v m³/h.

(11)

$$Q_{tr} = H_T \cdot (\theta_{int,set,H} - \theta_e) \cdot t \text{ Pro vytápění.}^{32}$$

$$Q_{tr} = H_T \cdot (\theta_{int,set,C} - \theta_e) \cdot t \text{ Pro chlazení.}^{33}$$

Q_{tr} je celkové množství přeneseného tepla prostupem zóny budovy v MJ.

$\theta_{int,set,H}$ je požadovaná teplota v zóně budovy při režimu vytápění v °C.

$\theta_{int,set,C}$ je požadovaná teplota v zóně budovy při režimu chlazení v °C.

θ_e je teplota venkovního prostředí v °C.

t je délka kroku (např. měsíc) v megasekundách.

(12)

$$Q_{ve} = H_V \cdot (\theta_{int,set,H} - \theta_e) \cdot t \text{ Pro vytápění.}^{34}$$

$$Q_{ve} = H_V \cdot (\theta_{int,set,C} - \theta_e) \cdot t \text{ Pro chlazení.}^{35}$$

Q_{ve} je celkové množství přeneseného tepla větráním zóny budovy v MJ.

²⁹ (ČSN EN ISO 13370 Tepelné chování budov - přenos tepla zeminou - výpočtové metody 2009)

³⁰ (ČSN EN ISO 13789 Tepelné chování budov - měrné tepelné toky prostupem tepla a větráním - výpočtová metoda 2009)

³¹ Tamtéž.

³² (ČSN EN ISO 13790 Energetická náročnost budov - výpočet spotřeby energie na vytápění a chlazení 2009)

³³ Tamtéž.

³⁴ Tamtéž.

³⁵ Tamtéž.

$$(13) = (11) + (12)$$

$$Q_{ht} = Q_{tr} + Q_{ve}^{36}$$

Q_{ht} je celkové množství přeneseného tepla v MJ.

$$(14)$$

$$Q_{sol} = \left(\sum_k \phi_{sol,mn,k} \right) \cdot t + \left[\sum_l (1 - b_{tr,l}) \cdot \phi_{sol,mn,u,l} \right] \cdot t^{37}$$

Q_{sol} je součet tepelných zisků ze solárních zdrojů v MJ.

$b_{tr,l}$ je korekční činitel pro přiléhající neklimatizovaný prostor s vnitřním zdrojem tepla l.

$\Phi_{sol,mn,k}$ je časově zprůměrovaný tepelný tok ze solárního zdroje tepla k v W.

$\Phi_{sol,mn,u,l}$ je časově zprůměrovaný tepelný tok ze solárního zdroje tepla l v přiléhajícím neklimatizovaném prostoru v W.

$$(15)$$

$$Q_{int} = \left(\sum_k \phi_{int,mn,k} \right) \cdot t + \left[\sum_l (1 - b_{tr,l}) \cdot \phi_{int,mn,u,l} \right] \cdot t^{38}$$

Q_{int} je součet tepelných zisků z vnitřních zdrojů tepla v uvažované zóně budovy v MJ.

$\Phi_{int,mn,k}$ je časově zprůměrovaný tepelný tok z vnitřního zdroje tepla k v W.

$\Phi_{int,mn,u,l}$ je časově zprůměrovaný tepelný tok z vnitřního zdroje tepla l v přiléhajícím neklimatizovaném prostoru v W.

$$(16) = (14) + (15)$$

$$Q_{gn} = Q_{int} + Q_{sol}^{39}$$

Q_{gn} jsou celkové tepelné zisky zóny budovy v MJ.

$$(17)$$

$$Q_{H,nd} = Q_{H,ht} - \eta_{H,gn} \cdot Q_{H,gn}^{40}$$

$Q_{H,nd}$ je potřeba energie na vytápění v MJ.

$Q_{H,ht}$ je celkové množství přeneseného tepla v režimu vytápění v MJ.

$Q_{H,gn}$ jsou celkové tepelné zisky v režimu vytápění v MJ.

$\eta_{H,gn}$ je faktor využitelnosti solárních zisků.

Pro lepší porovnávací možnosti se potřeba energie na vytápění přepočte na měrnou potřebu tepla na vytápění. Nejprve se sečtou všechny měsíční potřeby energie na vytápění ($Q_{H,nd}$), tím dostaneme roční potřebu tepla na vytápění, tuto je třeba převést z MJ na kWh a následně podělit vytápěnou podlahovou plochou a dostaneme hodnotu měrné potřeby tepla na vytápění v kWh/(m².a).

³⁶ Tamtéž.

³⁷ Tamtéž.

³⁸ Tamtéž.

³⁹ Tamtéž.

⁴⁰ Tamtéž.

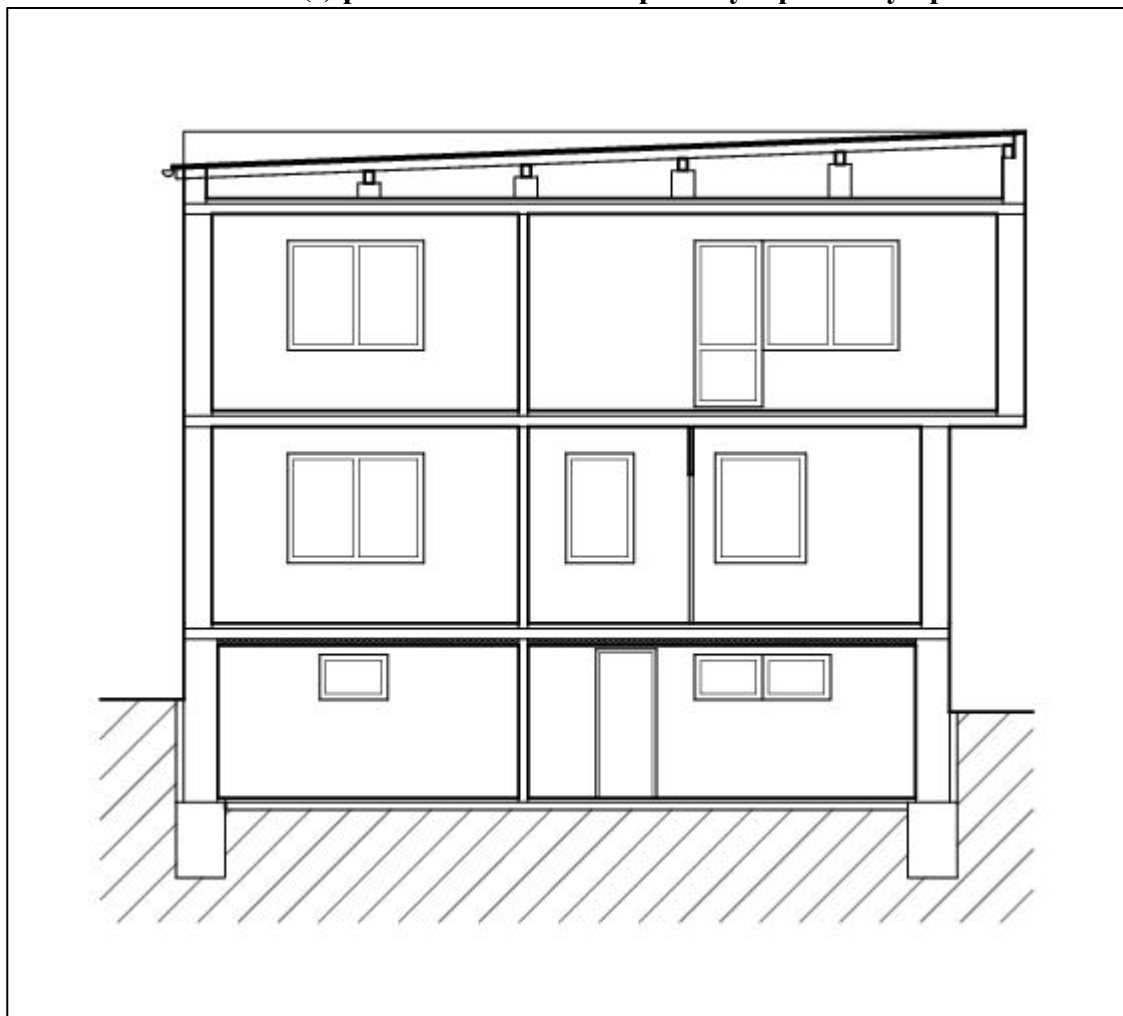
2.3.1 Měrná potřeba tepla rodinného domu (I)

