

**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STAVEBNÍ**

KATEDRA TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ BUDOV



**VYUŽITÍ ELEKTRICKÉHO VYTÁPĚNÍ
V RODINNÝCH DOMECH**

**PRACTICABILITY OF ELECTRIC HEATING
IN RESIDENTIAL HOUSING**

DIPLOMOVÁ PRÁCE

**Vypracoval:
Vedoucí práce:**

**Bc. Václav Smolík
Ing. Miroslav Urban, Ph.D**

2018/2019



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební

Thákurova 7, 166 29 Praha 6

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Smolík	Jméno: Václav	Osobní číslo: 412715
Zadávací katedra: Katedra technických zařízení budov K11125		
Studijní program: X - Inteligentní budovy		
Studijní obor: Intelligentní budovy		

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: Využití elektrického vytápění v rodinných domech	
Název diplomové práce anglicky: Practicability of electric heating in residential housing	
Pokyny pro vypracování: Cílem práce bude zpracování ekologicko ekonomické porovnání variantního řešení vytápění pro rodinné domy. - Práce bude obsahovat rozbor několika způsobů vytápění konkrétního objektu. Na základě rozboru budou stanoveny investiční náklady a provozní náklady systému v objektu. - Pro případovou studii rodinného domu bude zpracována studie proveditelnosti využití systémů na základě dat ze simulačního modelu v rozsahu technické a ekonomické proveditelnosti jednotlivých řešení. - Výstupem práce bude srovnání jednotlivých variant v horizontu životnosti soustavy.	
Seznam doporučené literatury: Trond Dahlsveen, Dušan Petráš, Jiří Hirš - Energetický audit budov ČSN EN 15459 - Energetická náročnost budov - Postupy pro ekonomické hodnocení energetických soustav v budovách Dušan Petráš a kol. - Nizkoteplotní vytápění a obnovitelné zdroje energie	
Jméno vedoucího diplomové práce: Ing. Miroslav Urban, Ph.D.	
Datum zadání diplomové práce: 9.10.2018	Termín odevzdání diplomové práce: 6.1.2019 <i>Údaj svedzte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku</i>
<hr/> Podpis vedoucího práce	<hr/> Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použitých literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v diplomové práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.

<hr/> 9.10.2018 Datum převzetí zadání	<hr/> Podpis studenta(ky)
--	------------------------------

SPECIFIKACE ZADÁNÍ

Jméno diplomanta: Václav Smolík

Název diplomové práce: Využití elektrického vytápění v rodinných domech

Základní část: Studie podíl: 100 %

Formulace úkolů: Zpracujte energetický model budovy ve výpočtovém software.

- Pro případovou studii rodinného domu bude zpracována studie proveditelnosti využití systémů na základě dat ze simulačního modelu v rozsahu technické a ekonomické proveditelnosti jednotlivých řešení.

- Výstupem práce bude srovnání jednotlivých variant v horizontu životnosti soustavy.

Navrhněte a zpracujte alespoň 3 alternativní varianty vytápění v rozsahu pro provedení stavby.

Proveďte multikriteriální srovnání řešených systémů a vyhodnoďte stávající systém.

Podpis vedoucího DP:  Datum: 9.10.2018

Případné další části diplomové práce (části a jejich podíl určí vedoucí DP):

2. Část: _____ podíl: _____ %

Konzultant (jméno, katedra): _____

Formulace úkolů: _____

Podpis konzultanta: _____ Datum: _____

3. Část: _____ podíl: _____ %

Konzultant (jméno, katedra): _____

Formulace úkolů: _____

Podpis konzultanta: _____ Datum: _____

4. Část: _____ podíl: _____ %

Konzultant (jméno, katedra): _____

Formulace úkolů: _____

Podpis konzultanta: _____ Datum: _____

Poznámka:

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem svoji diplomovou/bakalářskou práci vypracoval(a) samostatně s použitím uvedené literatury a podkladů.

V Praze, dne 6.1.2019

Podpis:

Poděkování

Rád bych poděkoval prof. Ing. Miroslavu Urbanovi, Ph.D. za vstřícnost při konzultacích a vedení diplomové práce, panu Stonovi a atelieru MIMOSA za poskytnutí podkladů a své rodině za podporu při jejím psaní.

Anotace

Tato práce se zabývá problematikou vytápění rodinných domů se zaměřením na elektrické přímotopné vytápění. V předběžné studii ekonomiky otopných soustav je způsob elektrického přímotopného vytápění porovnáván s běžně užívanými zdroji tepla, přičemž jsou uvažovány různé energetické standardy provedení domu. V prováděcí studii jsou pak detailně rozebrány celkové náklady zvolených variant pro konkrétní rodinný dům ve vybraném energetickém standardu.

Klíčová slova: vytápění, elektrické přímotopné vytápění, rodinný dům, ekonomika, náklady, srovnání zdrojů tepla

Annotation

This thesis deals with heating of residential buildings with force on electric direct heating. In preliminary economic study of heating systems is direct heating compared with commonly used heating sources. This comparison is provided for different energetic standards of building. Implementation study compares in detail choosen variants for specific residential house, build in choosen energetic standard.

Keywords: heating, electric direct heating, residential housing, economic, costs, comparison of heat sources

Obsah

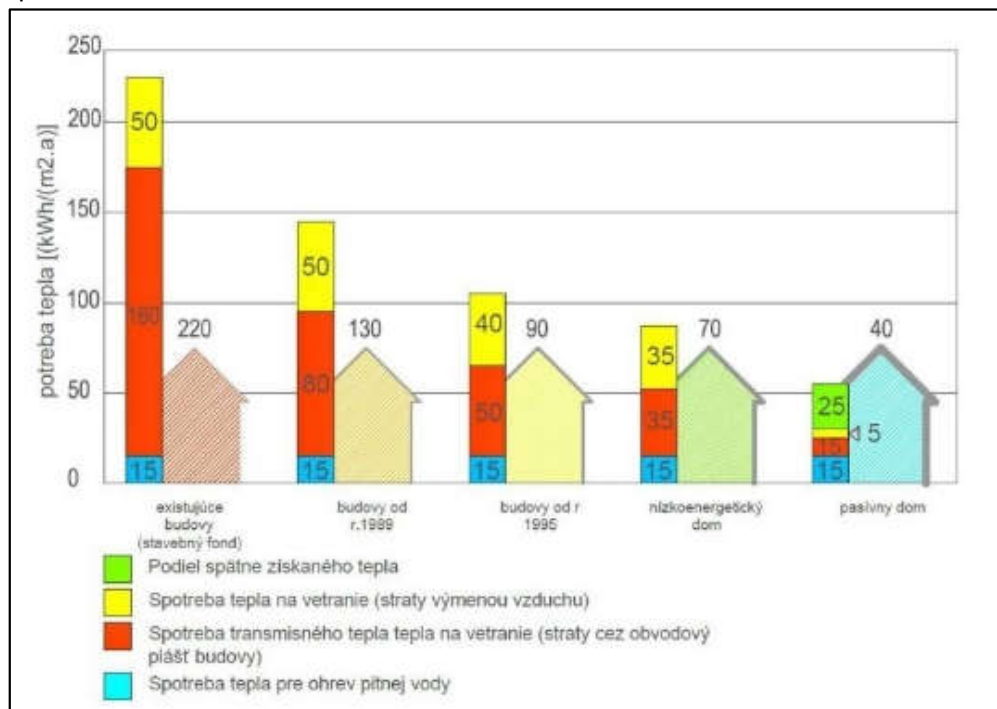
1. Úvod	10
2. Teoretická část	12
2.1. Způsoby vytápění rodinných domů	12
2.1.1. Vytápění centrálním zdrojem tepla.....	12
2.1.2. Lokální zdroje tepla	14
2.2. Příprava teplé vody v rodinných domech.....	15
2.2.1. Zásobníkový ohřev TV	16
2.2.2. Průtočný ohřev TV	16
2.3. Elektrické vytápění rodinných domů.....	17
2.3.1. Způsoby přeměny elektrické energie na teplo.....	17
2.3.2. Koncové prvky přímotopného elektrického vytápění	18
2.3.3. Regulace elektrického vytápění.....	19
2.3.4. Ekonomika elektrického vytápění	19
2.4. Zisk energie z obnovitelných zdrojů	22
2.4.1. Fotovoltaika.....	22
2.4.2. Solární termické systémy	23
3. Předběžná studie ekonomiky	24
3.1. Energetické standardy rodinných domů	24
3.2. Předběžná ekonomická bilance.....	27
4. Studie konkrétního řešení	36
4.1. Popis objektu	36
4.1.1. Stavební řešení	38
4.1.2. Technologické řešení.....	39
4.1.3. Volba konkrétních technologických částí systému.....	40
4.1.4. Výpočet velikosti jističe elektrického obvodu	42
4.1.5. Hodinová simulace	43
4.2. Varianta S1 – Vytápění objektu pomocí plynového kondenzačního kotle.....	43
4.2.1. Navržená zařízení	43
4.2.2. Cena dodávané energie.....	44
4.2.3. Popis řešení	44
4.2.4. Stanovení nákladů na provedení.....	45
4.2.5. Stanovení nákladů na provoz	45
4.2.6. Vyhodnocení varianty S1.....	45
4.3. Varianta S2 – Vytápění objektu pomocí tepelného čerpadla.....	47

4.3.1. Navržená zařízení	47
4.3.2. Cena dodávané energie	47
4.3.3. Popis řešení	47
4.3.4. Stanovení nákladů na provedení.....	48
4.3.5. Stanovení nákladů na provoz	48
4.3.6. Vyhodnocení varianty S2.....	48
4.4. Varianta S3 – Vytápění objektu pomocí elektrických přímotopných těles.....	50
4.4.1. Navržená zařízení	50
4.4.2. Cena dodávané energie	50
4.4.3. Popis řešení	50
4.4.4. Stanovení nákladů na provedení.....	51
4.4.5. Stanovení nákladů na provoz	51
4.4.6. Vyhodnocení varianty S3.....	51
5. Závěr.....	53

1. Úvod

Hlavním cílem práce je ekonomické porovnání tradičních variant otopného systému s otopným systémem elektrického přímotopného vytápění pro rodinný dům.

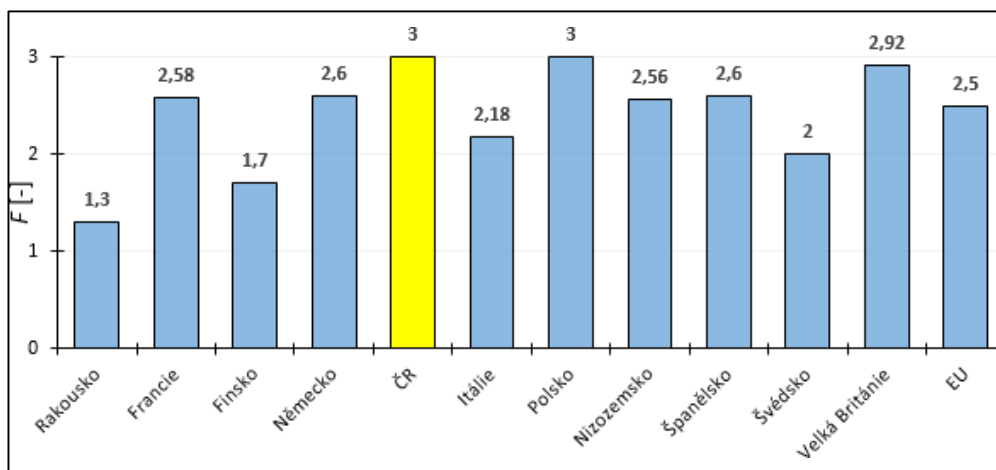
Využití elektrické energie pro vytápění začalo být pro rodinné domy ekonomicky zajímavé spolu se zpřísnováním požadavků na energetickou náročnost budov. Potřeba energie na vytápění začala být totiž menší než další potřeby energií pro provoz budovy (viz Obrázek 1). Výhodné tarifikace dodávky elektřiny pro domy s elektrickým vytápěním také vedou k ekonomickým úsporám na provoz běžných spotřebičů.



Obrázek 1 – Rozložení potřeb energie pro různé stupně zateplení budov [1]

Rodinné domy s koncepcí elektrického vytápění bez vlastního zisku energie z obnovitelných zdrojů však nespĺňujú požadavky energetických standardů z pohledu neobnovitelné primární energie.

Důvodem je současná vysoká hodnota konverzního faktoru přeměny primární neobnovitelné elektrické energie z veřejné sítě (viz Tabulka 1). Hodnota konverzního faktoru je však závislá na vývoji a politicko-ekonomické situaci a je v čase proměnná [2]. Díky růstu a podpoře obnovitelné energie v aktuální společnosti lze předpokládat, že konverzní faktor elektrické energie bude v budoucnosti klesat.



Obrázek 2 - Graf konverzních faktorů elektrické energie pro státy EU [4]

Energonositel	Faktor celkové primární energie [-]	Faktor neobnovitelné primární energie [-]
Zemní plyn	1,1	1,1
Černé a hnědé uhlí	1,1	1,1
Elektřina	3,2	3,0
Dřevěné peletky	1,2	0,2
Kusové dřevo, dřevní štěpka	1,1	0,1
Energie okolního prostředí (elektřina a teplo)	1,0	0

Tabulka 1 – Hodnoty konverzního faktoru elektrické energie [5]

Otázkou tedy je, při jakém energetickém standardu bude z ekonomického hlediska výhodné vytápět dům elektřinou? Jaké jsou rozdíly v nákladech otopných systémů pro rodinný dům oproti tomuto způsobu?

Práce se skládá ze tří částí. V úvodní teoretické části budou rozebrány způsoby vytápění rodinných domů a témata související s provozem elektrického přímotopného vytápění. Na teoretickou část navazuje předběžná studie, která stanovuje orientační náklad pro různé stupně energetických požadavků na budovu a různé zdroje tepla. Třetí částí práce je pak studie proveditelnosti, kde budou porovnány varianty vytápění pro konkrétní projekt rodinného domu ve stanoveném energetickém standardu. Posouzeny budou náklady na pořízení systému, provoz a ekonomická bilance v době životnosti systému.

2. Teoretická část

V této kapitole jsou rozebrána jednotlivá témata týkající se řešené problematiky. Patří mezi ně způsoby vytápění, koncové prvky elektrického přímotopného vytápění, tarifkace elektrické energie a fotovoltaika.

2.1. Způsoby vytápění rodinných domů

Vytápění rodinných domů je zpravidla zajišťováno otopnou soustavou s centrálním zdrojem tepla nebo za pomoci lokálních topidel.

2.1.1. Vytápění centrálním zdrojem tepla

K přeměně paliva na teplo dochází ve zdroji, kde je ohřívána kapalná teplotonosná látka (voda, nemrzoucí směs apod.). Teplotonosná látka je následně distribuční soustavou (potrubí) přivedena ke koncovému otopnému prvku ve vytápěné místnosti. Zdroj tepla často slouží i k ohřevu teplé vody, nejčastěji v nepřímo ohříváném zásobníku za pomoci principu přednostní přípravy ¹. Zásobník bývá součástí sestavy zdroje tepla nebo je umístěn v jeho blízkosti.

Koncepce centrálního vytápění přináší řadu nevýhod. Malá „pružnost“ je zapříčiněna prodlevou při dopravě teplotonosné látky ze zdroje k distribučnímu místu a omezenou teplotou otopného média. V tom případě nelze dosáhnout stejného výkonu, jako by tomu bylo u lokálního zdroje. Další nevýhodou je ztráta tepla v distribuční síti, vysoké pořizovací náklady pro otopnou soustavu a nutnost hydraulické regulace distribuční soustavy.

Mezi využívané zdroje tepla pro centrální vytápění rodinných domů patří zdroje spalující zemní plyn, spalující biomasu, tepelná čerpadla a elektrické kotle. Další možností je výměník pro systém centrálního zásobování teplem, kogenerační jednotka či solární kolektor.

2.1.1.1. Zdroje spalující zemní plyn

Mezi zdroje tepla spalující zemní plyn (plynové kotle) patří klasický plynový kotel, nízkoteplotní plynový kotel či kondenzační plynový kotel.

Pro rodinné domy je momentálně nejčastěji využívaný plynový kondenzační kotel. Tento zdroj tepla využívá pro ohřev teplotonosné kapaliny kromě vlastního spalování plynu i kondenzační teplo spalin. Sezonní účinnost ² se pohybuje okolo 94 % [6]. Z hlediska účinnosti je nejeftivnější při využití nízkoteplotní soustavy, kdy je návrhová teplota teplotonosné látky nižší než 50°C.

¹ Přednostní příprava teplé vody je funkce, která slouží ke snížení potřebného maximálního tepelného výkonu zdroje. Výkon kotle je střídavě za pomoci trojcestného ventilu využíván pro ohřev teplé vody nebo ohřev teplotonosné látky pro vytápění. Časové prodlevy jsou pak kompenzovány akumulací schopností teplotonosné látky a akumulací schopností konstrukce objektu.

² Sezonní účinnost je průměrná účinnost přeměny energie obsažené v palivu (spalné teplo) na teplo distribuované zdrojem za období celého roku. V tomto období se totiž účinnost může lišit na základě rozdílné vyžadované teploty připravované teplotonosné látky.