Jedná se o částečně podsklepený dvougenerační rodinný dům nepravidelného půdorysu se dvěma nadzemními podlažími a plochou dvouplášťovou střechou. Rodinný dům obsahuje 2 bytové jednotky a je trvale obydlen 6 lidmi. Objekt je jednou vytápěnou teplotní zónou o návrhové hodnotě 20°. Suterén, garáž, chodba před garáží a schodiště do suterénu tvoří nevytápěné prostory.

Obvodové zdivo obou nadzemních podlaží je tvořeno plynosilikátovými tvárnicemi tl. 300 mm s přízděním cihlou dutinovou tl. 65 mm. Strop nad suterénem i oběma podlažími je tvořen dutými cihlami s železobetonovými žebry do ocelových nosníků se zmonolitněním prostým betonem. Všechna okna vytápěného prostoru jsou plastová s izolačními dvojskly, vchodové dveře jsou plastové částečně prosklené izolačním dvojsklem. Stávající tepelná izolace je ve stropu s podlahou nad venkovním prostorem (podhled), který je zateplen polystyrénem tl. 100 mm. Dále je dílčím způsobem zateplen strop nad 2. NP minerální vlnou tl. 20 mm. Strop nevytápěné garáže je zateplen polystyrénem tl. 100 mm. Strop suterénu je zateplen polystyrénem tl. 80 mm, rozhraní mezi vytápěným a nevytápěným prostorem v 1. NP je zateplen polystyrénem tl. 60 mm a polystyrénem tl. 100 mm.

Měrná potřeba tepla na vytápění před rekonstrukcí byla 174 kWh/(m².a).

Obrázek 3 Řez domu (I) před snížením měrné potřeby tepla na vytápění

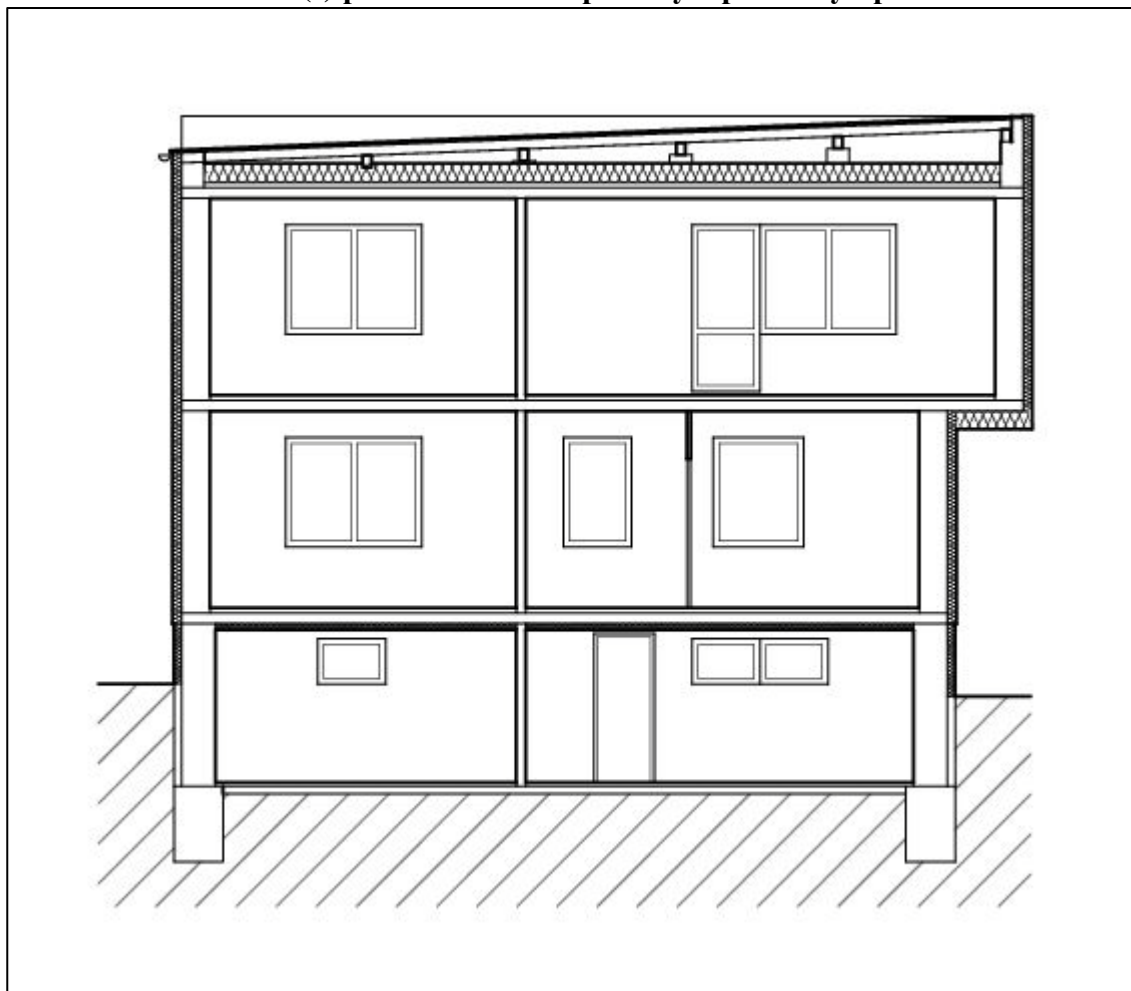


Zdroj: vlastní nákres dle konkrétního domu.

Pro snížení měrné potřeby tepla na vytápění bylo třeba zateplít obvodové zdivo polystyrénem s příměsí grafitu o tl. 120 mm, zateplít resp. dozateplít venkovní podhledy polystyrénem s příměsí grafitu o tl. 240 mm resp. 150 mm a zateplít strop nad 2. NP foukanou izolací o tl. 250 mm (střechu).

Měrná potřeba tepla na vytápění po rekonstrukci byla $70 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$.

Obrázek 4 Řez domu (I) po snížení měrné potřeby tepla na vytápění



Zdroj: vlastní náčrtes dle konkrétního domu.

Tabulka 15 Porovnání měrné potřeby tepla na vytápění rodinného domu (I) před a po rekonstrukci

	roční měrná potřeba tepla na vytápění [kWh/(m ² .a)]
stav před rekonstrukcí	174
stav po rekonstrukci	70
	dosažená úspora [%]
stávající stav ku novému stavu	59,77

Zdroj: vlastní výpočet.

2.3.2 Měrná potřeba tepla rodinného domu (II)

Jedná se o částečně podsklepený rodinný dům se dvěma nadzemními podlažními a dvěma pultovými střechami. Nosný systém tvoří obvodové zdi nepravidelného půdorysu. Dům obsahuje jednu bytovou jednotku a je trvale obydlen 4 osobami. Objekt je jednou vytápěnou teplotní zónou o návrhové hodnotě 20°. Nevytápěnými prostory jsou suterén, garáž v 1. NP a mezistřešní prostor, zbytek je vytápěn.

Obvodové stěny nadzemních podlaží jsou tvořeny jako sendvičové zdivo. Základem je plynosilikátová tvárnice tl. 300 mm, následuje minerální vlna tl. 50 mm a CD metrická tl. 115 mm. Stropní desky nad suterénem a 1.NP jsou tvořeny betonovými panely SPIROL tl. 200 mm. Strop nad 2.NP je tvořen dřevěnými fošnami a polystyrénem do I nosníků 160 mm se zmonolitněním prostým betonem do horní příruby. Stávající okna jsou dřevěná zdvojená kyvná nebo sklápěcí. Vstupní vchodové dveře jsou plastové. Stávající tepelná izolace byla řešena v obvodových stěnách (50 mm minerální vlna), dále pak ve vodorovném a šikmém podhledu krovu, kde je umístěna minerální vlna tl. 120 mm mezi kleštiny resp. krokve. Ve velmi omezené míře byl také zateplen strop nad 2. NP a to polystyrénem tl. 20 mm.

Měrná potřeba tepla před rekonstrukcí byla $175 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$.

Obrázek 5 Řez domu (II) před snížením měrné potřeby tepla na vytápění



Zdroj: vlastní nákres dle konkrétního domu.

Pro snížení měrné potřeby tepla došlo k výměně oken za plastová okna s izolačním trojsklem a k zateplení převážné části střechy polystyrénem tl. 220 mm.

Měrná potřeba tepla po rekonstrukci byla $128 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$.

Obrázek 6 Řez domu (II) po snížení měrné potřeby tepla na vytápění



Zdroj: vlastní náčrsek dle konkrétního domu.

Tabulka 16 Porovnání měrné potřeby tepla na vytápění rodinného domu (II) před a po rekonstrukci

	roční měrná potřeba tepla na vytápění [kWh/(m ² .a)]
stav před rekonstrukcí	175
stav po rekonstrukci	128
	dosažená úspora [%]
stávající stav ku novému stavu	26,86

Zdroj: vlastní výpočet.

2.3.3 Měrná potřeba tepla rodinného domu (III)

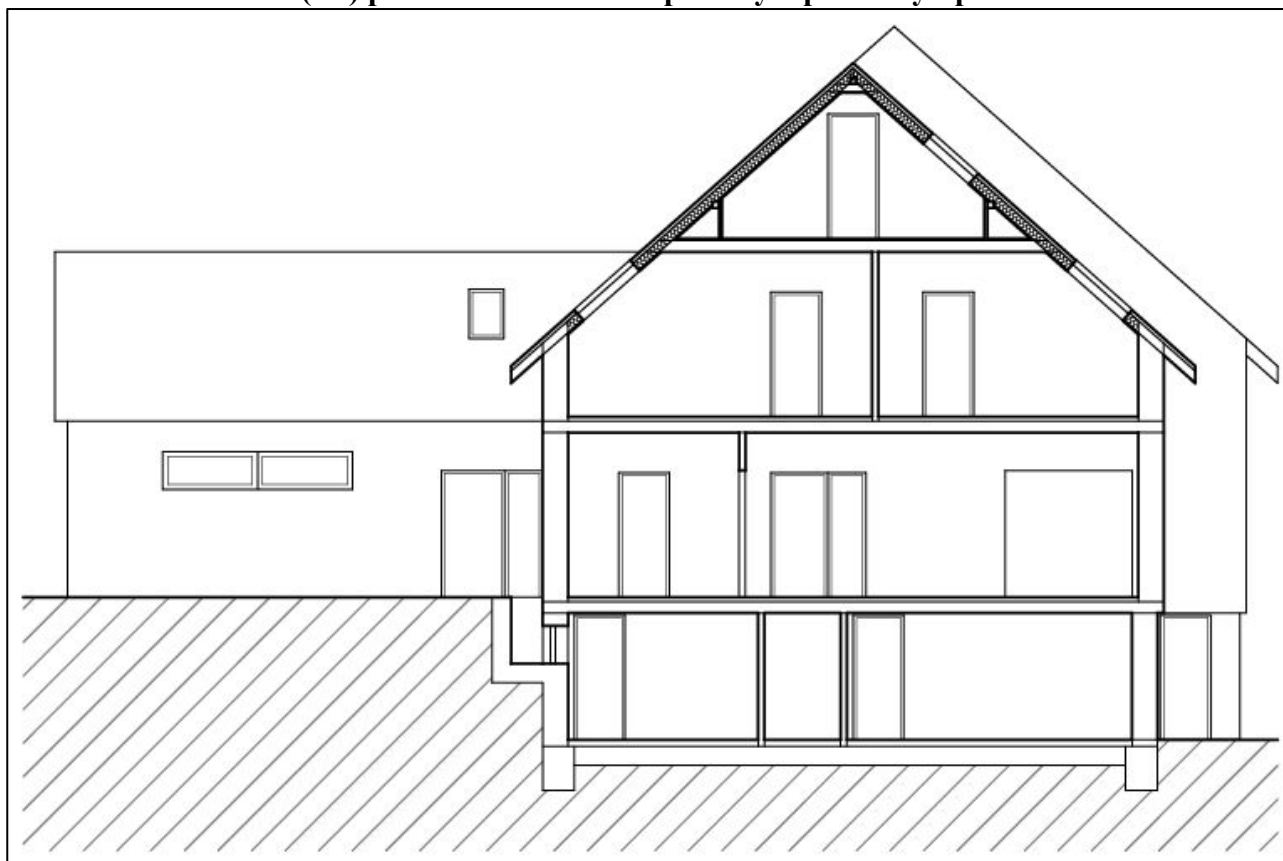
Jedná se o plně podsklepený řadový rodinný dům se dvěma nadzemními podlažími a podkrovím. Dům obsahuje jednu bytovou jednotku a je obýván třemi osobami. Objekt je jednou vytápěnou

teplotní zónou o návrhové hodnotě 20°. Jedná se o objekt s vytápěným 1. NP (s výjimkou garáže), s vytápěným 2. NP (s výjimkou půdy a s vytápěným podkrovím (s výjimkou komor). Suterén, garáž, půda a komory tvoří nevytápěné prostory.