Výhodou zdroje je nižší pořizovací cena než v případě tepelného čerpadla, nižší cena paliva – zemního plynu a případně možnost bezztrátové akumulace energie. Nevýhodou plynových kondenzačních kotlů je oproti dalším zdrojům potřeba realizace spalinové cesty, potřeba přívodu plynu a další okolnosti související s provozem zařízení (kontrola spalinových cest, revize plynových zařízení, ...).

Životnost zařízení záleží na kvalitě komponent, ale zpravidla je uvažováno 15-20 let.

2.1.1.2. Zdroje na tuhá paliva

Mezi zdroje na tuhá paliva patří kotle spalovací, zplyňovací kotle a kotle na pelety. Z důvodu obtížné regulace výkonu je nutné soustavu doplnit o akumulární nádrž na teplotněstabilní látku.

Spalovací kotle využívají pro získání energie dřevních zbytků, štípaného dřeva či uhlí. Pro novostavby rodinných domů nejsou vhodné z důvodu nízké účinnosti přeměny tepla (56 %) [6], vysoké produkce ovzduší znečišťujících spalin a potřeby častého uživatelského zásahu při doplňování paliva.

Zplyňovací kotle regulují svůj výkon za pomoci nuceného přívodu vzduchu k hořícímu palivu a řízeného odvodu spalin. Jejich účinnost je vyšší než u klasických spalovacích zařízení a emise menší. Zdroje však stále vyžadují nároky na uživatelský zásah při doplňování paliva, což je pro užití v rodinných domech nevhodné.

Pelety jsou dřevní zbytky nebo účelně zpracované dřevo, slisované do malých, válcovitých prvků. Výhodou pelet je snadná manipulace, nízká produkce spalin při hoření a malé množství zbytků popela po odhoření. Peletové kotle dokáží pracovat s nízkou potřebou uživatelského zásahu díky automatickým podavačům pelet, které jsou často součástí zařízení. Účinnost peletových kotlů je okolo 79 % [6].

Výhodou zdrojů tepla spalujících biomasu je nízký faktor přeměny primární neobnovitelné energie využitého energonositele. Nevýhodou je potřeba skladovacího prostoru pro palivo, nižší účinnost, nutnost akumulace tepelné energie a potřeba zřízení spalinové cesty.

Životnost zařízení záleží na kvalitě komponent, ale zpravidla je uvažováno 15-20 let.

2.1.1.3. Elektrické teplovodní kotle

Elektrický kotel je ohledně pořizovacích nákladů nejlevnějším centrálním zdrojem pro teplovodní soustavu. Jeho provoz je však vzhledem k vyšší ceně elektrické energie ekonomicky méně výhodný než ohřev jinými zdroji tepla. Z důvodů vysokého konverzního faktoru elektrické energie z veřejné sítě je tento způsob centrálního ohřevu nevyhovující požadavkům na primární neobnovitelnou energii.

Životnost zařízení záleží na kvalitě komponent, ale zpravidla je uvažováno 15-20 let.

2.1.1.4. Tepelná čerpadla

Tepelné čerpadlo je energeticky výhodné z hlediska využití nízko-potenciálního tepla z okolního prostředí, které lze získávat ze zemního tepla, z vody či ze vzduchu. To je následně za pomoci elektrické energie a Rankyova cyklu přeměněno na teplo s vyšším potenciálem, které je již možné využít pro ohřev teplé vody či vytápění objektu.

Získaný teplotní potenciál je však stále nižší v porovnání se spalovacími zdroji. Z tohoto faktu musí vycházet technologická koncepce objektu, a to především volba dostatečných velikostí otopných ploch a způsob ohřevu teplé vody.

Tepelná čerpadla získávající zemní teplo jsou realizována za pomoci zemních kolektorů či vrtů. Získané teplo má vyšší teplotní potenciál než teplo ze vzduchu a lze jej využívat po celý rok. Jeho pořizovací náklady jsou však vyšší a z důvodů většího množství chladiva v systému je nutné systém pravidelně kontrolovat pro těsnost sekundárního okruhu tepelného čerpadla.

Tepelná čerpadla získávající teplo ze vzduchu okolí jsou omezena jeho teplotou. To znamená, že provoz je možný pro teploty venkovního vzduchu do cca -10 °C. Během dnů s nižší teplotou vzduchu je nutné zajistit teplo pro vytápění a ohřev TV jiným (tzv. bivalentním) zdrojem.

Obecně tepelné čerpadlo charakterizuje vyšší účinnost přeměny dodané energie na teplo. Ta spolu s teplem z okolního prostředí obvykle pracuje se sezonním topným faktorem³ větším než 2,0 (pro tepelná čerpadla získávající zemní teplo i větší než 4,0) [6]. Další výhodou tepelných čerpadel je možnost využití reverzního chodu pro chlazení objektu nebo tzv. pasivního chlazení⁴.

Nevýhodami tepelných čerpadel jsou snižující se účinnost s klesající teplotou okolního prostředí, vysoké pořizovací náklady a množství mechanických poruchových součástí.

Životnost zařízení záleží na kvalitě komponent, ale zpravidla je uvažováno 15-20 let.

2.1.2. Lokální zdroje tepla

K přeměně paliva na tepelnou energii dochází přímo v koncovém otopném prvku, který je umístěn ve vytápěné místnosti. Na současném trhu jsou k dispozici především ty spalující tuhá paliva, spalující plyn či elektrické přímotopy.

Výhodou lokálních zdrojů tepla je především možnost individuální regulace, nižší pořizovací náklady oproti teplovodním systémům a nezávislost na centrálním zdroji tepla. Systém lokálního vytápění zajišťuje vyšší účinnost distribuce tepla v rámci objektu⁵.

2.1.2.1. Lokální topidla na tuhá paliva

Spalování kusového dřeva v kamnech a krbech je tradičním zdrojem tepla. Nevýhodou systému je potřeba uživatelského zásahu při doplňování paliva, nutnost

³ Topný faktor tepelného čerpadla udává poměr mezi dodanou elektrickou energií a získaným teplem. Sezonní hodnota je zprůměrována z hodnot topného faktoru v průběhu celého roku, která se může měnit v závislosti na teplotě okolního prostředí.

⁴ Pasivní chlazení je princip využitelný tepelnými čerpadly se zemními kolektory nebo vrtvy. Teplonosná látka je cirkulována bez využití chodu kompresoru a teplo odebrané chladicí soustavou je předáváno do zeminy.

⁵ Distribuční soustava teplovodního systému na rozdíl od přímotopného vytápění vyžaduje rozvody teplonosné látky, které vyvozují tepelné ztráty do místností, kde nemusí být žádané.

zřízení spalinové cesty pro každý jednotlivý zdroj, nízká účinnost přeměny tepla, obtížná regulace výkonu topidla a tvorba znečištění spaliny.

Pro novostavby rodinných domů je tak systém vhodný jako nezávislý, doplňující zdroj tepla pro vytápění.

Životnost lokálních topidel na tuhá paliva je zpravidla uvažována delší než 20 let.

2.1.2.2. Lokální plynová topidla

Plynové přímotopné vytápění spaluje plyn přímo v místě potřeby, z čehož vyplývá nutnost přívodu plynovodního potrubí a vytvoření spalinové cesty a cesty pro přívod spalovaného vzduchu. Nejčastěji jsou pro účely trvalého vytápění rodinných domů používány nástěnná podokenní topidla.

Výhodou systému je vysoký výkon jednotlivých topidel a bezobslužná regulace výkonu zdroje. Nevýhodou je již zmíněná potřeba přívodu plynu, vzduchu a vytvoření spalinové cesty pro každý jednotlivý zdroj tepla.

Životnost plynových topidel je zpravidla uvažována delší než 20 let.

2.1.2.3. Přímotopné elektrické vytápění

Elektrické otopné plochy přeměňují elektrickou energii v teplo v místě potřeby. Jako zdroj tepla může sloužit otopné těleso, konvektor, sálavé zářiče, topné rohože a folie nebo konstrukce se zabudovaným topným kabelem.

Výhodou prvků elektrického přímotopného vytápění je jejich variabilita, citlivá možnost regulace i nízké pořizovací náklady. Nevýhodou je vyšší cena elektrické energie a ekologická náročnost, která je důsledkem vysokého faktoru přeměny primární elektrické energie.

Životnost elektrických přímotopných prvků je zpravidla uvažována delší než 20 let.

2.2. Příprava teplé vody v rodinných domech

Požadavkem na dodávku teplé vody v rodinných domech je zajištění odběru vody o teplotě nejméně 50 °C v odběrném místě nejdéle po 30 sekundách. Zároveň je nutné zabránit šíření zdraví ohrožujících bakterií rodu Legionella v distribuční soustavě.⁶

Teplá voda může být ohřívána v zásobníku a akumulována pro pozdější využití nebo průtočným způsobem přímo ve chvíli potřeby bez nutnosti akumulace. Průtočný způsob ohřevu má velké nároky na okamžitý výkon, z dlouhodobého hlediska je ale energeticky úspornější než akumulační ohřev TV.⁷

⁶ Zdraví ohrožující bakterie rodu Legionella se úspěšně množí při teplotách mezi 25 °C a 42 °C [16], což je rozsah teplot převažující v distribuční soustavě teplé vody.

⁷ Průtočný způsob ohřevu teplé vody nevyžaduje akumulaci v zásobníku, který vykazuje tepelné ztráty. Také je ušetřena energie na ohřev vody, ta po odběru zůstává v distribuční soustavě a chladne.

2.2.1. Zásobníkový ohřev TV

Voda je ohřívána v zásobníku buď přímo přeměnou dodávané energie na teplo (např. pomocí elektrických topných spirál), nebo nepřímo za pomoci výměny tepla s teplotonosnou látkou (např. spalovací kotel s distribuční soustavou). Odtud je následně v případě potřeby vedena do místa odběru. Za výhodný se považuje především systém s centrálním zdrojem tepla, kdy je nepřímo ohříváný zásobník umístěn v blízkosti tohoto zdroje.

Pokud je odběrové místo vzdálené od místa přípravy teplé vody, je nutné zajistit možnost cirkulace teplé vody v potrubí. Ta však přináší velké energetické ztráty při provozu objektu a její zřízení v rodinných domech tak není vhodné. Velikost zásobníku a výkon ohříváče jsou dány profilem odběru teplé vody uživateli budovy. K jejich stanovení se využívá metodika odběrových křivek.

Nevýhodami systému jsou nutnost zřízení distribuční soustavy, energetická náročnost údržby teplé vody v zásobníku a v neposlední řadě nutnost zajištění ochranných opatření proti bakteriím rodu Legionella. Mezi taková opatření patří krátkodobé zvýšení teploty vody v celé distribuční soustavě nebo přidání ochranné chemie do pitné vody.

2.2.1.1. Přednostní příprava teplé vody

Přednostní příprava teplé vody představuje funkci, při které je výkon zdroje tepla střídavě využíván pro ohřev teplé vody a k vytápění. To se děje za pomoci trojcestného ventilu, který ohřívanou teplotonosnou látku střídavě směřuje do distribuční soustavy otopného systému a do výměníku nepřímo ohříváného zásobníku TV.

Stanovení výkonu kotle a velikosti zásobníku TV může být provedeno metodikou pana doktora Vavříčky. [7]

2.2.2. Průtočný ohřev TV

Voda je ohřívána až v době, kdy vznikne požadavek na její odběr. Tehdy prochází přes teplotní výměník za účelem ohřátí. Přímý ohřev může být pro každé jednotlivé odběrové místo nebo může být společný pro více spotřebičů (např. bytové výměníkové stanice). Systém klade velké požadavky na okamžitý výkon ohřevu, který může nabývat hodnot až desítek kW [8].

Zařízení	Potřebný okamžitý výkon ohřevu q_v
Umyvadlo	7,3 kW
Dřez	Až 24,0 kW
Sprcha	12,0 kW
Vana	24,6 kW

Tabulka 2 - Potřebné výkony průtočných ohříváčů pro zařizovací předměty

Průtočný ohřev je nejčastěji zajišťován elektrickým ohřevem, výměníkovou stanicí s vysokoteplotním teplovodem nebo plynovým ohřevem.

V případě využití čistě elektrického průtočného ohřevu a většího množství zařizovacích předmětů je kladen vysoký požadavek na velikost elektrického jističe pro

odběr energie. Cena energie při aplikaci takového jističe je ovšem vyšší. Proto není systém v současné situaci vhodným způsobem pro ohřev TV v rodinném domě.

Výhodou systému je nepřítomnost distribuční soustavy, nevzniká tak prostředí vhodné pro šíření zdraví nebezpečných bakterií a odpadá nutnost dodatečné investice.

2.2.2.1. Průtočný ohřev s vyrovnávací nádobou

Voda je předeřhřata v akumulární nádobě na nižší než požadovanou hodnotu při výtoku z odběrného místa. Následně je průtočně ohřívána na konečnou teplotu.

Výhodou systému je zmenšení požadavků na okamžitý výkon ohříváče a snížení tepelných ztrát zásobníku.

2.3. Elektrické vytápění rodinných domů

2.3.1. Způsoby přeměny elektrické energie na teplo

Pro přeměnu elektrické energie na teplo je k dispozici řada fyzikálních procesů. Díky vysokému teplotnímu potenciálu elektrického vytápění je oproti klasickému teplovodnímu systému možno využít větší sálavé složky vytápění.

2.3.1.1. Odporový ohřev

Odporový ohřev je založen na principu průchodu elektrického proudu materiálem o vysokém odporu. Při průchodu proudu se podle Joulova zákona velké množství elektrické energie přemění na teplo, které je pak přímo předáváno do okolí zdroje.

$$Q = R * \int_0^T i^2 dt \quad [J; \Omega, A, s]$$

Kde R ... odpor vodiče (vodivého materiálu, prostředí)

i okamžitá hodnota proudu

T doba průchodu proudu elektricky vodivým materiálem

Při konstrukci topných článků používaných při odporovém ohřevu se uplatňuje několik typů materiálu [9]:

Název materiálu	Složení	Vlastnosti
Konstantan	45%Ni, 1 % Mn, Cu	
Nikelin	30 %Ni, 2-3 % Mn, Cu	Teplotně stálé
Chromnikl	20 % Cr, 80 % Ni	Velmi dobře odolávají chemickým vlivům.

Tabulka 3 - Slitiny materiálů pro topné prvky odporového ohřevu

Otopné prvky (spirály, trubky, ...) jsou zpravidla tvořeny právě z odporového materiálu a na povrchu jsou kryty elektricky izolační vrstvou. Izolační vrstva se skládá např. z MgO, který je zároveň dobrým vodičem tepla [9].

Odporový ohřev využívá elektrická otopná tělesa, konvektory, topné spirály v zásobnících a akumulárních nádržích i topné kabely v otopných plochách, které jsou součástí konstrukcí.

2.3.1.2. Infračervené záření

Jedná se o elektromagnetické vlnění s vlnovou délkou mezi 760 nm a 1 mm, tedy hodnotami většími než u viditelného světla, ale menšími než u mikrovlnného vlnění. Dlouhovlnná část tohoto spektra ohřívá těleso, na které dopadá.

Zatímco u odporového ohřevu je zahříván přímo vzduch nebo těleso ve styku s ohříváčem, u infračervených (také sálavých) ohříváčů dochází k přenosu tepla převážně zářením. To poté dopadá na okolní objekty a osoby, čímž je ohřívá a zajišťuje tak tepelnou pohodu.

Podle teploty se zářiče dělí na tmavé a světlé. Jako světlé (vysokoteplotní) zářiče se označují tělesa s povrchovou teplotou vyšší než 250 °C a se sáláním usměrněným reflektorem ve stanoveném směru. Jako tmavé (nízkoteplotní) zářiče se uvažují tělesa s teplotou mezi 24 a 40°C. [9]

2.3.2. Koncové prvky přímotopného elektrického vytápění

Podle konstrukce a dominující formy přenosu tepla je dělíme na infrazářiče, radiátory, otopné podlahové a stěnové plochy a konvektory.

2.3.2.1. Otopná tělesa – akumulční tělesa

Při tomto způsobu vytápění se využívá odběr elektrické energie ve vybraných zpravidla nočních hodinách (nabíjení od 22 do 6 hodin) a ve zdůvodněných případech také ve vybraných denních hodinách (dobíjení po 2 hodinách a více). Elektrická energie se přeměňuje na teplo v odporových topných člácích nebo kabelech, které jsou uloženy v akumulčním materiálu.

Systém je vhodný pro vytápění starších objektů při možnosti využití přebytkových proudů v nočních hodinách.

2.3.2.2. Otopná tělesa – elektrické topné panely

Elektrické topné desky jsou otopná tělesa, která jsou konstruována především pro vytápění sáláním. Zpravidla je využit princip odporového ohřevu.

2.3.2.3. Elektrické podlahové vytápění

Otopné plochy jsou tvořeny zabudováním topných kabelů do obvodových konstrukcí místnosti. Jedná se zpravidla o odporové kabely, které jsou doplněny ochrannými prvky proti poškození. Kabely jsou dodávány jednotlivě a připevňovány spojkami nebo v rohožích tvořených nosným tkanivem, ke kterému je kabel přichycen. Další variantou jsou elektrické topné folie, kde je mezi dvě laminované folie zalisována vrstva vodivého, homogenizovaného grafitu.