Jedná se o řadový rodinný dům, kdy sousední zdi jsou vytvořeny jako sendvičové zdivo ze dvou škvárobetonových tvárnic tl. 300 mm, mezi které je umístěna tepelná a zvuková izolace prefizol tl. 30 mm. Venkovní zdi jsou tvořeny škvárobetonovou tvárnici tl. 400 mm. Stropní desky nad suterénem, 1. NP a 2. NP jsou tvořeny deskami Hurdis do ocelových nosníků se zmonolitněním prostým betonem. Okna vytápěného prostoru jsou dřevěná zdvojená kyvná. Vstupní vchodové dveře jsou dřevěné, částečně prosklené izolačním dvojsklem. Střešní okna jsou dřevěná s dvojitým zasklením. Tepelná izolace byla řešena ve společných obvodových stěnách, kde je mezi škvárobetonové tvárnice umístěna minerální vlna tl. 30 mm. Dále byla tepelná izolace řešena v šikmém podhledu krovu, kde je umístěna mezi krokve minerální vlna tl. 140 mm. Ve skladbě stropu nad suterénem a stropu nad 1. NP je minerální vlna o tl. 20 mm. Rozhraní mezi vytápěnou koupelnou a nevytápěnou půdou je zatepleno polystyrénem o tl. 100 mm.

Měrná potřeba tepla na vytápění před rekonstrukcí byla 124 kWh/(m².a).

Obrázek 7 Řez domu (III) před snížením měrné potřeby tepla na vytápění



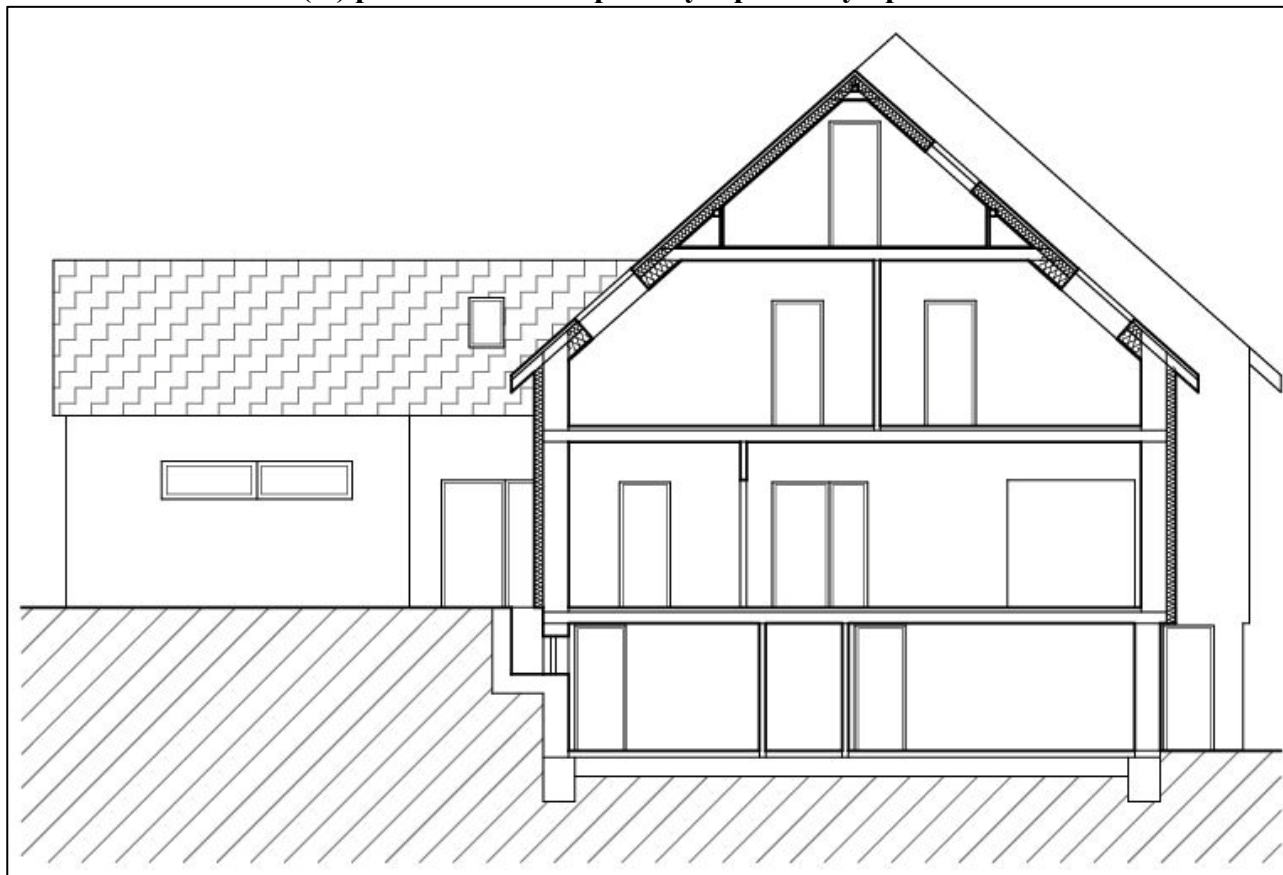
Zdroj: vlastní nákres dle konkrétního domu.

Pro snížení měrné potřeby tepla došlo k výměně oken za plastová okna s izolačním trojsklem,

k výměně střešních oken za okna Velux s izolačním dvojsklem, k zateplení obvodového zdiva polystyrénem tl. 140 mm, k dozateplení části střechy minerální vlnou tl. 270 mm, resp. tl. 200 mm a k dozateplení rozhraní mezi vytápěným a nevytápěným prostorem polystyrénem tl. 80 mm.

Měrná potřeba tepla po rekonstrukci byla $69 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$.

Obrázek 8 Řez domu (II) po snížení měrné potřeby tepla na vytápění



Zdroj: vlastní náčrsek dle konkrétního domu.

Tabulka 17 Porovnání měrné potřeby tepla na vytápění rodinného domu (III) před a po rekonstrukci

	roční měrná potřeba tepla na vytápění [kWh/(m ² ·a)]
stav před rekonstrukcí	124
stav po rekonstrukci	69
	dosažená úspora [%]
stávající stav ku novému stavu	44,35

Zdroj: vlastní výpočet.

2.4 Některé další pojmy ze stavební fyziky

2.4.1 Součinitel tepelné vodivosti λ

„Je definován jako množství tepla, které musí za jednotku času projít tělesem, aby na jednotkovou délku byl jednotkový teplotní spád. Přitom se předpokládá, že teplo se šíří pouze v jednom směru, např. v desce s rovnoběžnými povrchy.“⁴¹

Součinitel tepelné vodivosti je dán materiálovou konstantou a zjišťuje se experimentálně.

Tabulka 18 Součinitele tepelné vodivosti vybraných zdících materiálů⁴²

	$\lambda[\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})]$
cihla plná	0,800
škvárobetonová tvárnice	0,560
plynosilikátová tvárnice	0,230
ytong	0,170
porotherm	0,174
železobeton	1,430
vápenopísková cihla	0,860

Zdroj: hodnoty převzaty z: (ČSN 73 0540 - 3 Tepelná ochrana budov. Část 3 - Návrhové hodnoty veličin 2005)

Tabulka 19 Součinitele tepelné vodivosti vybraných zateplovacích materiálů⁴³

	$\lambda[\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})]$
polystyrén	0,039
polystyrén s příměsí grafitu	0,033
minerální vlna	0,044
polyuretanové desky	0,029

Zdroj: hodnoty převzaty z: (ČSN 73 0540 - 3 Tepelná ochrana budov. Část 3 - Návrhové hodnoty veličin 2005)

Poznámka: Při výpočtech měrné potřeby tepla konkrétních budov jsem se poměrně často setkával s laickým názorem: „zateplovat netřeba, dům je postavem z poctivých cihel“, přitom, jak je vidět z tabulky, právě nezateplená cihla patří z hlediska tepelných úniků k nejhorším zdícím materiálům.

2.4.2 Měrná tepelná kapacita c_u

Měrná tepelná kapacita je množství tepla potřebného k ohřátí 1 kilogramu látky o 1 teplotní stupeň °C nebo Kelvina.⁴⁴

Měrná tepelná kapacita je dána materiálovou konstantou a zjišťuje se experimentálně.

⁴¹ (Wikipedie, Tepelná vodivost 2011)

⁴² Hodnoty jsou pouze pro ilustraci, při výpočtech se používá hodnota přesného konkrétního materiálu (např. konkrétní typ plynosilikátové tvárnice, porothermu apod.).

⁴³ Hodnoty jsou pouze pro ilustraci, při výpočtech se používá hodnota přesného konkrétního materiálu (např. konkrétní typ minerální vlny, polystyrénu apod.).

⁴⁴ (Wikipedie, Měrná tepelná kapacita 2010)

Tabulka 20 Měrné tepelné kapacity vybraných materiálů⁴⁵

	C[J/(Kg·K)]
dřevo	2510
ytong	1000
porotherm	960
železobeton	1020
vápenopísková cihla	960

Zdroj: hodnoty převzaty z: (ČSN 73 0540 - 3 Tepelná ochrana budov. Část 3 - Návrhové hodnoty veličin 2005)

Posouzení měrné tepelné kapacity je při posuzování energetické náročnosti budov důležité zejména z důvodu, že slouží pro výpočet tepelné akumulace (viz dále).

2.4.3 Objemová hmotnost ρ

Objemová hmotnost je fyzikální veličina, která vyjadřuje hmotnost objemové jednotky látky.⁴⁶

Objemová hmotnost je dána materiálovou konstantou a zjišťuje se experimentálně.

Tabulka 21 Objemové hmotnosti vybraných materiálů⁴⁷

	ρ [Kg/m ³]
dřevo	400
ytong	550
porotherm	800
železobeton	2300
vápenopísková cihla	1800

Zdroj: hodnoty převzaty z: (ČSN 73 0540 - 3 Tepelná ochrana budov. Část 3 - Návrhové hodnoty veličin 2005)

Posouzení objemové hmotnosti je při posuzování energetické náročnosti budov důležité zejména z důvodu, že slouží pro výpočet tepelné akumulace (viz dále).

2.4.4 Tepelná akumulace C

Tepelnou akumulaci můžeme zjednodušeně vyjádřit následujícím vzorcem:

$$C = d \cdot c \cdot \rho$$

d je tloušťka stěny.

Tabulka 22 Tepelná akumulace vybraných materiálů

	d[m]	c[J/(Kg·K)]	ρ [Kg/m ³]	C [KJ/(m ² K)].
dřevo	0,2	2510	400	200,8
ytong	0,2	1000	550	110,0
porotherm	0,2	960	800	153,6

⁴⁵ Hodnoty jsou pouze pro ilustraci, při výpočtech se používá hodnota přesného konkrétního materiálu.

⁴⁶ (Wikipedie, Hustota 2011)

⁴⁷ Hodnoty jsou pouze pro ilustraci, při výpočtech se používá hodnota přesného konkrétního materiálu.

železobeton	0,2	1020	2300	469,2
vápenopísková cihla	0,2	960	1800	345,6

Zdroj: hodnoty převzaty z: (ČSN 73 0540 - 3 Tepelná ochrana budov. Část 3 - Návrhové hodnoty veličin 2005); vlastní výpočet

Poznámka: Jednou ze základních polemik, která se vede u pasivních staveb, je, zda zvolit lehkou dřevostavbu nebo těžký zdící materiál. Osobně jsem pro dobře zateplené těžké konstrukce (např. betonové monolity) a jako stěžejní argument považuji právě hodnoty tepelné akumulace. Dřevostavby se sice rychle vyhřejí, ale recipročně také rychle ochladí na rozdíl od těžkých materiálů.

2.4.5 Faktor difúzního odporu μ

Faktor difúzního odporu je fyzikální veličina vyjadřující odpor konstrukce či materiálu proti průniku vodních par.⁴⁸

Faktor difúzního odporu je zejména důležité zvažovat při sendvičových skladbách konstrukcí. Je důležité, aby v konstrukcích nedocházelo ke kondenzaci vodní páry a tím jednak ke vzniku zdraví škodlivých plísní a jednak k poškození izolačních schopností materiálů.

⁴⁸ (Stavařina, Slovník pojmů 2011)

3 STÁVAJÍCÍ APLIKACE Z OBLASTI STAVEBNÍ FYZIKY

V současné době existuje na našem trhu několik aplikací, které se věnují stavební fyzice, resp. konkrétně výpočtu měrné potřeby tepla na vytápění. Mezi nejznámější a nejvíce využívané patří Svoboda software (pro výpočet měrné potřeby tepla pak Energie) a software ProTech (pro výpočet měrné potřeby tepla modul potřeba tepla na vytápění). Za zmínku stojí také Národní kalkulační nástroj. Nejvíce citovaným nástrojem pro kompletní navrhování pasivních staveb ale pravděpodobně jsou programy Passivhaus institutu v Darmstadtu v Německu. Jde o programy PHVP (Passivhaus Vorprojektierung) a PHPP (Passivhaus Projektierungs Paket).

3.1 Svoboda Software – Energie

Svoboda Software je software společnosti K-CAD spol. s r.o. Tato společnost se zabývá prodejem výpočetní techniky a vývojem a prodejem softwarových aplikací pro stavebnictví a architekturu. *„Firma K-CAD spol. s r.o. byla již od roku 1991 Autorizovaným Dealerem firmy Autodesk a současně jejím registrovaným vývojářem. Náleží k těm českým firmám, které vyvíjejí původní nadstavby pro stavebnictví a architekturu v prostředí AutoCADu a ADT které respektují ČSN a národní zvyklosti. Nejznámějšími aplikacemi je RekonCAD. Součástí komplexní podpory konstrukčních kanceláří je software firmy Svoboda, který svým rozsahem plně pokrývá problematiku Stavební Fyziky.“* (K-CAD 2011)

Aplikace stavební fyziky, které firma nabízí, se dají rozdělit do čtyř základních skupin a to tepelná technika, akustika, protiradonová opatření a přenos dat z AutoCADu a AutoCAD Architecture.

Skupina tepelné techniky je určena právě pro energetické hodnocení budov, proto si její programy přiblížíme podrobněji. Do skupiny tepelné techniky patří následující programy.