Skladba podlahové otopné plochy závisí na požadovaném pracovním režimu. Podle něj můžeme elektrickou podlahovou plochu rozdělit na plně akumulční, poloakumulční a přímotopnou. Požadovaný pracovní režim určuje tloušťku akumulční vrstvy, hloubku uložení topných kabelů atd. [10]

Výhodou elektrických podlahových ploch je možnost ovlivnění teploty plochy konstrukce (např. podlahy pro bosou chůzi), malá tloušťka topné vrstvy v konstrukci či možnost dodatečné instalace (např. topné folie pod koberec).

2.3.2.4. Konvektory

Konvektory jsou elektrická topidla, která přeměňují veškerou přivedenou elektrickou energii na teplo. Spodní částí přichází do konvektoru studený vzduch a z horní části odchází ohřátý vzduch, který pak cirkuluje v místnosti a ohřívá ji. Konvektory mohou být doplněny ventilátory, které podporují proudění vzduchu kolem topných ploch a tím zvyšují jejich výkon. Výhodné je, že elektrická energie slouží jak k ohřevu, tak i k pohonu ventilátorů.

2.3.2.5. Infrazářiče

Světlé infrazářiče jsou vysokoteplotní a jsou tedy zdrojem krátkovlnného záření. Zdrojem je typicky žárovka s materiálem, který emituje záření v infračerveném spektru (např. wolfram a baňka z Quartzova skla). Po průchodu elektrického proudu tělesem s vysokým odporem dochází k jeho zahřívání na vysokou teplotu a vyzařování infračerveného záření, které se šíří přímočaře prostorem.

Výhodou zářičů je zajištění tepelné pohody i při nižších teplotách vzduchu [9], rychlá reakce na požadavek uživatele a tichý provoz. Nevýhodou je nebezpečí vzniku požáru nebo poškození majetku působením vysoké teploty v blízkosti zářiče.

2.3.3. Regulace elektrického vytápění

Účelem regulace je udržení teploty na uživatelsky požadované hodnotě, i přes přicházející změny v požadavku nebo změny ve vytápěném prostředí. Na regulaci mají velký vliv vlastnosti otopné soustavy, kterými jsou: potřebný tepelný výkon otopných ploch pro pokrytí tepelných ztrát a doba reakce otopné soustavy při změně vnitřní teploty. Jako regulátor se nejčastěji používá termostat s čidlem ve vytápěném prostoru, případně s čidlem v místě otopné plochy / vedení vodičů. Čidlo snímá teplotu v místě měření, porovnává ji s žádanou teplotou a zjištěnou odchylku kompenzuje sepnutím / nastavením akčního prvku. Akčním prvkem je u elektrického vytápění nejčastěji mžikový spínač. Programovatelné termostaty umožňují nastavení závislosti požadované veličiny na podmínkách provozu objektu. Například režim – je v práci apod. [9]

2.3.3.1. Regulace otopných ploch a těles s akumulací schopností

Schopnost hmoty otopné plochy akumulovat tepelnou energii je dána časovou konstantou, která představuje dobu, za kterou se nabíjená hmota ohřeje o 1 K. Podle hodnoty konstanty dělíme plochy na plně akumulční (8-12h), poloakumulční (4-8h) a přímotopné (méně než 4h). [10] Regulace příkonu ploch se tedy projeví s časovým zpožděním. Lze toho využít například pro využití nízkých tarifů odběrových sazeb elektrické energie.

2.3.4. Ekonomika elektrického vytápění

Čerpání elektrické energie v budovách se dělí na tarifní sazby, které jsou závislé na způsobech využití elektrické energie. Spotřeba je rozdělena na nízký a vysoký tarif a je zohledněn způsob odběru. V době nízkého tarifu je dodaná energie levnější a je určena právě pro vytápění či ohřev teplé vody. Doba platnosti nízkého tarifu je dána podmínkami dodavatele energie a je vymezena časově nebo za pomoci dálkového blokování topných elektrických spotřebičů. K tomu se využívají spínací hodiny nebo

přijímač HDO (hromadné dálkové ovládání), které jsou instalovány na elektroměrovém rozvaděči u místa měření spotřeby energie. Přijímač HDO podle svého nastavení reaguje na příslušný vyslaný telegram HDO a provádí, stejně jako spínací hodiny, přepnutí sazby elektroměru a blokování elektrických topných spotřebičů. [9]

Další podmínkou dosažení nízké ceny dodávané energie je zajištění dostatečně nízkých odběrových špiček. Ty totiž určují velikost jističů na jednotlivých fázích elektrických vodičů, od kterých se odvíjí jednotková cena za odebranou kWh energie. K zajištění těchto nízkých špiček se zřizují odlehčovače zátěže. Jejich princip spočívá v možnosti odpojit spotřebič nebo skupinu spotřebičů v momentě, kdy odebíraný proud daného odběrného místa překročí nastavenou hodnotu odběru (podle instalovaného jističe). Dle typu použitého odlehčovače se může jednat o jednu nebo více skupin spotřebičů.

Výběr z podmínek tarifů využitelných pro novostavby rodinných domů. Podmínky tarifů jsou dány rozhodnutím Energetického regulačního úřadu č. 7/2017 [11]:

D 01d – Jednotarifová sazba (pro malou spotřebu)

- Sazba se nevztahuje pro objekty, kde je připojena výrobní elektřina
- Sazba může být přiznána pouze odběrným místům s proudovou hodnotou hlavního jističe do hodnoty 3x63A

D25d - Dvoutarifová sazba s operativním řízením doby platnosti nízkého tarifu po dobu 8 hodin

- Časové vymezení doby platnosti nízkého tarifu je provedeno distributorem v celkové délce minimálně 8 hodin denně. V průběhu dne může distributor dobu platnosti nízkého tarifu operativně měnit.
- Časové vymezení těchto pásem nemusí být stejné pro všechny odběratele a jednotlivé dny a ani nemusí být v souvislé délce.
- Pokud je osmihodinové pásmo platnosti nízkého tarifu rozděleno během dne do více časových úseků, nejvíce však do tří, žádný z nich nesmí být kratší než jedna hodina. Na žádost odběratele rozdělí distributor osmihodinové pásmo platnosti nízkého tarifu do dvou úseků, z nichž žádný nesmí být kratší než tři hodiny.
- V odběrném místě musí být řádně instalován elektrický akumulární spotřebič pro vytápění objektu nebo elektrický akumulární spotřebič pro ohřev užitkové vody.
- Odběratel musí zajistit technické blokování elektrických akumulárních spotřebičů v dobách platnosti vysokého tarifu.

D 26d - Dvoutarifová sazba s operativním řízením doby platnosti nízkého tarifu po dobu 8 hodin (pro vyšší využití)

- Časové vymezení doby platnosti nízkého tarifu je provedeno distributorem v celkové délce minimálně 8 hodin denně. V průběhu dne může distributor dobu platnosti nízkého tarifu operativně měnit.
- Časové vymezení těchto pásem nemusí být stejné pro všechny odběratele a jednotlivé dny a ani nemusí být v souvislé délce.
- Pokud je osmihodinové pásmo platnosti nízkého tarifu rozděleno během dne do více časových úseků, nejvíce však do tří, žádný z nich nesmí být kratší než jedna

hodina. Na žádost odběratele rozdělí distributor osmihodinové pásmo platnosti nízkého tarifu do dvou úseků, z nichž žádný nesmí být kratší než tři hodiny.

- V odběrném místě musí být řádně instalovány akumulární elektrické spotřebiče pro vytápění objektu.
- Součtový instalovaný příkon akumulárních elektrických spotřebičů musí činit nejméně 55 % příkonu odpovídajícího hodnotě hlavního jističe před elektroměrem v odběrném místě. Distributor přidělí odběrateli tuto sazbu i tehdy, jestliže je součtový příkon akumulárních spotřebičů nižší než 55 % příkonu odpovídajícího hodnotě hlavního jističe před elektroměrem, pokud odběratel prokáže, že výkon akumulárních elektrických spotřebičů odpovídá tepelným ztrátám vytápěného objektu.
- Odběratel musí zajistit technické blokování elektrických akumulárních spotřebičů v dobách platnosti vysokého tarifu.

D 27d - Dvoutarifová sazba s operativním řízením doby platnosti nízkého tarifu po dobu 8 hodin

- Tato sazba je určena pro odběrná místa, u nichž žadatel věrohodným způsobem doloží vlastnické právo, případně užívací právo (leasing apod.) k elektromobilu.
- Časové vymezení doby platnosti nízkého tarifu je provedeno distributorem v celkové délce minimálně 8 hodin denně v době od 18.00 hodin do 8.00 hodin. V průběhu dne může distributor dobu platnosti nízkého tarifu operativně měnit.
- Časové vymezení těchto pásem nemusí být stejné pro všechny odběratele a jednotlivé dny a ani nemusí být v souvislé délce.
- Osmihodinové pásmo platnosti nízkého tarifu může být rozděleno během stanovené doby maximálně do dvou časových úseků.

D 57d - Dvoutarifová sazba pro vytápění topným elektrickým spotřebičem a operativním řízením doby platnosti nízkého tarifu po dobu 20 hodin

- Časové vymezení doby platnosti nízkého tarifu je provedeno distributorem v celkové délce minimálně 20 hodin denně. V průběhu dne může distributor dobu platnosti nízkého tarifu operativně měnit.
- Časové vymezení těchto pásem nemusí být stejné pro všechny odběratele a jednotlivé dny a ani nemusí být v souvislé délce.
- Pokud je dvacetihodinové pásmo platnosti nízkého tarifu rozděleno během dne do více časových úseků, nejvíce však do sedmi, žádný z nich nesmí být kratší než jedna hodina.
- Maximální souvislá délka platnosti vysokého tarifu je jedna hodina.
- V odběrném místě musí být řádně nainstalovány a používány hybridní nebo přímotopné elektrické spotřebiče pro vytápění objektu nebo systém vytápění s tepelným čerpadlem.
- Součtový instalovaný příkon přímotopných nebo hybridních elektrických spotřebičů nebo systému vytápění s tepelným čerpadlem, včetně instalovaného příkonu akumulárního spotřebiče pro ohřev teplé užitkové vody, je-li takový spotřebič instalován, musí činit nejméně 40 % příkonu odpovídajícího hodnotě hlavního jističe před elektroměrem v odběrném místě. Distributor přidělí odběrateli tuto sazbu i tehdy, jestliže je součtový příkon přímotopných nebo hybridních elektrických spotřebičů nebo systému vytápění s tepelným čerpadlem nižší než 40 % příkonu odpovídajícího hodnotě hlavního jističe před

elektroměrem, pokud odběratel prokáže, že výkon těchto elektrických spotřebičů odpovídá tepelným ztrátám vytápěného objektu.

- V případě, že je v odběrném místě nainstalován elektrický akumulární spotřebič pro ohřev užitkové vody, platí pro tento spotřebič podmínky uplatnění sazby D 25d.
- Je-li vytápěcí soustava součástí společných částí domu sloužících pouze pro společné užívání vlastníkům nebo uživatelům bytů, musí být napájena samostatným přívodem a měřena samostatným měřicím zařízením.
- Odběratel musí zajistit technické blokování topných elektrických spotřebičů v dobách platnosti vysokého tarifu, kromě pohonu kompresoru tepelného čerpadla.
- V dobách platnosti nízkého tarifu může distributor blokovat hybridní i přímotopný elektrický spotřebič v maximální celkové délce 2 hodiny denně s tím, že jednotlivá vypnutí nesmí být delší než 30 minut a přestávky mezi vypnutími nesmí být kratší než jedna hodina.

2.4. Zisk energie z obnovitelných zdrojů

Vzhledem k vysokému konverznímu faktoru přeměny primární neobnovitelné energie na elektřinu ve veřejné síti je u elektrických otopných systémů v novostavbách nutné uvažovat s přípravou energie z obnovitelných zdrojů. Přeměněnou obnovitelnou energií je tak kompenzována primární energie, která přesahuje požadované množství pro danou stavbu.

Pro využití ve stavbách rodinných domů má aktuálně nejvyšší potenciál využití sluneční energie, využití nízko-potenciálního tepla pomocí tepelných čerpadel, případně energie ze spalování biomasy

2.4.1. Fotovoltaika

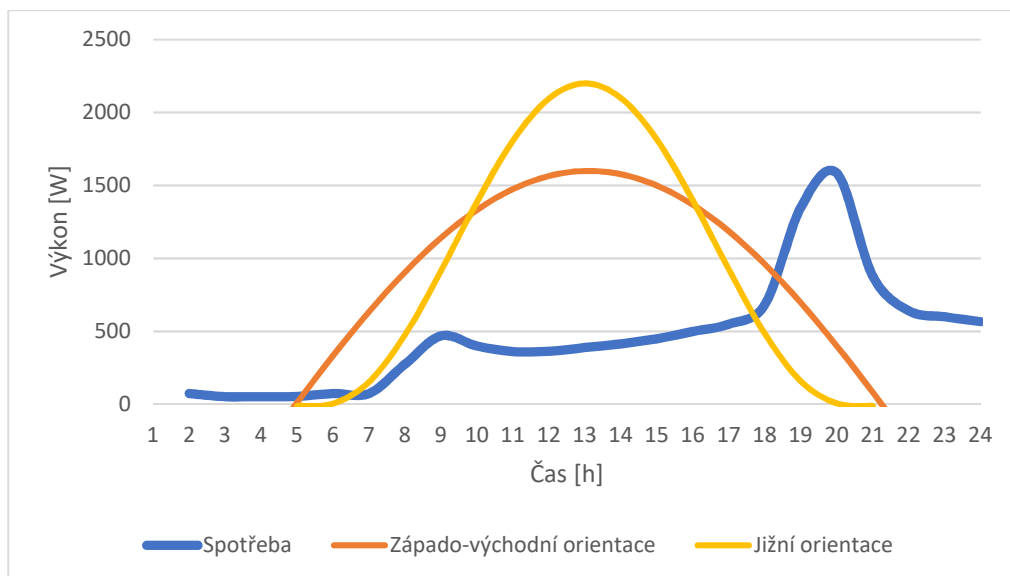
Fotovoltaická elektrárna se skládá z fotovoltaických modulů, měničů napětí, případného bateriového úložiště, jištění a regulačních prvků pro optimalizování výkonových parametrů.

Energii je z hlediska efektivity nejvýhodnější využívat přímo v době výroby. Ukládat ji lze také do baterií pro pozdější využití. Důvodem k přímému využití energie je zároveň snaha o omezení velikosti bateriového úložiště, které v systému představuje ekonomicky nejnáročnější prvek.

2.4.1.1. Orientace modulů

Vzhledem k provozním dobám obytných budov je vhodné moduly orientovat ke světovým stranám tak, aby byla dodávka energie nejvyšší právě v době, kdy je také poptávka po energii v domě nejvyšší. Pro obytné stavby se proto dá stanovit nejvhodnější orientace, a to východ-západ se strmějším sklonem.

Pro modelový příklad, zpracovaný v rámci práce, bylo za pomoci modelu zjištěno, že při orientaci modulů východ – západ a sklonu 45° je zisk přímo využitelné energie asi o 16% vyšší než při jižní orientaci a stejném sklonu. (viz Graf 1)



Graf 1 - Množství energie získané různou orientací fotovoltaických panelů

Pro ekonomický návrh velikosti fotovoltaického pole je důležité určit požadavek na pokrytí elektrických potřeb v průběhu roku. Vhodný poměr potřeby a velikosti pole je stanoven tzv. koeficientem solárního pokrytí⁸.

Přebytečné zisky v letních měsících při případném plném stavu nabití akumulátorů lze využít pro ohřev teplé vody či se ziskem prodat do veřejné sítě. V případě nemožnosti využití přebytků energie nebo dodávky příliš malého množství energie může být výhodné vypnout provoz centrálních jednotek se střídači, a tím šetřit energií na provoz systému fotovoltaiky.

2.4.2. Solární termické systémy

Aplikace solárních termických kolektorů je obdobná jako u fotovoltaických systémů. Jejich účinnost je však několikanásobně vyšší, což je výhodné v případě nedostatku plochy pro instalaci. Nevýhodou je jejich nestálá produkce energie během roku, množství mechanických částí náchylných k opotřebení a poškození a také nutnost opatření proti přehřívání systému v letních měsících.

Zmínit je třeba i fotovoltaicko-tepelné kolektory, které umožňují kombinaci fotovoltaického modulu s termickým kolektorem. Jejich předností je především zvýšení účinnosti modulu díky chlazení termickým kolektorem, a zároveň využití odpadního tepla.

⁸ Koeficient solárního pokrytí je poměr mezi získanou energií ze slunce a energií využitelnou pro potřeby domu, přičemž jeho hodnota je ovlivněna orientací modulů, jejich sklonem a velikostí. Koeficient bude mít vždy hodnoty menší, nebo rovné nule. Při hodnotě 1 je veškerá dodaná energie z fotovoltaického pole.

3. Předběžná studie ekonomiky

V této části práce bude rozebrána ekonomika vybraných otopných soustav pro stanovené energetické standardy rodinných domů.

Prioritou energeticky úsporných domů je redukovat potřebu dodané energie pro vytápění objektu a ekologické dopady vznikající působením jejich provozu. Toho lze docílit snížením potřeby tepla v objektu (zvolením vhodné stavebně technické koncepce) nebo zvýšením účinnosti přeměny dodané energie na teplo v požadovaném distribučním místě.