„Area - program určený pro komplexní hodnocení stavebních detailů z hlediska dvourozměrného stacionárního vedení tepla a vodní páry.“ (K-CAD 2011)

„Mezera – program, který slouží pro hodnocení dvouplášťových konstrukcí s otevřenou vzduchovou vrstvou“ (K-CAD 2011)

„Teplo – program, který umožňuje základní tepelně technické posouzení skladby stavební konstrukce o maximálně deseti vrstvách.“ (K-CAD 2011)

„Stabilita – program, který poskytuje výpočet tepelné stability místností v zimním a v letním období.“ (K-CAD 2011)

„Simulace – program, který umožňuje hodnocení dynamické odezvy místností v čase na tepelnou zátěž v letním období.“ (K-CAD 2011)

„Ztráty – program, který je určen pro výpočet tepelných ztrát a celkové tepelné charakteristiky budov. Umožňuje rovněž provést návrh otopných těles.“ (K-CAD 2011)

„Energie – program, který slouží pro výpočet měrné tepelné ztráty a potřeby tepla na vytápění budov.“ (K-CAD 2011)

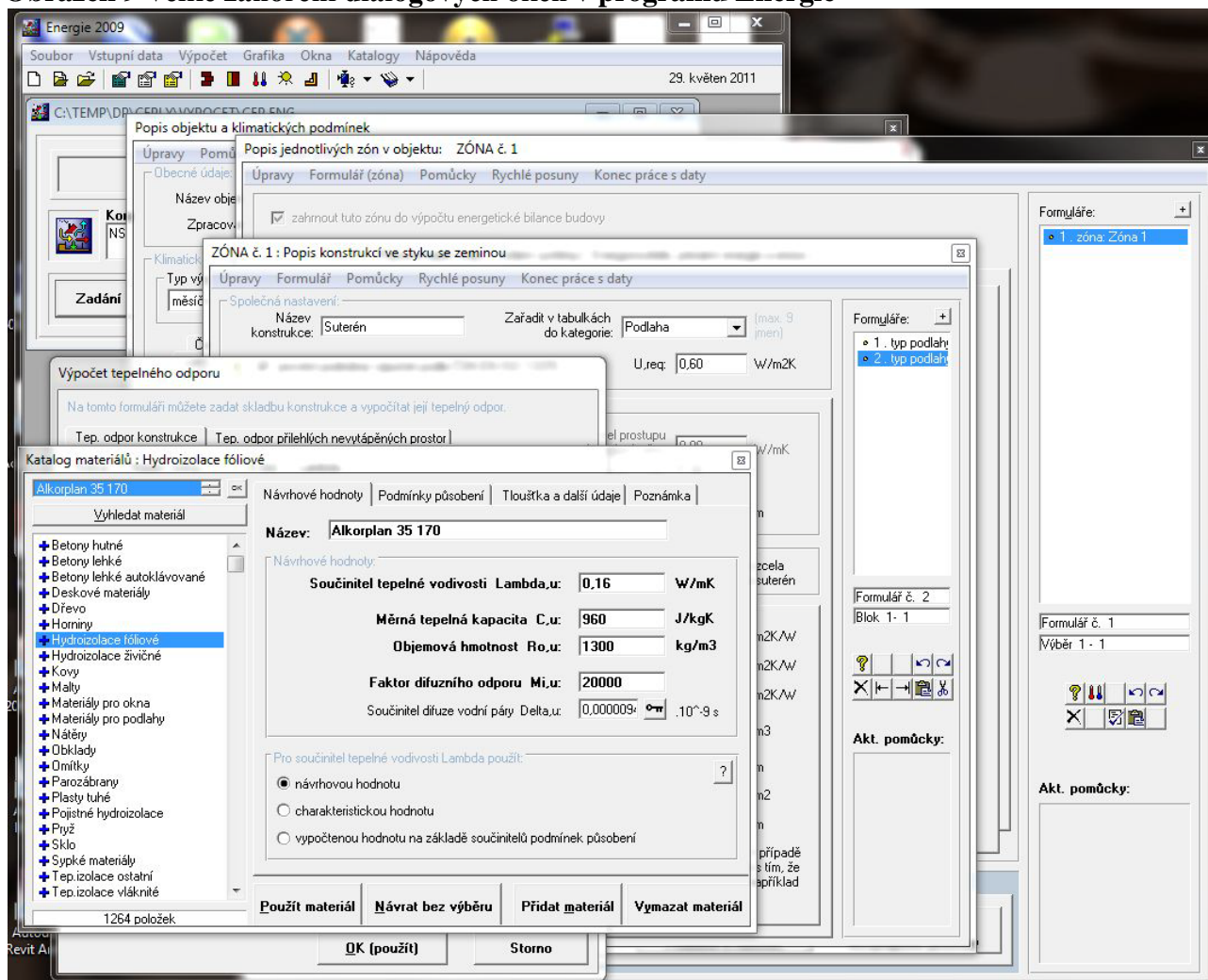
„Cube 3D – program, který slouží pro komplexní hodnocení stavebních detail (tepelných mostů a vazeb) z hlediska trojrozměrného stacionárního šíření tepla a vodní páry.“ (K-CAD 2011)

Tato práce se zabývá hlavně výpočtem měrné potřeby tepla na vytápění, proto se budu zabývat především posouzením programu Energie, který je pro toto určen. Tento program jsme si v roce 2009 pořídili s Ing. Jiřím Mrkvou, která je autorizovanou osobou ČKAIT, abychom ho využili při zpracovávání projektů v rámci programu Zelená úsporám. Používání tohoto programu a jeho cena mne přivedla k myšlence, že bych mohl vytvořit konkurenční nástroj, který by byl uživatelsky příznivější a hlavně zdarma.

3.1.1 Klady a zápory programu Energie

Hlavním problémem programu Energie je zbytečná komplikovanost a zdlouhavost. Například program neumožňuje vytvářet prozatímní výpočty bez toho, aby došlo k uzavření všech dialogových oken sloužících pro zadávání vstupních dat. S tímto souvisí další nedostatek a tím je nepřehledné rozhraní, kdy často nutno mít zároveň otevřeno pět i více dialogových oken najednou (viz následující obrázek). Tato velká úroveň zanoření dialogových oken může vést k zbytečným chybám. Toto nevede pouze ke komplikacím při zadávání dat a k nekonformnosti při snaze o průběžné výsledky, ale prodlužuje to také proces oprav.

Obrázek 9 Velké zanoření dialogových oken v programu Energie



Dále lze mezi nevýhody zařadit to, že je výpočet měrné potřeby tepla na vytápění někdy zbytečně zesložitován. Například je nutno zadávat vstupní údaje pro výpočty, které nejsou nutné, neboť TNI 730329 umožňuje toto řešit prostřednictvím konstant. Toto je dáno hlavně tím, že program Energie umožňuje výpočet podle více prováděcích předpisů nejen dle výše zmíněné TNI. Tato nevýhoda může být naopak některými uživateli hodnocena jako pozitivum.

Dalším problémem je, že pro výpočet měrné potřeby tepla na vytápění je třeba také vypočítat dílčí součinitele prostupu tepla, což sice Energie umožňuje, ale sami tvůrci tohoto programu důrazně doporučují využití dalšího programu a to programu Teplo, neboť při výpočtu v Energii může docházet k chybám. Toto zase zesložituje celý proces, neboť například při chybě v konstrukci, musí být tato chyba opravena v Teplu, výsledek se musí uložit do společného katalogu konstrukcí a ten se musí znovu načíst v programu Energie. Navíc musí být výsledky Energie a Tepla ukládány do rozdílných adresářů, neboť při uložení výstupů z těchto rozdílných aplikací pod shodným názvem do stejného adresáře může docházet ke ztrátě dat.

Další nevýhodou je cena, pro výpočet měrné potřeby tepla na vytápění je vhodné zakoupit kromě

Energie také program Teplo (viz výše), což již znamená nemalé náklady. Energii lze pořídit za cenu 15 900 bez DPH a Teplo za 9 900 bez DPH. (K-CAD 2011)

Za významnou nevýhodu považují také to, že program nespolupracuje s nějakou grafickou aplikací (například AutoCadem). Velmi by se zjednodušila práce, kdyby se údaje z výkresů nemusely do programu přenášet ručně.

Naopak mezi výhody bych zařadil velmi obsáhlý katalog materiálů. Dále pak přehledný protokol o výpočtu a podporu pro uživatele Svoboda software, kdy na stránkách K-CADu existuje blog, kde tvůrci programu relativně rychle zodpovídají dotazy uživatelů a prezentují rady, jak se vypořádat se zadáním specifických konstrukčních detailů budov.

3.2 ProTech – modul potřeba tepla na vytápění

Firma, která se zabývá vývojem aplikací především pro topenářské firmy. Nabídka firmy ProTech pokrývá oblast hodnocení budov a technických zařízení budov. *„Lze vybrat programy, které jsou orientovány jen na hodnocení energetické náročnosti budov, nebo sestavit topenářskou linku počínaje výpočtem tepelných ztrát, dimenzováním otopných těles nebo podlahových smyček, návrhem vlastní otopné soustavy a v závěru kontrolou spalínové cesty v programu Komín.“* (ProTech 2011)

Produkty, které firma nabízí, se dělí do několika skupin, pro potřeby této práce je stěžejní skupina pod označením Hodnocení energetické náročnosti budov, která mimo jiné obsahuje modul Potřeba tepla na vytápění, modul energetická náročnost budov či modul tepelná ochrana budov, které úzce souvisí s tématem této práce, tedy výpočtem měrné potřeby tepla na vytápění.

Software této firmy také nepatří k nejlevnějším, to byl další důvod, proč jsem se rozhodl naprogramovat vlastní aplikaci. Nicméně software této firmy jsem měl možnost testovat pouze v demo verzi.

3.2.1 Klady a zápory programu Potřeba tepla na vytápění

Firma ProTech se specializuje především na topenáře, tj., i její programy vycházejí především z topenářských norem a používají terminologii a způsob řešení přizpůsobený právě této skupině uživatelů. Toto je třeba pro mne jeden z hlavních problémů.

Stejně jako u Energie i zde platí, že aplikace nespolupracuje s žádným grafickým softwarem a i zde je tak přítomna nevýhoda nutnosti ručního přepisu dat.

Co se týká ceny, tak pokud bychom zakoupili moduly pro výpočet měrné potřeby tepla na vytápění, budeme na hodnotě od 6 000 do 18 000 bez DPH (ProTech 2011) dle naší ochoty některé veličiny dopočítávat ručně. Tato cena je ve srovnání se Svoboda software příznivější.

3.3 Hodnocení energetické náročnosti budov – národní kalkulační nástroj (NKN)

NKN byl vytvořen ke správné aplikaci vyhlášky 148/2007 Sb. o energetické náročnosti budov. (Hodnocení energetické náročnosti budov - Národní kalkulační nástroj 2011).

NKN není softwarová aplikace, ale jde o soubor funkcí v aplikaci MS Office Excel. NKN byl vytvořen a je spravován na ČVUT v Praze, fakultě stavební. Jde o volně dostupný a šiřitelný „software“.

3.3.1 Klady a zápory Národního kalkulačního nástroje

Za klíčový problém tohoto nástroje považuji to, že s jeho pomocí nelze počítat měrnou potřebu tepla podle TNI 73 0329 a TNI 73 0330,⁴⁹ tj. NKN předpokládá jiné okrajové podmínky a nepočítá s měsíčním krokem.

Další nevýhodou je to, že se jedná o nástroj, který slouží výhradně k výpočtu měrné potřeby tepla na vytápění. Tzn., že jej nelze (např. připojením další aplikace) použít k jiným výpočtům z oblasti stavební fyziky (kondenzace vodní páry, tepelná jímavost podlahy, tepelná stabilita místností apod.). Stejně tak program, jako v předchozích dvou případech, nelze připojit ke grafické aplikaci.

Další nevýhodou je, že NKN nemá žádnou technickou podporu a to ani v podobě otevřeného diskusního fóra na svých stránkách.

Nespornou a obrovskou výhodou je, že NKN je volně a zdarma šiřitelný.

⁴⁹ Což je vyžadováno např. při dokládání splnění programu Zelená úsporám.

4 NÁVRH A IMPLEMENTACE

4.1 Požadavky

Požadavky vyplývají především z nedostatků stávajících programů, které byly popsány v rámci předchozí kapitoly.

Jedním z hlavních požadavků je, aby byl program jednoduše ovladatelný s možností snadných oprav. Dále pak, aby propojil výpočet měrné potřeby tepla a součinitelů prostupu tepla, tedy, aby byla odstraněna současná nutnost použití více aplikací pro jeden výpočet, jak je tomu u obou komerčních programů. Dalším požadavkem pak je, aby byl zdrojový kód připraven na další rozšiřování aplikace o další výpočty stavební fyziky (např. výpočet kondenzací vodní páry). Stejně tak bych chtěl program v budoucnosti alespoň částečně propojit s nějakým grafickým programem, aby nemuselo docházet, jako v současnosti, k otrockému přepisování dat.

4.2 Zvolené technologie

Pro implementaci nové aplikace pro výpočet měrné potřeby tepla na vytápění bude použit jazyk Java.

4.3 Datový model

Datový model nebyl ke dni odevzdání práce dokončen.

ZÁVĚR

Tato práce se věnuje úsporám energie ve stavebnictví. První kapitola se věnuje této problematice z obecného hlediska. Rozděluje domy dle energetických nároků do několika skupin (stará zástavba, současné novostavby, nízkoenergetické domy, pasivní domy, domy s přebytkem energie). Dále jsou pak v rámci této kapitoly definovány požadavky na nízkoenergetické domy a pasivní domy, kdy pro první skupinu platí, že musí mít měrnou roční potřebu tepla nižší než $50 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$, druhá skupina domů musí být dokonce postavena s hodnotami nižšími než $15 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$, resp. $20 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$, záleží na výkladu.

Druhá kapitola je věnována platné evropské legislativě v oblasti energetické náročnosti budov a také stručně nastiňuje historii výstavby pasivních domů v Evropě. Co se týká legislativy, tak stěžejní je Evropská směrnice o energetické náročnosti budov (2010/31/EU), která například říká, že nejpozději v roce 2020 budou muset být všechny nové domy postaveny jako energeticky úsporné. V České republice se předpokládá, že směrnice bude již plně implementována v roce 2018 a že energeticky úspornými budovami se budou rozumět budovy v pasivním standardu. Z historické části pak jednoznačně vyplývá, že obor výstavby pasivních domů je relativně mladý (první dům v roce 1991), ale velmi dynamicky se rozvíjející.

Třetí kapitola je věnována stávajícím aplikacím v oblasti výpočtu měrné potřeby tepla na vytápění. Konkrétně je podroben analýze program Energie fa Svoboda software resp. firmy K-CAD, program Potřeba tepla na vytápění firmy ProTech a Národní kalkulační nástroj vytvářený a spravovaný na fakultě stavební ČVUT. Jsou naznačeny klady a zápory těchto aplikací. Například u komerčních programů firem K-CAD a ProTech je zdůrazněna relativně vysoká cena produktů, dále pak u všech aplikací platí, že nespolupracují s grafickými projekčními programy, u Energie je zdůrazněna náročnost a komplikovanost zadávání dat, u Potřeby tepla na vytápění pak přílišná zaměřenost na topenářský segment. Hlavním problémem Národního kalkulačního nástroje pak je, že v něm nelze počítat podle TNI 73 0329.