Tepelné ztráty objektu prostupem tepla přes obvodové konstrukce lze minimalizovat celistvou, tepelně-izolační obálkou o vhodně stanovených parametrech. Tepelné ztráty výměnou vzduchu je možné řešit za pomoci účinné jednotky s rekuperací tepla z odváděného vzduchu. Účinnost otopného systému je dána jednak schopností zdroje účinně přeměnit dodanou energii, ale také způsobem distribuce a výběrem koncových prvků otopné soustavy.

Ekologické dopady provozu minimalizuje jak volba vhodného zdroje tepla, tak typ dodávaného paliva pro jeho provoz (tzv. energonositel).

3.1. Energetické standardy rodinných domů

Hodnocení energetické úspory budov se zakládá na dvou hlavních aspektech, a to dodané energii a neobnovitelné primární energii.

Dodaná energie je měřena za pomoci veličin „Měrná potřeba tepla na vytápění“ nebo „Dodaná energie do budovy“. „Měrná potřeba tepla na vytápění“ udává množství potřebného tepla vztaženého na jeden rok a metr čtvereční podlahové plochy objektu. Zohledňuje pouze tepelně-izolační vlastnosti obálky a způsob větrání. Druhá veličina „Dodaná energie do budovy“ udává mimo potřeby tepla i množství energie potřebné k provozu domácích spotřebičů na jeden rok. Zohledňuje potřebu pomocné energie na provoz otopné soustavy a účinnost otopné soustavy.

Neobnovitelnou primární energií rozumíme energii z neobnovitelných zdrojů, která více či méně znázorňuje vliv využití energie na životní prostředí a vyčerpávání zdrojů. Stanovuje se pomocí konverzních faktorů, jež jsou dány energetickými statistikami a momentálními politicko-ekonomickými motivacemi. [12]

Stávající požadavek na novostavby

Pro novostavby platí závazné hodnocení dle průkazu energetické náročnosti budovy, a to třídou energetické náročnosti A – G. Třída se stanovuje na základě srovnání s tzv. „Referenční budovou“, což je budova o stejném tvaru, orientaci a prosklení s normovými součiniteli prostupu tepla.

Sledovaný parametr	Orientační maximální hodnota [1]
Potřeba primární obnovitelné energie	120-200 kWh/m ² .rok [1]
Měrná potřeba tepla na vytápění	40-90 kWh/m ² .rok

Tabulka 4 tabulka sledovaných parametrů pro "Stávající požadavek na novostavby"

Nízkoenergetický dům

Objekt, jehož měrná potřeba tepla na vytápění je menší než 50 kWh/m².rok.

Sledovaný parametr	Maximální hodnota
Potřeba primární obnovitelné energie	-
Měrná potřeba tepla na vytápění	50 kWh/m ² .rok

Tabulka 5 tabulka sledovaných parametrů pro "Nízkoenergetický dům"

Budova s téměř nulovou potřebou energie

Pojem vznikl na základě uvedení evropské směrnice o energetické náročnosti budov z roku 2010. Ta naznačila vizi výstavby budov po roce 2020 jako „budovy s nízkou energetickou náročností, jejichž spotřeba energie je ve značném rozsahu pokryta energií z obnovitelných zdrojů, které jsou v místě či jeho okolí.“ [13] Česká legislativa přejala tuto vizi zavedením vyhlášky 78/2013 Sb., která ji definovala parametry, z nichž vychází odvozené hodnoty pro rodinné domy (viz Tabulka 6). Další požadavky jsou kladeny na snížení průměrného součinitele prostupu tepla.

Na základě daných parametrů je pro potřeby předběžného výpočtu uvažována orientační hodnota měrné potřeby tepla na vytápění a měrné potřeby primární neobnovitelné energie. Hodnoty jsou převzaty z článku profesora Čejky, které se vztahují k běžnému typu rodinného domu [1].

Sledovaný parametr	Orientační hodnoty pro rodinné domy [1]
Potřeba primární obnovitelné energie	30-70 kWh/m ² .rok
Měrná potřeba tepla na vytápění	100-160 kWh/m ² .rok

Tabulka 6 - tabulka orientačních parametrů "téměř nulových budov"

Pasivní dům

Pojem zavedla společnost PHI (Passivhaus Institut) a definuje ho jako budovu, ve které může být tepelný komfort dosažen pouze dohřevem nebo dochlazením přiváděného čerstvého vzduchu, jenž je potřeba pro zajištění dostatečné kvality vnitřního vzduchu. [2]

V českém prostředí je pojem „pasivní dům“ přizpůsoben místním podmínkám a je definován technickou normalizační informací TNI 730329 (a 730330 pro bytové domy). Vybrané požadavky uvádí níže Tabulka 7. Kromě nich jsou dány i požadavky na průměrný součinitel tepla, přívod vzduchu do všech pobytových místností, dostatečnou účinnost zpětného získávání tepla z odvětraného vzduchu, neprůvzdušnost obálky a nejvyšší dovolenou teplotu vzduchu v pobytové místnosti. Do primární neobnovitelné energie se nezapočítává energie pro běh spotřebičů.

Hodnoty měrné dodané energie jsou převzaty z TNI 73 0329.

Sledovaný parametr	Maximální hodnota
Potřeba primární obnovitelné energie (na vytápění, přípravu teplé vody a technické systémy budov, např. chlazení)	< 60kWh/m ² .rok
Měrná potřeba tepla na vytápění	<20 kWh/m ² .rok

Tabulka 7 - tabulka sledovaných parametrů pro "pasivní dům"

Dům s velmi nízkou energetickou náročností

Pojem vznikl pro potřeby dotačního titulu „Nová zelená úsporám (NZU)“. Podmínky nutné pro jeho dosažení si kladou za cíl dát důraz na kvalitu obálky budovy, nízkou potřebu tepla na vytápění a využití obnovitelných zdrojů energie v budově. Titul se dále dělí na úrovně B1 a B2, přičemž B2 je přísnější a zaměřuje se zejména na použití obnovitelných zdrojů energie. Kromě parametrů uvedených v Tabulce 8 je stanoveno několik dalších: průměrný součinitel prostupu tepla obálkou budovy, neprůvzdušnost obálky a maximální teplota vzduchu v místnosti v letním období.

Sledovaný parametr	B.1	B.2
Potřeba primární obnovitelné energie	≤ 90kWh/m ² .rok	≤ 60 kWh/m ² .rok
Měrná potřeba tepla na vytápění	≤ 20kWh/m ² .rok	≤ 15 kWh/m ² .rok

Tabulka 8 - tabulka sledovaných parametrů pro "dům s velmi nízkou energetickou náročností"

Budovy nulové a plusové

Základním cílem zavedení podmínek pro nulové budovy je eliminovat potřebu neobnovitelné primární energie v roční bilanci. Pokud dům dokáže v roční bilanci vyprodukovat více obnovitelné energie, než spotřebuje energie neobnovitelné, nazýváme ho plusový. [2] Hodnocení těchto budov není nijak zakotveno v české legislativě. Problematikou se však zabývá německá iniciativa Effizienzhaus Plus, která budovu hodnotí se zahrnutím uživatelské energie, a to 20kWh/m².rok.

Sledovaný parametr	Maximální hodnota
Potřeba primární obnovitelné energie	0 kWh/ rok
Orientační Měrná potřeba tepla na vytápění	≤ 15 kWh/m ² .rok [1]

Tabulka 9 tabulka sledovaných parametrů pro "Budovy nulové a plusové"

3.2. Předběžná ekonomická bilance

Cílem předběžné ekonomické bilance je zjistit, jak se mění ekonomika jednotlivých způsobů vytápění rodinných domů pro různé stupně zateplení objektu v časovém horizontu jejich životnosti, tedy 20 let. Jako referenční objekt byl zvolen dům s následujícími parametry (viz Tabulka 10).

Parametr	Hodnota
Energeticky vztažná plocha A	250 m ²
Objem budovy stanovený z vnějších rozměrů	750 m ³
Potřeba tepla na ohřev TV	4500 kWh/rok
Potřeba elektrické energie pro spotřebiče	4500 kWh/rok

Tabulka 10 parametry posuzované budovy v předběžném ekonomické bilanci

Cena byla v této fázi stanovena pro čtyři vybrané energetické standardy, jejichž vlastnosti jsou dané nebo se odvíjí od momentálních požadavků na energetickou náročnost budov (viz Tabulka 11).

Standart	Měrná potřeba tepla na vytápění	Množství dodané neobnovitelné primární energie	Průměrný součinitel prostupu tepla	Tepelná ztráta objektu **
NZÚ v úrovni B-2	15 kWh/m ² .rok	60 kWh/m ² .rok	0,22 W/m ² .K	6 kW
NZÚ v úrovni B-1	20 kWh/m ² .rok	90 kWh/m ² .rok	0,22 W/m ² .K	9 kW
NZEB	cca 30 kWh/m ² .rok*	cca 120 kWh/m ² .rok *	cca 0,36 W/m ² .K *	12 kW
Novostavba podle zákonných požadavků	cca 60 kWh/m ² .rok*	Cca 150 kWh/m ² .rok *	Cca 0,41 W/m ² .K *	15 kW

Tabulka 11 – stupně zateplení objektu a jejich požadavky pro výpočet předběžné ekonomické bilance

* Hodnota je závislá na vlastnostech objektu a odvíjí se od výpočtu referenční budovy

** Odvozeno od tepelných ztrát objektů řešených v daném standartu

Volba zdroje tepla

Pro tyto standardy byly zvoleny čtyři varianty bezobslužného zdroje tepla pro vytápění a ohřev TV, které jsou vhodné pro zásobování rodinných domů. Konkrétně se jedná o plynový kondenzační kotel, kotel na spalování biomasy, tepelné čerpadlo a zkoumané elektrické přímotopné vytápění. Výhody a nevýhody volených zdrojů tepla shrnuje následující Tabulka 12.

Zdroj tepla		Výhody	Nevýhody
Centrální zdroje tepla	Plynový kondenzační kotel	<ul style="list-style-type: none"> - Nižší cena zemního plynu než elektřiny - Nižší faktor přeměny primární neobnovitelné energie než u elektřiny 	<ul style="list-style-type: none"> - Náklady na zřízení plynovodní přípojky - Náklady na zřízení spalinové cesty - Nutnost pravidelných revizí spalinové cesty a zařízení na plyn
	Kotel na dřevěné pelety s automatickým podavačem pelet	<ul style="list-style-type: none"> - Nižší cena paliva než u elektřiny - Nízký faktor přeměny primární neobnovitelné energie 	<ul style="list-style-type: none"> - Nároky na skladování paliva - Náklady na zřízení spalinové cesty - Nutnost aplikace akumulčního zásobníku na získané teplo - Nutnost pravidelných revizí spalinové cesty
	Tepelné čerpadlo	<ul style="list-style-type: none"> - Velká efektivita zisku tepla vůči dodané energii ze sítě - Využití nízkých tarifních sazeb cen elektřiny - Možnost reverzního chodu zařízení pro chlazení 	<ul style="list-style-type: none"> - Vysoké pořizovací náklady - Množství mechanických, poruchových částí
Přímotopné vytápění	Elektrické přímotopné vytápění + zásobník TV s elektrickým ohřevem	<ul style="list-style-type: none"> - Možnost nezávislé regulace teploty v jednotlivých místnostech - Úspora pořizovacích nákladů na distribuční soustavu pro teplotonosnou látku - Využití nízkých tarifních sazeb cen elektřiny - Nenáročná údržba 	<ul style="list-style-type: none"> - Vyšší nároky na velikost domovního jističe - Vysoká potřeba primární neobnovitelné energie pro provoz systému

Tabulka 12 - Rozhodovací tabulka pro volbu zdroje tepla

Pro splnění požadavků na maximální množství neobnovitelné primární energie může být nutná aplikace fotovoltaické elektrárny. Takový případ nastává právě u elektrického přímotopného vytápění. Studie obsahuje variantu elektrického vytápění bez fotovoltaiky a variantu s ní. Varianta bez FV je zde uvedena z důvodu závislosti koeficientu přeměny primární neobnovitelné energie na politických a dalších faktorech.

Pro výpočet cen energií byla použita střední hodnota dostupných vhodných tarifů. Stejně tak byla zvolena střední cena zdroje tepla z produktů na trhu. Cena odkouření a otopného systému byla převzata ze studie proveditelnosti, která je součástí této práce (viz Příloha 04). Fotovoltaikou získaná energie a její využití množství vychází z podrobného výpočtu s hodinovým krokem v software PV SOL.

Varianta zdroje 1 – Plynový kondenzační kotel (PKK)

Náklady [Kč]		Výdaj	NZÚ v úrovni B- 2	NZÚ v úrovni B- 1	NZEB	Novostavb a podle zákonných požadavků
Pořizovací náklady	zařízení		75 000	75 000	75 000	85 000
	přípojka plynu		30 000	30 000	30 000	30 000
	odkouření		10 000	10 000	10 000	10 000
	Otopný systém		140 000	140 000	140 000	150 000
	celkem		255 000	255 000	255 000	275 000
Provozní náklady za 1 rok	ele pro zařízení		18 801	18 801	18 801	18 801
	paušály		6 000	6 000	6 000	6 000
	ohřev TV		5 783	5 783	5 783	5 783
	Vytápění (plyn)		5 422	7 229	10 843	21 686
	revize, ...		2 000	2 000	2 000	2 000
	celkem za rok		38 006	39 813	43 427	54 270
celkem za 10 let			635 055	653 127	689 271	817 701
celkem za 20 let			1 015 110	1 051 254	1 123 541	1 360 403

Tabulka 13 - Náklady pro zdroj tepla – plynový kondenzační kotel

Varianta zdroje 2 – Kotel na dřevěné pelety s automatickým podavačem pelet (BIOMASA)

Náklady [Kč]		Výdaj	NZÚ v úrovni B- 2	NZÚ v úrovni B- 1	NZEB	Novostavb a podle zákonných požadavků
Pořizovací náklady	zařízení		91 706	91 706	91 706	91 706
	sklad paliva		50 000	50 000	50 000	50 000
	akumulační nádoba		5 000	5 000	5 000	5 000
	zásobník na TV		15 000	15 000	15 000	15 000
	odkouření		10 000	10 000	10 000	10 000
	Otopný systém		140 000	140 000	140 000	150 000
	celkem		311 706	311 706	311 706	321 706
Provozní náklady za 1 rok	ele pro zařízení		18 801	18 801	18 801	18 801
	paušály		2 124	2 124	2 124	2 124
	ohřev TV		5 000	5 000	5 000	5 000
	vytápění		4 688	6 250	9 375	18 750
	revize, ...		2 500	2 500	2 500	2 500
	celkem		33 113	34 675	37 800	47 175
Celkem za 10 let			642 831	658 456	689 706	793 456
Celkem za 20 let			973 956	1 005 206	1 067 706	1 265 206

Tabulka 14 - Náklady pro zdroj tepla - Kotel na dřevěné pelety s automatickým podavačem pelet

Varianta zdroje 3 – Tepelné čerpadlo vzduch – voda (TČ)

Náklady [Kč]		Výdaj	NZÚ v úrovni B- 2	NZÚ v úrovni B- 1	NZEB	Novostavb a podle zákonných požadavků
Pořizovací náklady	zařízení		230 000	270 000	270 000	350 000
	otopný systém		140 000	140 000	140 000	150 000
	celkem		370 000	410 000	410 000	500 000
Provozní náklady za 1 rok	ele pro zařízení		9 630	9 630	9 630	9 630
	paušály		3 840	3 840	3 840	3 840
	ohřev TV		2 585	2 585	2 585	2 585
	vytápění		2 006	2 675	4 013	8 025
	revize, ...		1 000	1 000	1 000	1 000
	celkem		19 062	19 730	21 068	25 080
Celkem za 10 let			560 616	607 303	620 678	750 803
Celkem za 20 let			751 231	804 606	831 356	1 001 606

Tabulka 15 - Náklady pro zdroj tepla - Tepelné čerpadlo vzduch – voda

Varianta zdroje 5 – Elektrické přímotopné vytápění s fotovoltaikou (ELE+FV)

Náklady [Kč]		Výdaj	NZÚ v úrovni B- 2	NZÚ v úrovni B- 1	NZEB	Novostav a podle zákonných požadavků
Pořizovací náklady	Fotovoltaika		120 000	180 000	225 000	180 000
	otopný systém		35 000	35 000	56 000	91 000
	celkem		155 000	215 000	281 000	271 000
Provozní náklady za 1 rok	ele pro zařízení		10 350	10 350	10 350	10 350
	paušály		4 164	4 164	4 164	4 164
	ohřev TV		9 388	9 388	9 388	9 388
	vytápění		8 801	11 735	17 602	35 204
	Využitá ele z FV		-3 450	-3 450	-3 450	-3 450
	prodaná ele		-1 748	-1 748	-2 594	-1 748
	celkem		27 505	30 438	35 459	53 908
Celkem za 10 let			430 048	519 384	635 594	810 078
Celkem za 20 let			705 096	823 769	990 188	1 349 157

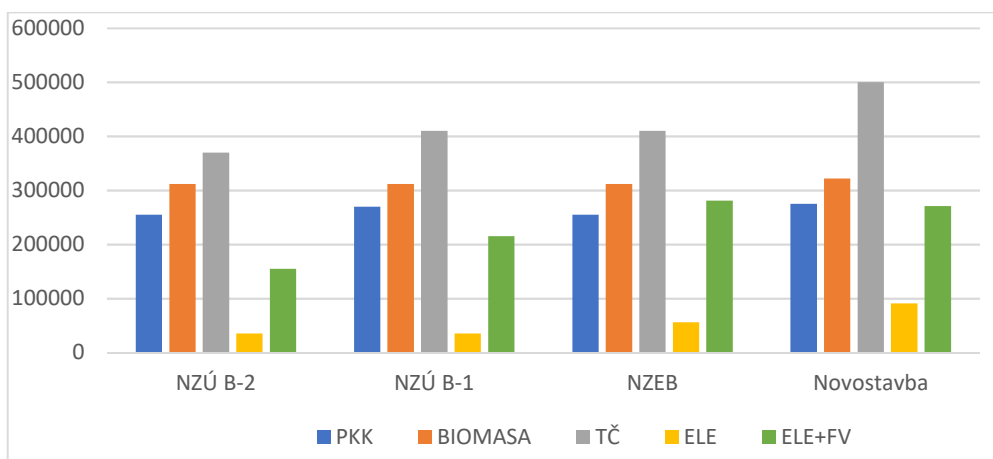
Tabulka 16 - Náklady pro zdroj tepla - Elektrické přímotopné vytápění s fotovoltaikou

Varianta zdroje 5 – Elektrické přímotopné vytápění (ELE)

Náklady [Kč]		Výdaj	NZÚ v úrovni B- 2	NZÚ v úrovni B- 1	NZEB	Novostav ba podle zákonných h požadav ků
Pořizovací náklady	otopný systém		35 000	35 000	56 000	91 000
	celkem		35 000	35 000	56 000	91 000
Provozní náklady za 1 rok	ele pro zařízení		10 350	10 350	10 350	10 350
	paušály		4 164	4 164	4 164	4 164
	ohřev TV		9 388	9 388	9 388	9 388
	vytápění		8 801	11 735	17 602	35 204
	celkem		32 703	35 636	41 504	59 106
celkem			362 028	391 364	471 038	682 058
celkem			689 056	747 729	886 076	1 273 117

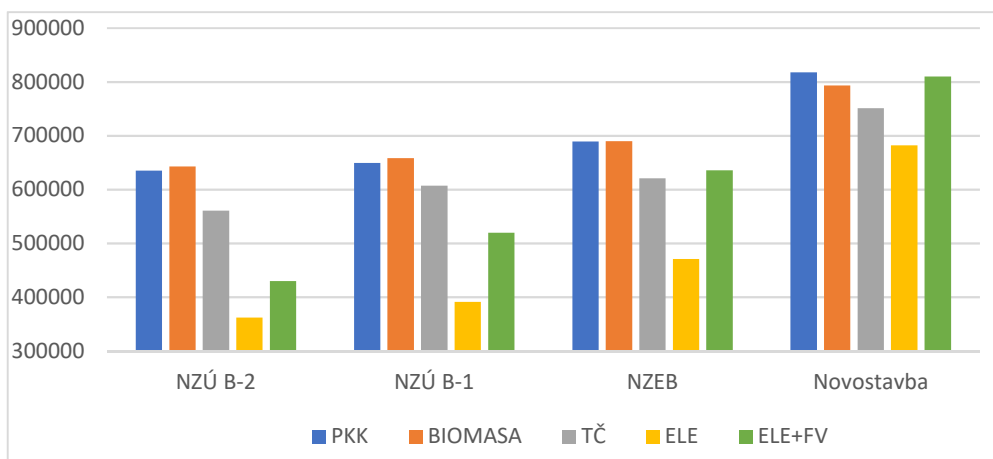
Tabulka 17 - Náklady pro zdroj tepla - Elektrické přímotopné vytápění

Srovnání nákladů podle jednotlivých zdrojů – pořizovací náklady



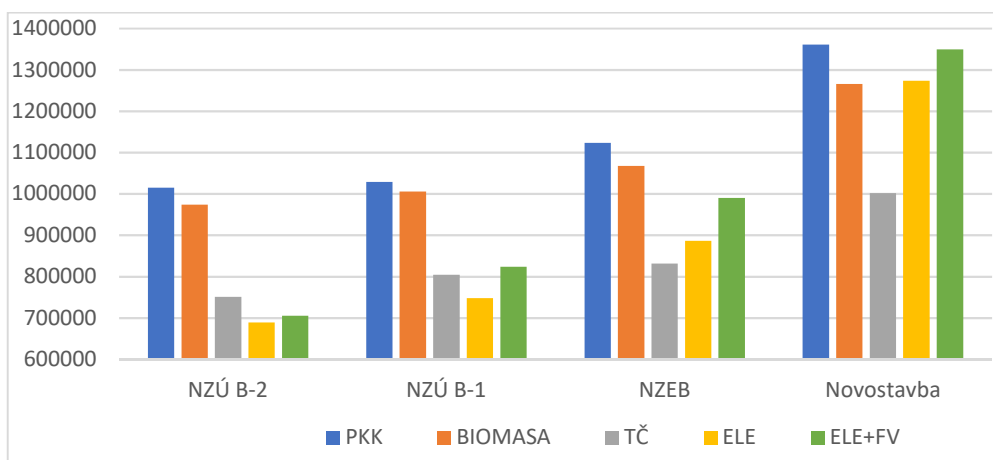
Graf 2 - Srovnání nákladů podle jednotlivých zdrojů – pořizovací náklady [Kč]

Srovnání nákladů podle jednotlivých zdrojů – náklady po 10 letech provozu



Graf 3 - Srovnání nákladů podle jednotlivých zdrojů – náklady po 10 letech provozu [Kč]

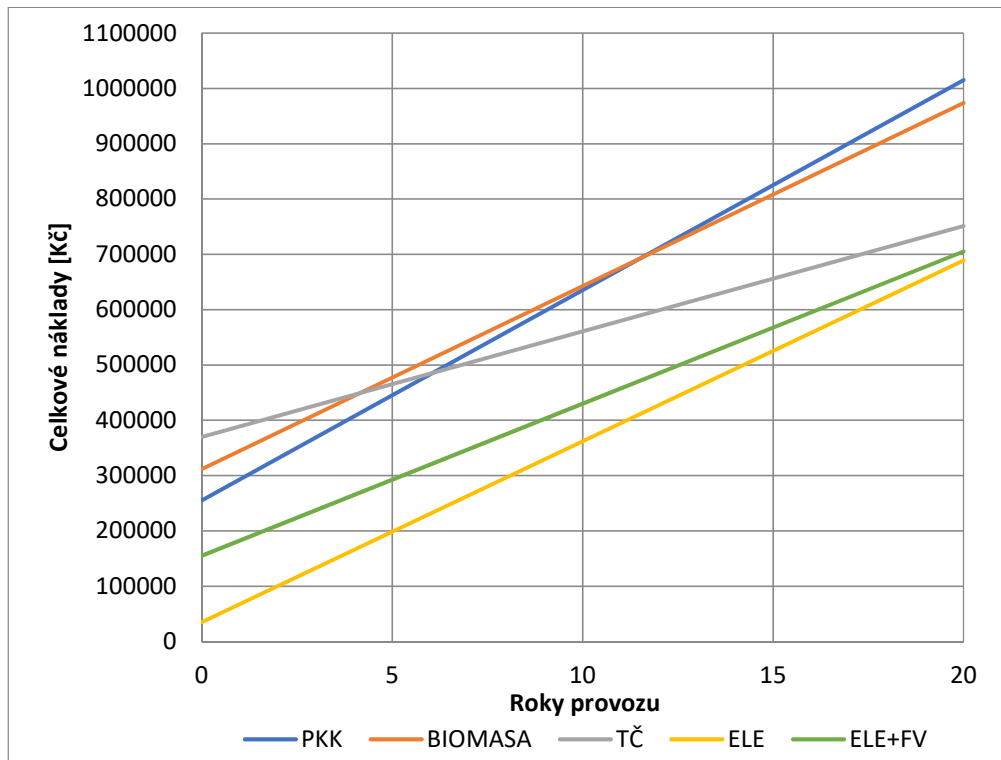
Srovnání nákladů podle jednotlivých zdrojů – náklady po 20 letech provozu



Graf 4 - Srovnání nákladů podle jednotlivých zdrojů – náklady po 20 letech provozu [Kč]

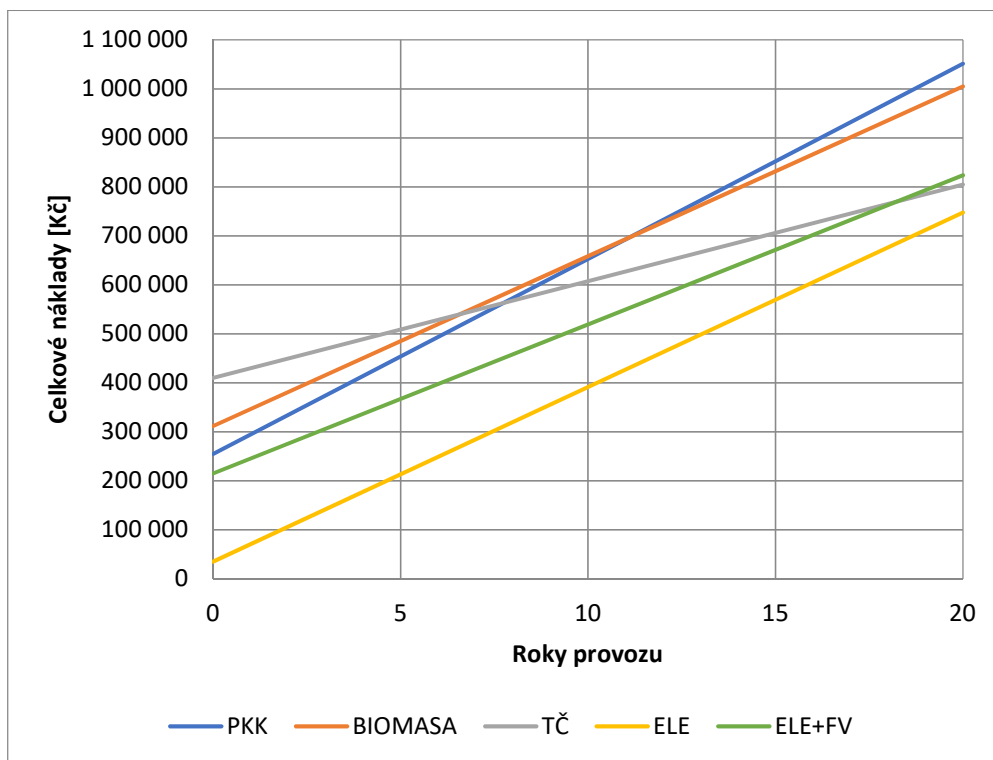
Z grafů je patrné, že nejnižší pořizovací náklady pro všechny standardy představuje elektrické přímotopné vytápění. Nejvyšší náklady na pořízení má naopak tepelné čerpadlo. Po 10 letech provozu je pro varianty NZÚ B-1 a NZÚ B-2 stále ekonomicky nejvýhodnější elektrické vytápění s fotovoltaickou elektrárnou. Po 20 letech provozu je varianta ELE+FV nejvýhodnější už pouze pro nejprůběžnější standard (NZÚ B-2), zatímco pro standard NZÚ B-1 je ekonomicky srovnatelná s variantou tepelného čerpadla.

Graf ekonomické návratnosti jednotlivých zdrojů pro standart „NZÚ B-2“



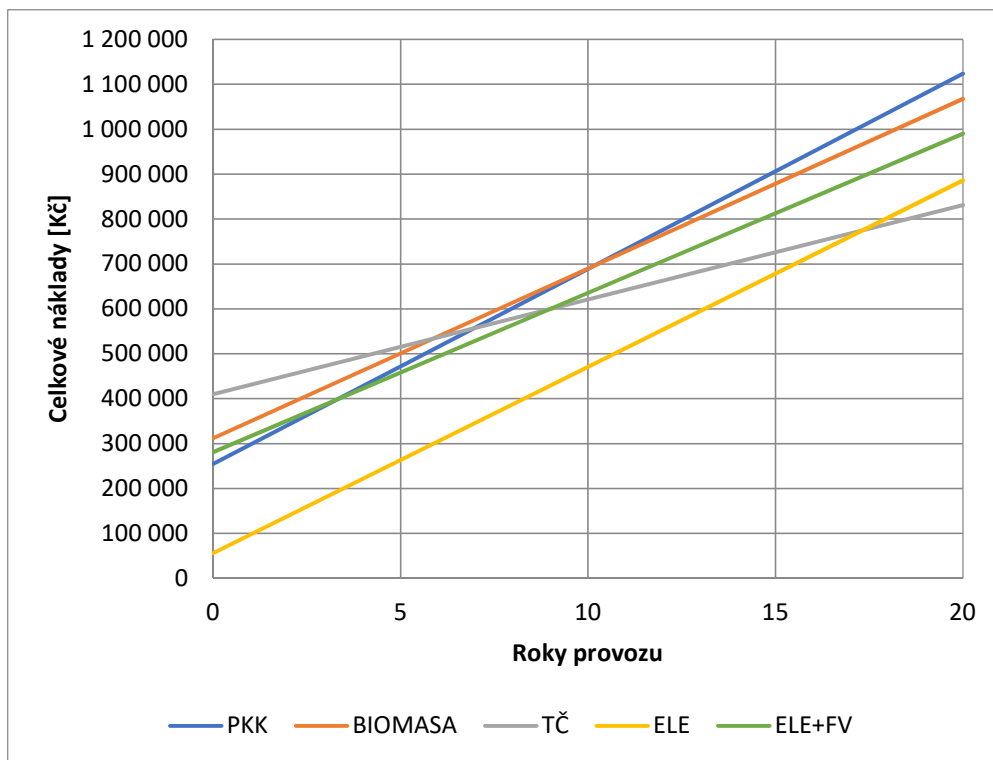
Graf 5 - Graf ekonomické návratnosti jednotlivých zdrojů pro standart „NZÚ B-2“

Graf ekonomické návratnosti jednotlivých zdrojů pro standart „NZÚ B-1“



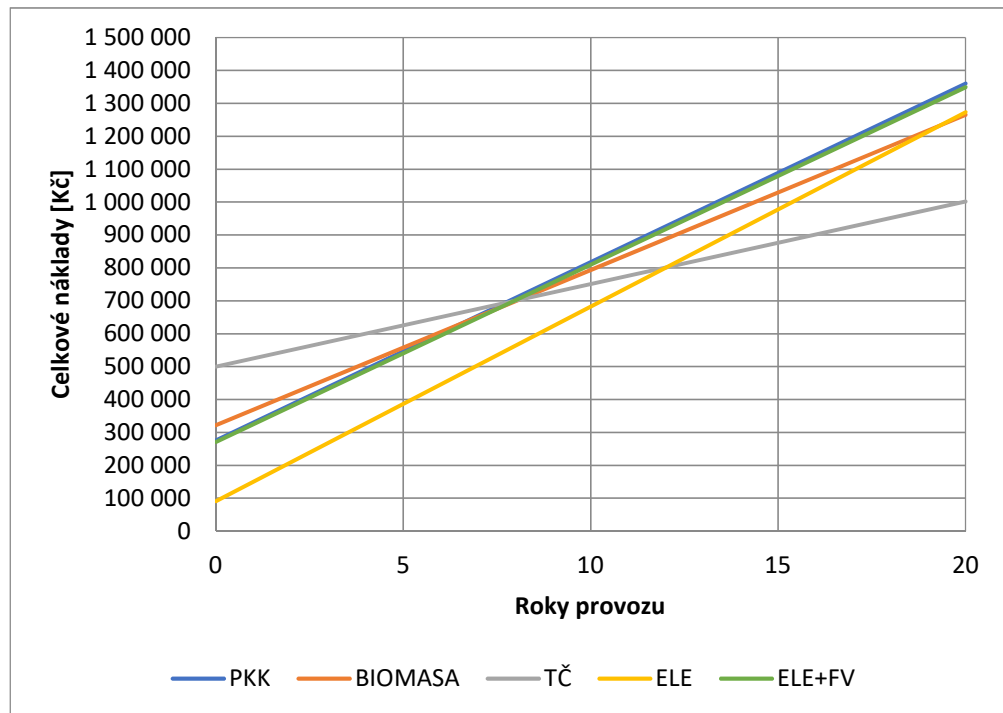
Graf 6 – Graf ekonomické návratnosti jednotlivých zdrojů pro standart „NZÚ B-1“

Graf ekonomické návratnosti jednotlivých zdrojů pro standart „NZEB“



Graf 7 - Graf ekonomické návratnosti jednotlivých zdrojů pro standart „NZEB“

Graf ekonomické návratnosti jednotlivých zdrojů pro standart „Novostavba podle zákonných požadavků“



Graf 8 - Graf ekonomické návratnosti jednotlivých zdrojů pro standart „Novostavba podle zákonných požadavků“

Závěr

Pokud budeme uvažovat nutnost splnění požadavků na primární neobnovitelnou energii, bude nutné do návrhu integrovat fotovoltaickou elektrárnu. Tato varianta je ekonomicky konkurenceschopná ve standardu NZÚ B-2, ve standardu NZÚ B-1 je srovnatelná s variantou TČ.