Poslední kapitola je věnována návrhu a implementaci nové aplikace pro výpočet měrné potřeby tepla na vytápění. Ke dni odevzdání práce však nová aplikace nebyla funkční, tedy nakonec musím konstatovat, že se mi nepodařilo naplnit zadání resp. cíl práce.

SEZNAM LITERATURY

Centrum pasivního domu, Co je pasivní dům? 2006-2010. <http://www.pasivnidomy.cz/pasivni-dum/co-je-pasivni-dum.html?chapter=definice-rozdeleni-podle-energeticke-narocnosti> (přístup získán květen 2011).

„ČSN 73 0540 - 1 Tepelná ochrana budov. Část 1 - Terminologie.“ Praha: ČNI, 2005.

„ČSN 73 0540 - 2 Tepelná ochrana budov. Část 2 - Požadavky.“ Praha: ČNI, 2007.

„ČSN 73 0540 - 3 Tepelná ochrana budov. Část 3 - Návrhové hodnoty veličin.“ Praha: ČNI, 2005.

„ČSN 73 0540 - 4 Tepelná ochrana budov. Část 4 - Výpočtové metody.“ Praha: ČNI, 2005.

„ČSN EN ISO 13370 Tepelné chování budov - přenos tepla zeminou - výpočtové metody.“ Praha: ČNI, 2009.

„ČSN EN ISO 13789 Tepelné chování budov - měrné tepelné toky prostupem tepla a větráním - výpočtová metoda.“ Praha: ČNI, 2009.

„ČSN EN ISO 13790 Energetická náročnost budov - výpočet spotřeby energie na vytápění a chlazení.“ Praha: ČNI, 2009.

„ČSN EN ISO 6946 Stavební prvky a stavební konstrukce - tepelný odpor a součinitel prostupu tepla - výpočtová metoda.“ Praha: ČNI, 2008.

Hazucha, J. „Pasivní domy - Základní principy.“ Brno: Centrum pasivního domu, 2010.

K-CAD. 2011. <http://www.kcad.cz/> (přístup získán květen 2011).

Novák, J. *Vzduchotěsnost obvodových plášťů budov*. Praha: Grada Publishing, a.s., 2008.

Papež, K. „Nízkoenergetické a pasivní domy a související okolnosti.“ *Inženýrská komora*, Březen 2009: 2-3.

ProTech. 2011. <http://www.protech.cz/> (přístup získán květen 2011).

Směrnice EP a Rady 2010/31/EU o energetické náročnosti budov. 2010. <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2010:153:0013:0035:CS:PDF> (přístup získán březen 2011).

Stavarina, Slovník pojmů. březen 2011. <http://www.stavarina.cz/slovník.htm> (přístup získán květen 2011).

Šála, J., Keim, L., Svoboda, Z., Tywoniak, J. *Tepelná ochrana budov*. Praha: Informační centrum ČKAIT, 2008.

Tywoniak, J. *Nízkoenergetické domy 2*. Praha: Grada Publishing, a.s., 2008.

—. „TNI 73 0329 Zjednodušené výpočtové hodnocení a klasifikace obytných budov s velmi nízkou potřebou tepla na vytápění - rodinné domy.“ Praha: UNMZ, 2010.

—. *Tzb-info, Pasivní domy. Jaké jiné?* 2009. <http://stavba.tzb-info.cz/nizkoenergeticke->

stavby/5830-pasivni-domy-jake-jine (přístup získán duben 2011).

Tywoniak, J., Novák, J. „TNI 73 0330 Zjednodušené výpočtové hodnocení a klasifikace obytných budov s velmi nízkou potřebou tepla na vytápění - bytové domy.“ Praha: UNMZ, 2010.

Wikipedie, Hustota. květen 2011. <http://cs.wikipedia.org/wiki/Hustota> (přístup získán květen 2011).

Wikipedie, Měrná tepelná kapacita. 2010.

http://cs.wikipedia.org/wiki/M%C4%9Brn%C3%A1_tepeln%C3%A1_kapacita (přístup získán květen 2011).

Wikipedie, Tepelná vodivost. 2011. http://cs.wikipedia.org/wiki/Tepeln%C3%A1_vodivost (přístup získán květen 2011).

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 Rozdělení rodinných domů dle energetických nároků na provoz	8
Tabulka 2 Základní požadavky na nízkoenergetické a pasivní rodinné domy.....	10
Tabulka 3 Požadované a doporučené hodnoty součinitele prostupu tepla pro budovy s převažující návrhovou vnitřní teplotou 20 °C	14
Tabulka 4 Vstupní hodnoty pro výpočet součinitele prostupu tepla obvodového zdiva.....	16
Tabulka 5 Součinitel prostupu tepla obvodového zdiva	17
Tabulka 6 Vstupní hodnoty pro výpočet součinitele prostupu tepla střechy	17
Tabulka 7 Součinitel prostupu tepla střechy	18
Tabulka 8 Vstupní hodnoty pro výpočet součinitele prostupu tepla stropu nad nevytápěným suterénem	18
Tabulka 9 Součinitel prostupu tepla stropu nad nevytápěným suterénem	18
Tabulka 10 Průměrný součinitel prostupu tepla u vybraných A/V faktorů budovy.....	19
Tabulka 11 Průměrný součinitel prostupu tepla domu s vysokým A/V faktorem – původní stav	21
Tabulka 12 Průměrný součinitel prostupu tepla domu s vysokým A/V faktorem – nový stav	21
Tabulka 13 Průměrný součinitel prostupu tepla domu s nízkým A/V faktorem – původní stav	22
Tabulka 14 Průměrný součinitel prostupu tepla domu s nízkým A/V faktorem – nový stav.....	23
Tabulka 15 Porovnání měrné potřeby tepla na vytápění RD (I) před a po rekonstrukci	29
Tabulka 16 Porovnání měrné potřeby tepla na vytápění RD (II) před a po rekonstrukci	31
Tabulka 17 Porovnání měrné potřeby tepla na vytápění RD (III) před a po rekonstrukci.....	33
Tabulka 18 Součinitele tepelné vodivosti vybraných zdících materiálů	34
Tabulka 19 Součinitele tepelné vodivosti vybraných zateplovacích materiálů	34
Tabulka 20 Měrné tepelné kapacity vybraných materiálů	35
Tabulka 21 Objemové hmotnosti vybraných materiálů	35
Tabulka 22 Tepelná akumulace vybraných materiálů	35

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 Dům s vysokým objemovým faktorem budovy	20
Obrázek 2 Dům s nízkým objemovým faktorem budovy	22
Obrázek 3 Řez domu (I) před snížením měrné potřeby tepla na vytápění.....	28
Obrázek 4 Řez domu (I) po snížení měrné potřeby tepla na vytápění	29
Obrázek 5 Řez domu (II) před snížením měrné potřeby tepla na vytápění	30
Obrázek 6 Řez domu (II) po snížení měrné potřeby tepla na vytápění.....	31
Obrázek 7 Řez domu (III) před snížením měrné potřeby tepla na vytápění	32
Obrázek 8 Řez domu (II) po snížení měrné potřeby tepla na vytápění.....	33
Obrázek 9 Velké zanoření dialogových oken v programu Energie	39