Pro podrobnější výpočty v praktické části práce byl zvolen standard NZÚ B-2. Jedná se tedy o budovu s následujícími energeticko-ekologickými požadavky.

Veličina	Maximální hodnota	Jednotka
Měrná potřeba tepla na vytápění E_a	15	kWh/m ² .rok
Měrná neobnovitelné primární energie	60	kWh/m ² .rok
Průměrný součinitel prostupu tepla $E_{pN,A}$	0,22	W/m ² .K
Součinitel prostupu tepla jednotlivých konstrukcí na systémové hranici U	Upas*	W/m ² .K
Průvzdušnost obálky budovy po dokončení stavby U_{em}	0,6	1/h
Nejvyšší denní teplota vzduchu v místnosti v letním období n_{50}	27	°C
Povinná instalace systému nuceného větrání se zpětným získáváním tepla	ano	

Tabulka 18 - Požadavky na budovu splňující standart NZÚ B-2

* Požadavky na jednotlivé konstrukce jsou stanovené v ČSN 73 0540-2:2011

4. Studie konkrétního řešení

Účelem studie je srovnání celkových nákladů na vytápění rodinného domu pomocí tradičních forem vytápění a elektrického přímotopného vytápění doplněného o FV elektrárnu v období životnosti systému. Pojmem tradiční formy vytápění jsou označeny referenční varianta s plynovým kondenzačním kotlem a varianta s tepelným čerpadlem vzduch-voda. Studie je zpracována pro rodinný dům v energeticko-ekologickém standardu, který byl stanoven v předchozí části práce (viz kapitola 3 – Studie ekonomiky). Dle podmínek dotačního titulu „Nová zelená úsporám“ se jedná o úroveň B-2.

4.1. Popis objektu



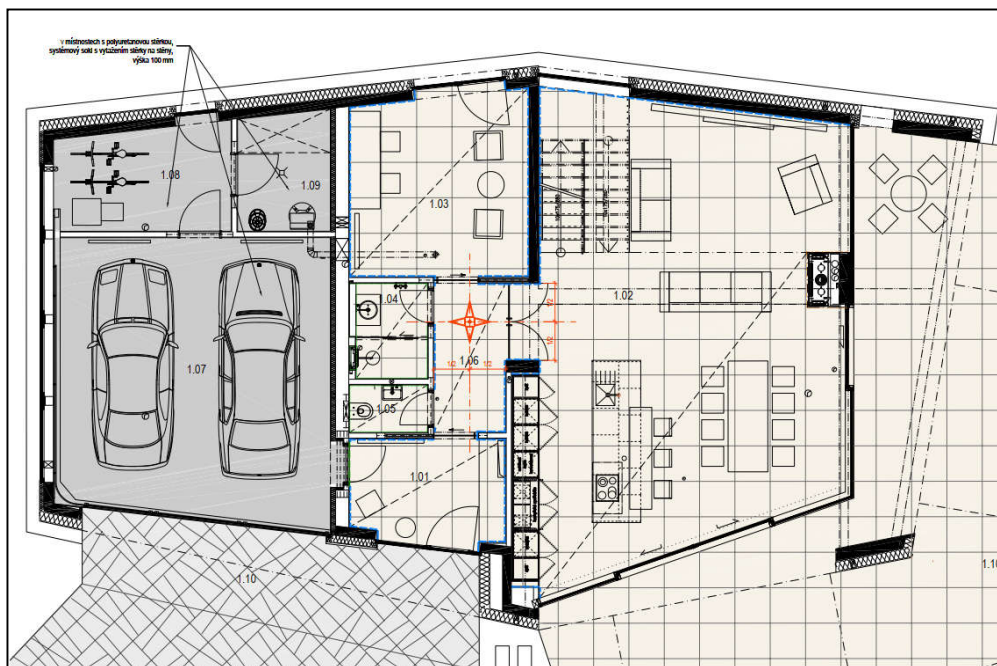
Obrázek 3 - Vizualizace řešeného objektu [14]

Dispozice RD vychází v první řadě z orientace ke světovým stranám, dále ze sklonu svahu a důrazu na funkční členění interiéru budovy. V maximální míře je podpořena důležitost centrálního obytného prostoru propojeného se zahradou.

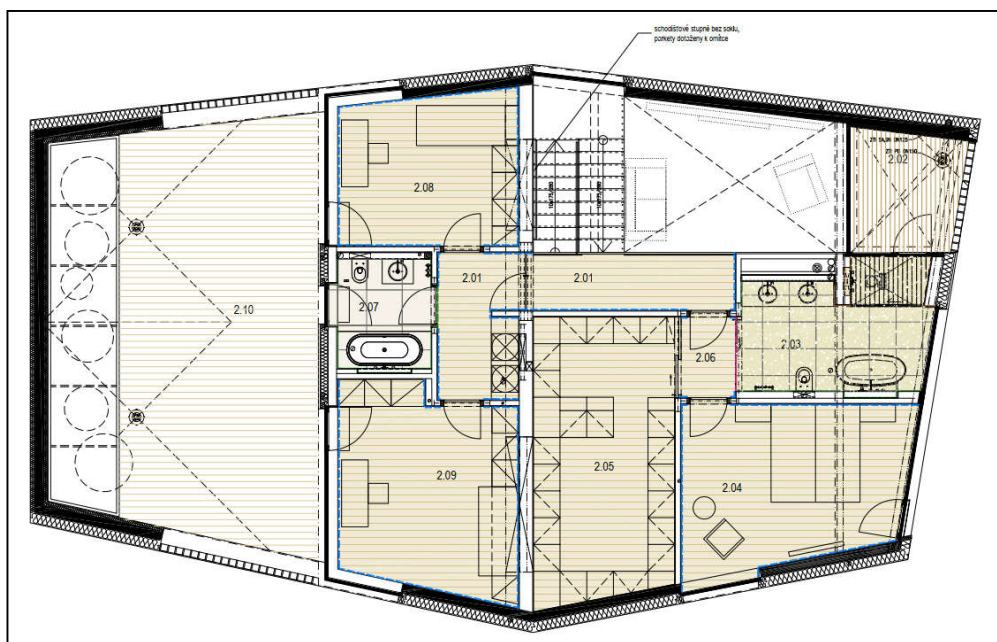
Hlavní vstup je umístěn v jižní části domu. Z prostoru vstupního zádveří je přístupná hala, na kterou navazuje sociální zázemí a pracovna. Z haly se dále vchází do hlavního obytného prostoru s kuchyňským koutem a jídelnou. Zde je zároveň centrální dvouramenné schodiště propojující obě podlaží. Ve druhém nadzemním podlaží se nachází klidová část domu, ložnice a k nim příslušné sociální zázemí a šatna. Část plochy 2.NP jsou venkovní terasy, které jsou přístupné z pokojů a koupelen. Před hlavním obytným prostorem se nachází venkovní terasa, částečně krytá přesahem 2.NP, je zde v jižní části před domem umístěn i venkovní bazén. Technické zázemí se nachází v 1.NP za garáží a má i samostatný vstup ze severní strany. Zde bude umístěn zdroj tepla, zásobník na TUV, bazénová technologie a v sousední místnosti rozvaděče silnoproudých a slaboproudých rozvodů.

Proti přílišnému oslunění je vnitřní prostředí chráněné přesahem venkovních markýz či přesahem domu nad 1.NP a exteriérovými žaluziemi ve většině oken. Návrh je akcentován subtilními vertikálními slunolamy ve 2.NP.

Objekt je navržen v jednoduchém materiálovém schématu – fasádu RD tvoří bílá omítka v kombinaci s hliníkovým fasádním obkladem v šedočerném odstínu. Okna jsou hliníková s izolačním trojsklem. Moderní vzhled podtrhuje barevné sjednocení klempířských výrobků a fóliové krytiny střechy v šedočerném odstínu. [14]



Obrázek 4 - Půdorys 1NP [14]



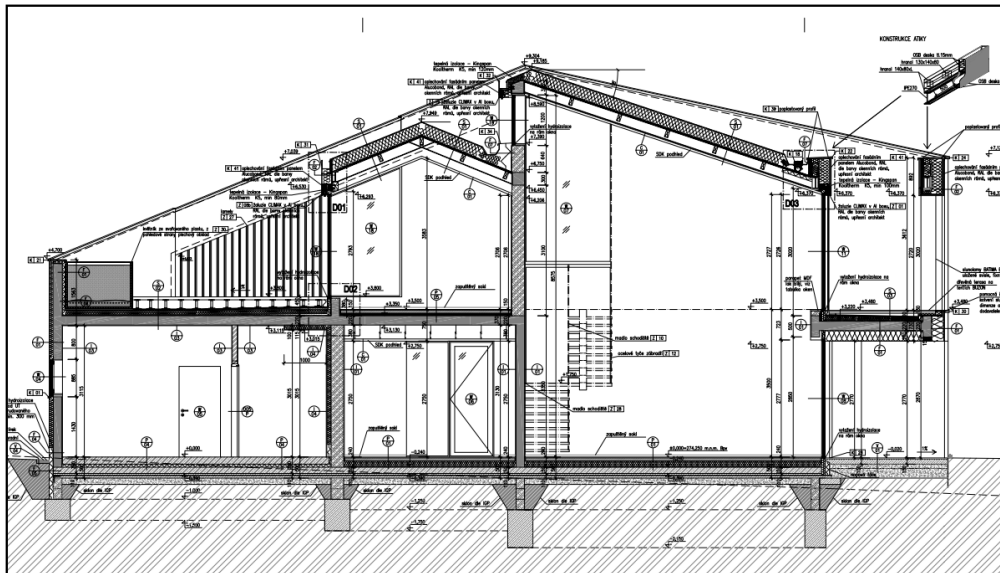
Obrázek 5 – Půdorys 2NP [14]

4.1 Studie konkrétního řešení - Popis objektu

TABULKA MÍSTNOSTÍ - 1. NP		
Č. M.	NÁZEV MÍSTNOSTI	m ²
1.01	ZÁDVEŘÍ	8,34
1.02	HLAVNÍ OBYTNÝ PROSTOR + SCHODIŠTĚ	72,35
1.03	PRACOVNA	17,01
1.04	KOUPELNA	3,59
1.05	WC	2,00
1.06	HALA	5,58
1.07	GARÁŽ	40,45
1.08	SKLAD	9,55
1.09	TECHNICKÁ MÍSTNOST	5,55
1.10	TERASA	190,14 *
UŽITNÁ PLOCHA CELKEM		172,28
* Výměry nejsou započítány v užité ploše		

TABULKA MÍSTNOSTÍ - 2.NP		
Č. M.	NÁZEV MÍSTNOSTI	m ²
2.01	GALERIE	12,24
2.02	NEZASTŘEŠENÁ LODŽIE	6,58*
2.03	KOUPELNA	11,32
2.04	LOŽNICE	18,06
2.05	ŠATNA	20,02
2.06	CHODBA	2,59
2.07	KOUPELNA	5,47
2.08	POKOJ	13,75
2.09	POKOJ	17,95
2.10	TERASA	56,27*
UŽITNÁ PLOCHA CELKEM		101,40
* Výměry nejsou započítány v užité ploše		

Tabulka 19 - Tabulka místností 1NP a 2NP



Obrázek 6 - Podélný řez objektem

4.1.1. Stavební řešení

Vlastní objekt je stavebně koncipován jako budova splňující požadavky dotačního titulu „Nová zelená úsporám“ v úrovni B-2. Energeticky je rozdělen na dvě zóny – zónu s garáží a technickou místností a na zónu obytnou. První zóna není ve výpočtu uvažována jako vytápěná.

Konstrukce jsou řešeny podle následující tabulky (viz Tabulka 20 - Parametry obvodových konstrukcí budovy) a předpokládá se kvalitní provedení všech stavebních detailů a prací. Jako součinitel přirážky na vliv tepelných vazeb ΔU_{em} je uvažována hodnota $0,012 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$. Konstrukce jsou provedeny tak těsně, aby splňovaly požadavek na průvzdušnost obálky po dokončení stavby $n_{50} \leq 0,6 \text{ l/h}$.

Konstrukce	Doporučená hodnota součinitele prostupu tepla pro pasivní budovy U_{pas} dle ČSN 73 0540-2:2011	Součinitel prostupu tepla řešené budovy
Stěna vnější	0,18 - 0,12 W/m ² .K	0,09 W/m ² .K
Střecha plochá a šikmá se sklonem do 45° včetně	0,15 - 0,10 W/m ² .K	0,09 W/m ² .K
Strop s podlahou nad venkovním prostorem	0,15 – 0,10 W/m ² .K	0,09 W/m ² .K
Podlaha a stěna vytápěného prostoru přilehlá k zemině	0,22 – 0,15 W/m ² .K	0,10 W/m ² .K
Strop a stěna vnitřní z vytápěného k nevytápěnému prostoru	0,30 – 0,20 W/m ² .K	0,12 W/m ² .K
Výplň otvoru ve vnější stěně a strmé střeše, z vytápěného prostoru do venkovního prostředí, kromě dveří	0,80 – 0,60 W/m ² .K	0,60* W/m ² .K

Tabulka 20 - Parametry obvodových konstrukcí budovy

* součinitel propustnosti slunečního záření je 0,6 a korekční činitel rámu 0,75

Veličina	Hodnota pro referenční variantu	Maximální hodnota	Jednotka
Měrná potřeba tepla na vytápění E_a	15,0	15	kWh/m ² .rok
Měrná neobnovitelné primární energie	46,3	60	kWh/m ² .rok
Průměrný součinitel prostupu tepla $E_{pN,A}$	0,19	0,22	W/m ² .K
Součinitel prostupu tepla jednotlivých konstrukcí na systémové hranici U	< U_{pas} * viz tabulka 20	U_{pas} *	W/m ² .K
Instalace systému nuceného větrání se zpětným získáváním tepla	ano		

Tabulka 21 Parametry posuzovaného objektu na úrovni budovy – splnění hodnot pro NZÚ B-2
* Požadavky na jednotlivé konstrukce jsou stanovené v ČSN 73 0540-2:2011

Tepelná ztráta objektu je 4,7kW. Další energeticko-ekologické parametry jsou stanoveny v energetickém průkazu, který je přílohou diplomové práce (viz Příloha 09).

4.1.2. Technologické řešení

Vzduchotechnika

Budova bude vybavena vzduchotechnickou, rovnotlakou jednotkou s bypassem, účinnost rekuperace je 77 % a uvažovaný elektrický příkon pro běh ventilátorů je 50W. Předpokládá se, že jednotka bude využívána po celý rok. Množství větracího

vzduchu V_v , se stanoví na základě počtu osob využívajících budovu, tedy 191,25 $m^3/h.rok$.

Vytápění

Objekt bude vytápěn podlahovými otopnými plochami doplněnými o stěnovou otopnou plochu v druhém podlaží (v místnosti 2.03 – Koupelna). Regulace teploty proběhne na základě pěti termostatů umístěných v každé obytné místnosti a koupelně. Řešení zdroje a rozvodu tepla je předmětem srovnávací studie v následujících kapitolách.

Ohřev TV

Teplá voda bude ohřívána centrálně v zásobníku teplé vody v technické místnosti. Odtud se rozvede k jednotlivým místům spotřeby. Cirkulační potrubí není uvažováno. Zdroj tepla pro ohřev TV je také předmětem srovnávací studie v následujících kapitolách.

Fotovoltaika

Fotovoltaická elektrárna bude instalována pro variantu s elektrickým přímotopným vytápěním kvůli potřebě splnění požadavků na množství neobnovitelné primární energie. Fotovoltaika je součástí srovnávací studie v následujících kapitolách.

Elektrické spotřebiče

Uvažované elektrické spotřebiče odpovídají běžnému domácímu standardu.

4.1.3. Volba konkrétních technologických částí systému

Volba zdroje tepla pro teplovodní vytápění s přednostní přípravu teplé vody

Výkon teplovodního zdroje musí být dostatečný pro pokrytí potřeb tepla na vytápění za návrhových podmínek i pro potřebu ohřevu TV.

$$Q_k \geq Q_{tv}$$

$$Q_k \geq Q_{vyt}$$

Výkon pro pokrytí potřeb tepla na vytápění za návrhových podmínek je stanoven tepelnou ztrátou objektu. Výkon potřebný pro ohřev TV je určen na základě výpočtu pro nepřímo ohřívání zásobníky s integrovaným výměníkem. [7] Jedná se o vertikální zásobník a stavbu se střední akumulací schopností zdiva. Je proto volena doba spínání ohřevu 15 minut a spínací diference pro dohřev TV 5 °K. Navržený objem zásobníku je 160 ltr.

$$Q_{vyt} = 4,7 \text{ kW}$$

$$y = 0,94$$

$$t_a = 900 \text{ s}$$

$$V_{tv} = 0,160 \text{ m}^3$$

$$Q_k = \frac{V_{tv} \cdot y \cdot \rho \cdot c \cdot X_p}{\tau_a} \Rightarrow \tau_a = \frac{V_{tv} \cdot y \cdot \rho \cdot c \cdot X_p \cdot Q_k}{Q_k}$$

$$Q_{tv,min} = 3,497 \text{ kW}$$

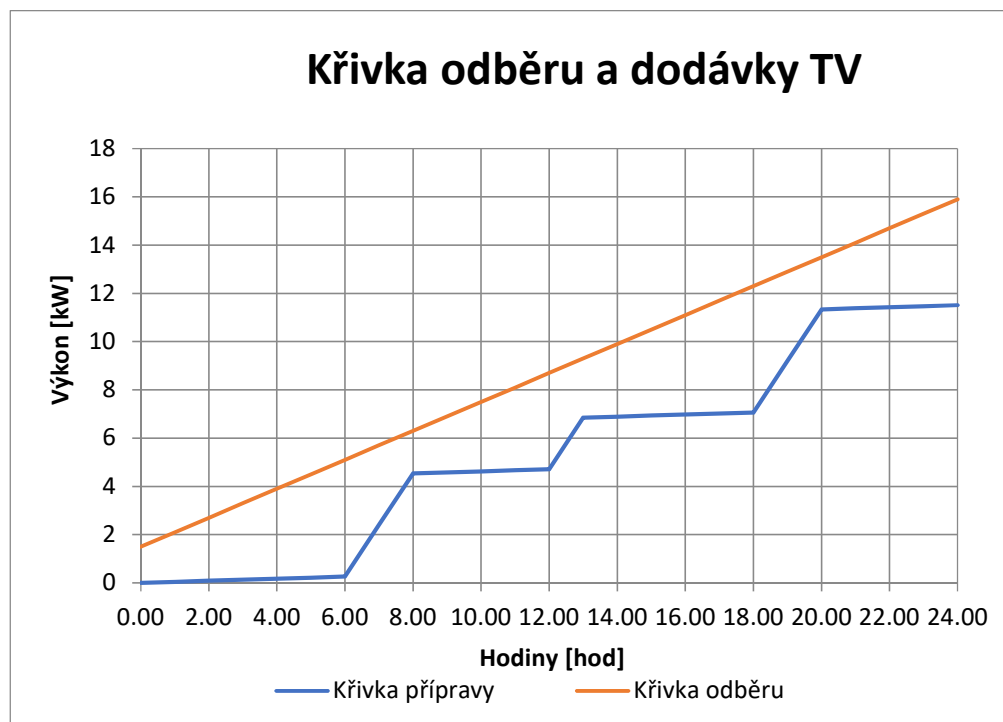
Výkon teplovodního zdroje tepla bude tedy minimálně 4,7 kW. V dalším výpočtu bude uvažováno zařízení BAXI SET LUNA DUOTEC+ 1.12 o výkonu 2-12kW s integrovaným zásobníkem teplé vody o objemu 160 ltr.

Výkon přímotopného zásobníku pro přípravu teplé vody

Výkon je určen na základě výpočtu metodou křivek dodávky a odběru tepla.

Stanovený je počet osob, které spotřebují 50 ltr. TV za den.

$$V_{TV} = 0,200 \text{ m}^3$$



Graf 9 - Křivka odběru a dodávky TV

Vypočtený minimální výkon ohřívače podle navržené křivky s 15% rezervou je

$$Q = 600 \text{ W}$$

Vypočtený minimální objem zásobníku TV je

$$V = 100 \text{ ltr}$$

V dalším výpočtu elektrického ohřívače TV bude uvažováno zařízení MORA EOM 150 PTK o příkonu 2000W a objemu 150 ltr. Systém řízení bude nastaven tak, aby při součinnosti zařízení s činností elektrickými přímotopy byl příkon maximálně 1000W.

4.1.4. Výpočet velikosti jističe elektrického obvodu

Na základě uvažovaných spotřebičů a standardní metodiky návrhu byla stanovena velikost jističe.

Spotřebič	Příkon P_i [W]	Koeficient současnosti β [-]	Soudobý příkon [W]
Kombinovaná lednice	160	1	160
Vysavač	1000	1	1000
Pračka + sušička	600	1	600
Rychlovarná konvice	2000	1	2000
Mikrovlnná trouba	1100	1	1100
Myčka nádobí – program 50°	650	1	650
Fén na vlasy	1500	1	1500
Žehlička	1200	1	1200
Počítač	80	1	80
Televize	70	1	70
Elektrická varná deska	2000	0,5	1000
Trouba	2000	0,5	1000
Internetový router	10	1	10
Provoz vzduchotechnické jednotky	50	1	50
Další drobné spotřebiče	5	1	5
Osvětlení	1000	0,25	250
Čerpadlo pro oběhovou vodu v teplovodním systému*	70	0,3	21
Celkem	13 495		10 696

Tabulka 22 - Soudobý příkon elektrických spotřebičů

* pouze pro varianty s teplovodním okruhem

Uvažovaný výkon 10 696 W se v síti o jmenovitém napětí 230 V rovná proudu 46,5 A. Při vhodném rozložení spotřebičů na jednotlivé fáze sítě bude pak minimální hodnota jističů 3x15,5 A.

Pro další výpočty bude pro varianty bez elektrického vytápění uvažována hodnota jističe 3x16A.

Pro variantu s elektrickým vytápěním je připočten potřebný příkon pro topné kabely a pro ohřev TV. Příkon topných kabelů byl vyvozen z návrhové tepelné ztráty objektu (viz Příloha 09) zvýšenou o účinnost zdroje a systému distribuce tepla.

Spotřebič	Příkon P_i [W]	Koeficient současnosti β [-]	Soudobý příkon [W]
Elektrické spotřebiče (viz tabulka22)	13 425		10 675
Elektrické topné kabely	5 102	1	5 102
Ohřev TV	2 040	1	1000
Celkem	20 567		16 817

Tabulka 23 - Soudobý příkon pro vytápění elektřinou

Uvažovaný příkon 17 817 W se v síti o jmenovitém napětí 230 V rovná proudu 73,1 A. Při vhodném rozložení spotřebičů na jednotlivé fáze sítě bude pak minimální hodnota jističů 3x24,4 A

Pro další výpočty bude pro variantu s elektrickými přímotopnými spotřebiči uvažována hodnota jističe 3x25 A. Pro variantu s tepelným čerpadlem bude navržena stejná hodnota jističů.⁹

4.1.5. Hodinová simulace

Pro potřeby návrhu a bilance byla zpracována simulace objektu v hodinovém kroku.

V software PV-SOL byla na základě profilů jednotlivých zařízení, vlastností fotovoltaické elektrárny a hodinových solárních dat simulována potřeba elektrické energie pro provoz spotřebičů a osvětlení, využitá elektřina z fotovoltaické elektrárny a množství dodané elektrické energie do veřejné sítě.

V software Designbuilder byl dle podkladů stavebního projektu a hodinových dat zpracován model budovy, u nějž byly nasimulovány jednotlivé systémy vytápění. Výstupem modelu je potřebný výkon zdroje tepla v průběhu roku, průběh vnitřních teplot v objektu atd. To vše se zohledněním zpětného zisku tepla ze vzduchotechnického zařízení, tepelného výkonu osob a elektrických spotřebičů.

Simulace v obou programech byla zpracována na základě hodinových dat ze stanice Praha – Libuš z roku 2002.

4.2. Varianta S1 – Vytápění objektu pomocí plynového kondenzačního kotle

Referenční varianta uvažuje s nízkoteplotní teplovodní soustavou a kondenzačním zdrojem tepla na zemní plyn. TV je přednostně ohřívána v nepřímo ohřívaném zásobníku stejným zdrojem tepla.

4.2.1. Navržená zařízení

Zdroj tepla pro vytápění – plynový kondenzační kotel Baxi SET LUNA DUOTEC + 1.12 o topném výkonu 2-12 kW.

Zdroj tepla pro ohřev TV – přednostně ohříváný zásobník TV o objemu 160l, je součástí dodávky plynového kondenzačního kotle.

Další zařízení – čerpadlo teplovodního okruhu o jmenovitém příkonu 70 W, je součástí dodávky kotle.

Expanzní nádoba - FLWXCON CE Top8 o objemu 8ltr.

⁹ Při kritických potřebách tepla bude teplota pravděpodobně nižší než -10°C. Za těchto podmínek je výkon pro tepelné čerpadlo vzduch-voda zajišťován bivalentním zdrojem (elektrickým kotlem), jehož příkon bude blízký příkonu elektrického přímotopného spotřebiče.

4.2.2.Cena dodávané energie

Pro výpočet ceny dodávky plynu byl uvažován aktuálně nabízený tarif „Plyn na dobu neurčitou“ od dodavatele ČEZ. Pro dodávku elektřiny byl zvolen tarif „Elektřina na dobu neurčitou D02d“ od dodavatele ČEZ pro jistič 2x16A.

Dodávaný energonositel	Cena za kWh	Paušální poplatek za rok
Zemní plyn	1,12468 ,- CZK	2042,04 ,- CZK
Elektřina (D02d)	4,024 ,- CZK	2198,64 ,- CZK

Tabulka 24 - Poplatky za dodanou energii ve variantě S1

4.2.3.Popis řešení

Výkresová dokumentace navrženého řešení je přílohou diplomové práce (viz Příloha 02 a Příloha 03).

Jmenovitý teplotní spád otopné soustavy je 45/35 °C. Výkon soustavy je řízen za pomoci ekvitermní, kvalitativní regulace. Výkon jednotlivých smyček podlahového vytápění je pak regulován kvantitativně pomocí termopohonů na podružných rozdělovačích podlahového vytápění.

Ke zdroji je přiveden plyn pomocí přípojky z blízkého plynovodu (délka přípojky celkem 10m). Od zdroje tepla je vedeno kombinované komínové potrubí nad úroveň střechy objektu v délce cca 6m.

Součástí systému je pojistné a zabezpečovací zařízení pro topný okruh, které je zajištěno expanzní nádobou o objemu 8litr a pojišťovacím ventilem. Provozní přetlak soustavy bude v rozmezí 0,08-0,2MPa. Maximální dovolený přetlak PV 0,3 MPa.

Soustava je umístěna v technické místnosti 1.09 v 1.NP objektu. Od zdroje tepla je veden rozvod k podružným rozdělovačům, odkud pokračují jednotlivé smyčky podlahového vytápění.

Podlahové a stěnové vytápění je navrženo v systému UNIVENTA, a to do všech částí obytného prostoru. Smyčky všech okruhů otopných ploch i rozvody k otopným tělesům jsou napojeny na podružné rozdělovače ve skříních - R1 a R2, do kterých je trvale směšována otopná voda na teplotu 43/33°C trojcestným ventilem u zdroje (kotlová sestava). Rozmístění smyček podlahového vytápění je patrné z výkresové dokumentace.

Teplota v jednotlivých prostorách bude regulována prostorovými termostaty. Omezení teploty PV je ovládáno buď činností čerpadla, nebo uzavíráním termoventilů u jednotlivých topných okruhů.

4.2.4. Stanovení nákladů na provedení

Na základě položkového rozpočtu (viz Příloha 04 diplomové práce) byly vypočteny celkové pořizovací náklady na provedení této varianty vytápění objektu. Uvažované ceny jsou uvedeny vč. DPH a cen prováděcích prací.

Položka	Cena
Plynovodní přípojka	34 606 ,- CZK
Zdroj tepla a ohřev TV	115 862 ,- CZK
Odkouření	17 197 ,- CZK
Otopná soustava	158 829 ,- CZK
Celkem	293 168 ,- CZK

Tabulka 25 - Pořizovací náklady pro variantu S1

4.2.5. Stanovení nákladů na provoz

Dle simulačního modelu bylo stanoveno množství dodávaných energonositelů. Náklady na provoz zařízení zohledňují normu ČSN EN 15459 [15].

Položka	Množství	Cena za rok
Zemní plyn	7 413,5 kWh	10 379,9 CZK
Elektřina	5 371,5 kWh	23 813,4 CZK
Kontrola spalování a bezpečnosti kotle (1x za 3 roky)		333,0 CZK
Roční kontrola a čištění spalinové cesty		1 500,0 CZK
Celkem za rok		36 026,2 CZK

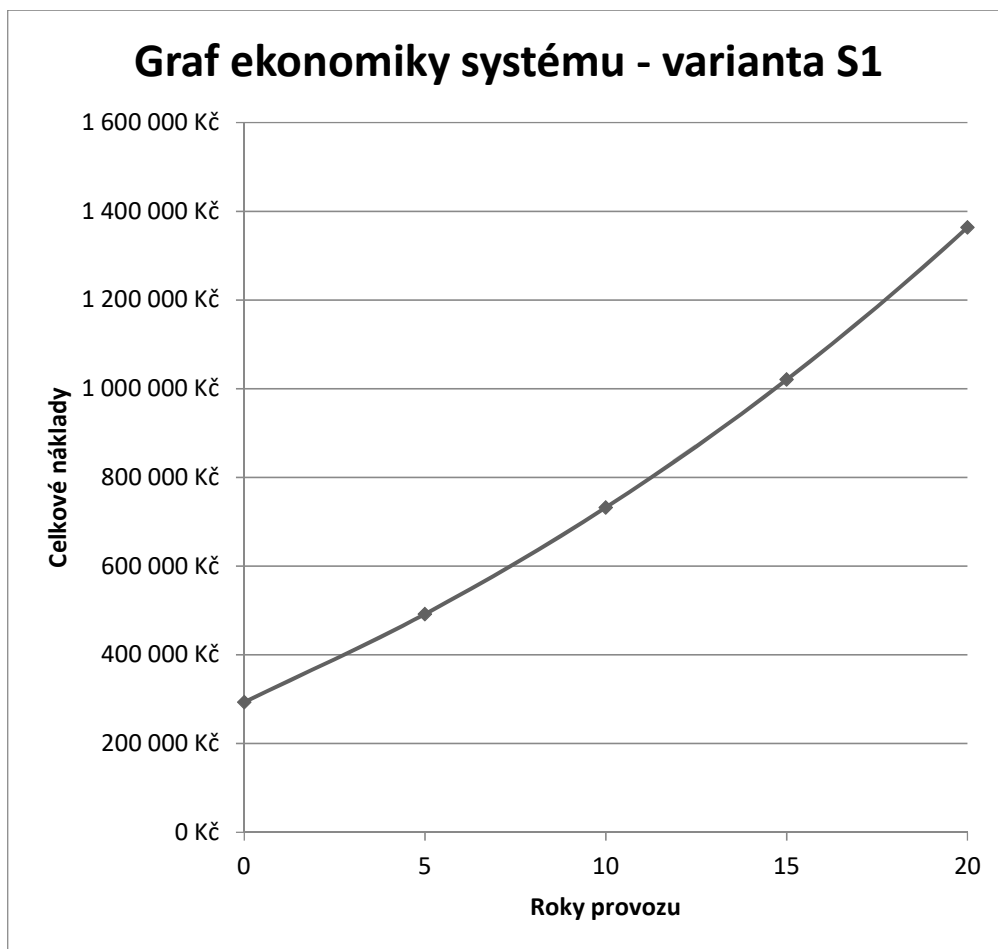
Tabulka 26 - Provozní náklady pro variantu S1

4.2.6. Vyhodnocení varianty S1

Ve výpočtu byla zahrnuta inflace měny a možný nárůst cen energonositelů koeficientem roční inflace 2%.

Roky provozu	Celkové náklady
Pořizovací náklady	293 168 Kč
5	492 049 Kč
10	732 329 Kč
15	1 020 472 Kč
20	1 363 838 Kč

Tabulka 27 - Provozní náklady pro variantu S1



Graf 10 - Ekonomika provozu pro variantu S1

Náklady systému zvoleného pro variantu S1 budou v horizontu životnosti zařízení (20 let) byly vyčísleny na 1 770 802,- CZK.

4.3. Varianta S2 – Vytápění objektu pomocí tepelného čerpadla

Varianta uvažuje nízkoteplotní teplovodní soustavu s kondenzačním zdrojem tepla na zemní plyn. TV je přednostně ohřívána v nepřímo ohřivaném zásobníku stejným zdrojem tepla.

4.3.1. Navržená zařízení

<i>Zdroj tepla pro vytápění</i>	tepelné čerpadlo vzduch – voda IVT AIR X 50 o výkonu 5 kW s bivalentním zdrojem tepla – elektrokotlem.
<i>Zdroj tepla pro ohřev TV</i>	přednostně ohříváný zásobník TV o objemu 160l, je součástí dodávky tepelného čerpadla.
<i>Další zařízení</i>	čerpadlo teplovodního okruhu o jmenovitém příkonu 70 W, je součástí dodávky kotle.

4.3.2. Cena dodávané energie

Pro dodávku elektřiny byl uvažován tarif „Elektřina na dobu neurčitou D56d“ pro jistič 3x25 A od dodavatele ČEZ. Doba platnosti nízkého a vysokého tarifu je vypočtena na základě váženého průměru, přičemž vysoký tarif platí 2 hodiny denně a nízký tarif 22 hodin denně.

Dodávaný energonositel	Cena za kWh	Paušální poplatek za rok
Elektřina v nízkém tarifu (D56d)	2,13990 ,- CZK	
Elektřina ve vysokém tarifu (D56d)	1,93273 ,- CZK	
Vážený průměr tarifů	1,94999 ,- CZK	6 431,4 ,- CZK

Tabulka 28 - Poplatky za dodanou energii ve variantě S2

4.3.3. Popis řešení

Výkresová dokumentace navrženého řešení je přílohou diplomové práce (viz Příloha 06 a Příloha 07).

Jmenovitý teplotní spád otopné soustavy je 45/35 °C. Výkon soustavy je řízen za pomoci ekvitermní, kvalitativní regulace. Výkon jednotlivých smyček podlahového vytápění je pak regulován kvantitativně pomocí termopohonů na podružných rozdělovačích podlahového vytápění.

Součástí systému je pojistné a zabezpečovací zařízení pro topný okruh, které je zajištěno expanzní nádobou o objemu 8ltr a pojišťovacím ventilem. Provozní přetlak soustavy bude v rozmezí 0,08-0,2MPa. Maximální dovolený přetlak PV 0,3 MPa.

Soustava je umístěna v technické místnosti 1.09 v 1.NP objektu. Od zdroje tepla je veden rozvod k podružným rozdělovačům, odkud pokračují jednotlivé smyčky podlahového vytápění.

4.3 Studie konkrétního řešení - Varianta S2 – Vytápění objektu pomocí tepelného čerpadla

Podlahové a stěnové vytápění je navrženo v systému UNIVENTA, a to do všech částí obytného prostoru. Smyčky všech okruhů otopných ploch i rozvody k otopným tělesům jsou napojeny na podružné rozdělovače ve skříních - R1 a R2, do kterých je trvale směřována otopná voda na teplotu 43/33°C trojcestným ventilem u zdroje (kotlová sestava). Rozmístění smyček podlahového vytápění je patrné z výkresové dokumentace.

Teplota v jednotlivých prostorách bude regulována prostorovými termostaty. Omezení teploty PV je ovládáno buď činností čerpadla, nebo uzavíráním termoventilů u jednotlivých topných okruhů.

4.3.4. Stanovení nákladů na provedení

Na základě položkového rozpočtu (viz Příloha 12) byly vypočteny celkové pořizovací náklady na provedení této varianty vytápění objektu. Uvažované ceny jsou uvedeny vč. DPH a cen prováděcích prací.

Položka	Cena
Zdroj tepla a ohřev TV	225 170,- CZK
Otopná soustava	158 829,- CZK
Celkem	383 999,- CZK

Tabulka 29 - Pořizovací náklady pro variantu S2

4.3.5. Stanovení nákladů na provoz

Dle simulačního modelu bylo stanoveno množství dodávaných energonositelů. Náklady na provoz zařízení zohledňují normu ČSN EN 15459 [15]

Položka	Množství	Cena za rok
Elektřina	7 886,2 kWh	21 809,- CZK
Celkem za rok		21 809,- CZK

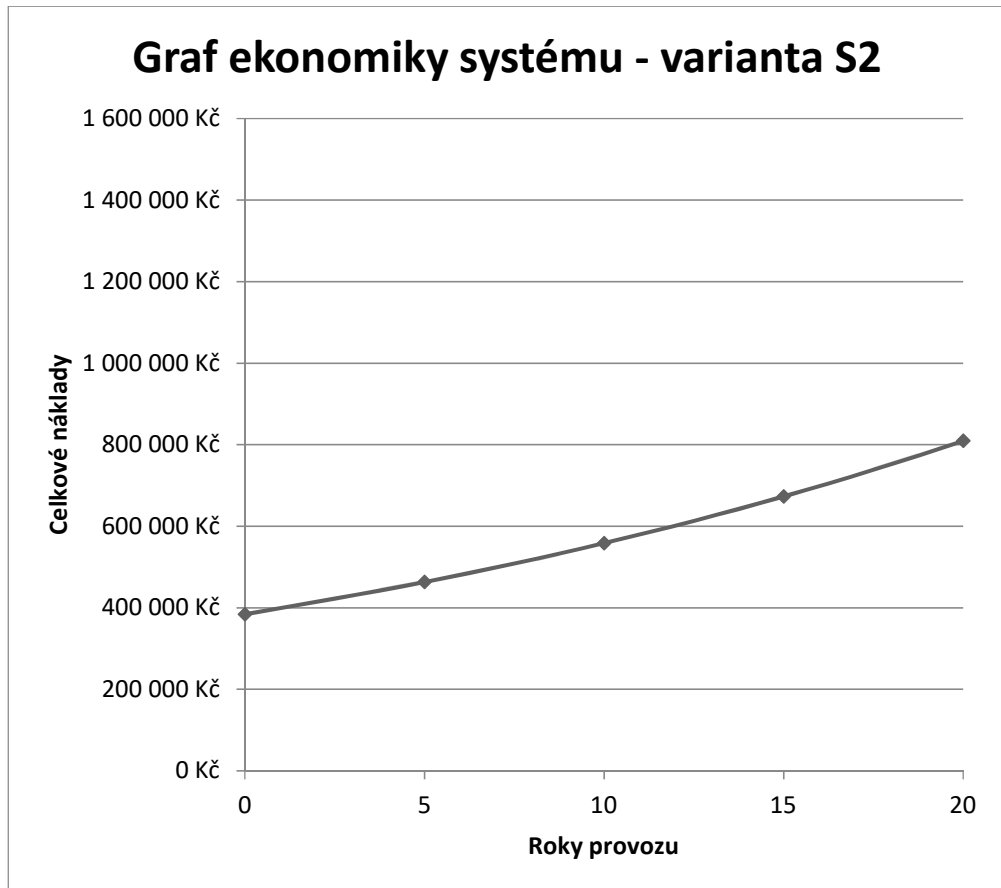
Tabulka 30 - Provozní náklady pro variantu S2

4.3.6. Vyhodnocení varianty S2

Ve výpočtu byla zahrnuta inflace měny a možný nárůst cen energonositelů koeficientem roční inflace 2%.

Roky provozu	Celkové náklady
<i>Pořizovací náklady</i>	383 999 Kč
5	504 396 Kč
10	649 854 Kč
15	824 288 Kč
20	1 032 152 Kč

Tabulka 31 - Provozní náklady pro variantu S2



Tabulka 32 - Ekonomika provozu pro variantu S2

Náklady systému zvoleného pro variantu S2 budou v horizontu životnosti zařízení (20 let) byly vyčísleny na 1 032 152,- CZK.

4.4. Varianta S3 – Vytápění objektu pomocí elektrických přímotopných těles

Varianta uvažuje přímotopné elektrické kabely instalované pro podlahové vytápění a topné folie na stěnách s otopnou funkcí. TV bude připravována v elektricky ohříváném zásobníku.

Spolu se systémem bude instalována fotovoltaická elektrárna, která zajistí pokrytí ekologických nároků na provoz budovy, a zároveň sníží potřebu dodávky elektrické energie v letních měsících.

4.4.1. Navržená zařízení

Zdroj tepla pro vytápění elektrické topné kabely FENIXGROUP ADPSV pro instalaci do podlahy a topné folie FENIXGROUP ECOFILM pro stěnové vytápění.

Zdroj tepla pro ohřev TV elektricky ohříváný zásobník TV o objemu 150 ltr a výkonu 2000 W.

Další zařízení fotovoltaická elektrárna zahrnující 8 modulů Amerisolar AS 6P30 280 Wp a střídač SMA SB 2.5 kWp.

4.4.2. Cena dodávané energie

Pro dodávku elektřiny byl uvažován tarif „Elektřina na dobu neurčitou D57d“ pro jistič 3x25 A od dodavatele ČEZ. Doba platnosti nízkého a vysokého tarifu je vypočtena na základě váženého průměru, přičemž vysoký tarif platí 4 hodiny denně a nízký tarif 20 hodin denně.

Výkupní cena energie je stanovena jako 0,4 násobek ceny dodávané elektřiny. Je připočítán poplatek na podporu výkupu elektřiny z obnovitelných zdrojů (POZE).

Dodávaný energonositel	Cena za kWh	Paušální poplatek za rok
Elektřina v nízkém tarifu (D56d)	2,05119 ,- CZK	
Elektřina ve vysokém tarifu (D56d)	1,98776 ,- CZK	
Vážený průměr tarifů	2,04062 ,- CZK	6 431,4 ,- CZK
Elektřina dodaná do veřejné sítě	-0,81625 ,- CZK	262,56 ,- CZK

Tabulka 33 - Poplatky za dodanou energii ve variantě S3

4.4.3. Popis řešení

Výkresová dokumentace navrženého řešení je přílohou diplomové práce (viz Příloha 10 a Příloha 11).

Výkon jednotlivých okruhů vytápění je přímo regulovaný termostaty umístěnými ve vytápěných místnostech. Ty jsou navzájem propojeny pomocí centrální řídicí jednotky, která zajišťuje možnost vzdáleného ovládání a řízení otopných režimů.

Podlahové vytápění a stěnové vytápění je navrženo v systému FENIXGROUP, a to do všech částí obytného prostoru. Rozmístění smyček podlahového vytápění je patrné z výkresové dokumentace.

Fotovoltaická elektrárna je umístěna na střeše objektu a je orientována na jih ve sklonu 35°.

4.4.4. Stanovení nákladů na provedení

Na základě položkového rozpočtu (příloha diplomové práce) byly vypočteny celkové pořizovací náklady na provedení této varianty vytápění objektu. Uvažované ceny jsou uvedeny vč. DPH a cen prováděcích prací.

Položka	Cena
Ohřev TV	6 149 ,- CZK
Otopná soustava	119 764 ,- CZK
Celkem	125 913 ,- CZK

Tabulka 34 - Pořizovací náklady pro variantu S3

4.4.5. Stanovení nákladů na provoz

Dle simulačního modelu bylo stanoveno množství dodávaných energonositelů. Náklady na provoz zařízení zohledňují normu ČSN EN 15459 [15].

Položka	Množství	Cena za rok
Dodaná elektřina	10 621,4 kWh	28 368 ,- CZK
Prodaná elektřina	1 075,5 kWh	-878 ,- CZK
Celkem za rok		27 490 ,- CZK

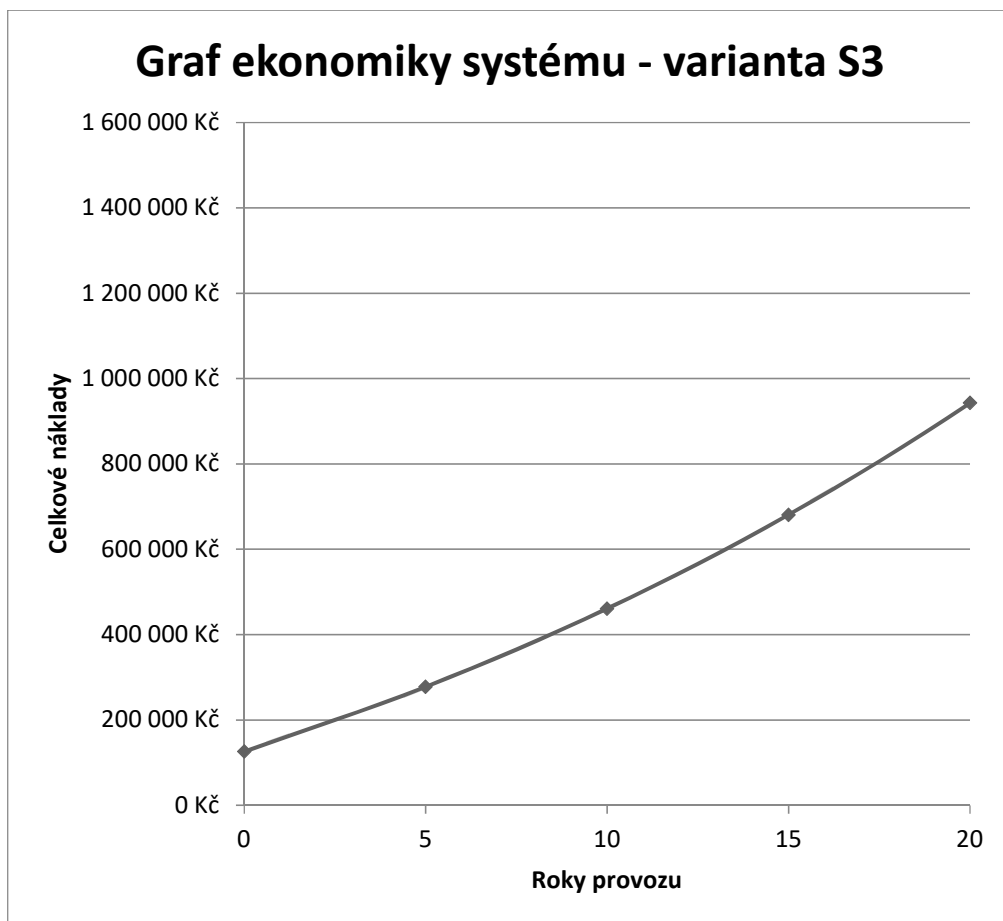
Tabulka 35 - Provozní náklady pro variantu S3

4.4.6. Vyhodnocení varianty S3

Ve výpočtu byla zahrnuta inflace měny a možný nárůst cen energonositelů koeficientem roční inflace 2 %.

Roky provozu	Celkové náklady
<i>Pořizovací náklady</i>	<i>125 913 Kč</i>
5	277 671 Kč
10	461 019 Kč
15	680 889 Kč
20	942 898 Kč

Tabulka 36 - Provozní náklady pro variantu S3



Graf 11 - Ekonomika provozu pro variantu S3

Náklady systému zvoleného pro variantu S3 v horizontu životnosti zařízení (20 let) byly vyčísleny na 942 898,- CZK.

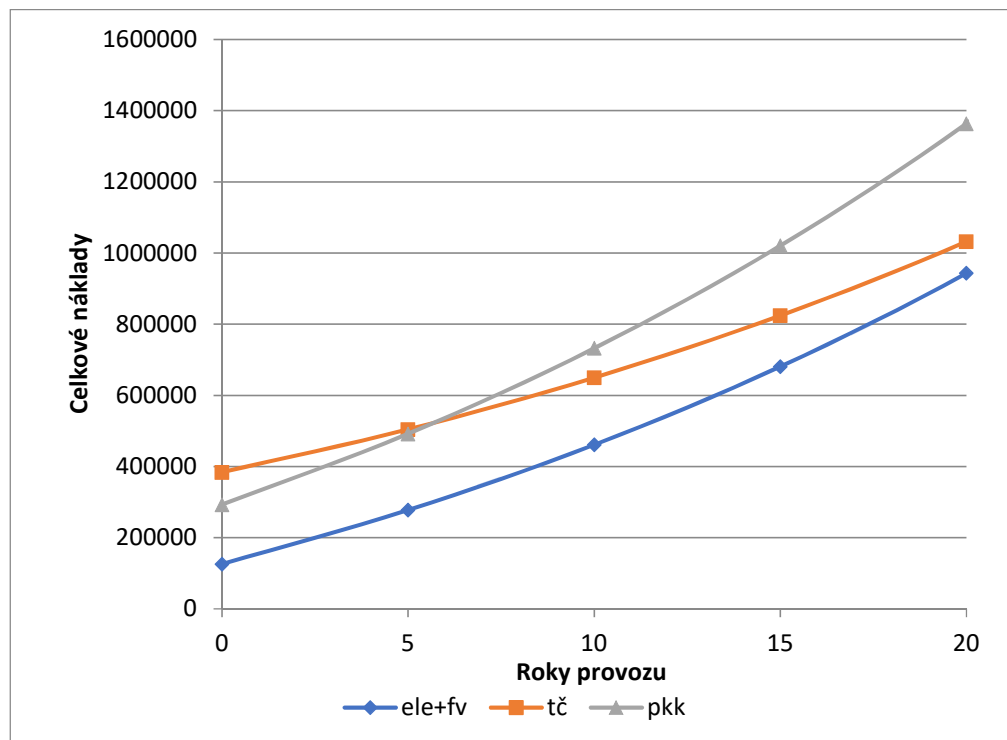
5. Závěr

Předběžná ekonomická studie byla stanovena pro časový horizont 20 let, což je životnost systému referenční varianty. Ze studie vyplývá, že tradičním zdrojům může přímotopné elektrické vytápění konkurovat u rodinných domů odpovídajících energetickému standardu, při němž je měrná potřeba tepla na vytápění nižší než 20 kWh/m².rok.

Pro prováděcí studii byl zvolen konkrétní objekt, který odpovídá standardu stanoveném dotačním titulem NZÚ B-2. Pro variantu s elektrickým přímotopným vytápěním byla uvažována investice do fotovoltaické elektrárny, jejíž aplikace je nutná k zajištění dostatečně nízkých hodnot využití primární neobnovitelné energie.

Na příkladu bylo ověřeno, že pořizovací náklady systému elektrického přímotopného vytápění s fotovoltaickou elektrárnou jsou vzhledem k dalším vybraným zdrojům nejnižší (viz Graf 12). To platí i po 20 letech provozu systému, kdy se již mírně blíží k ekonomice varianty s tepelným čerpadlem. Tepelné čerpadlo je sice efektivnější v zisku tepla v poměru k dodané elektrické energii, ale jeho pořizovací náklady se vzhledem k nízkým potřebám tepla nezuročí. Varianta s plynovým kotlem má nižší pořizovací náklady než tepelné čerpadlo, ale náklady na jeho provoz jsou vyšší už po pěti letech.

Práce dokazuje, že vysoký společenský tlak na snížení energetické náročnosti rodinných domů dává prostor pro řešení vytápění pomocí elektrických přímotopných ploch. Ty jsou nejen ekonomicky výhodnější než další zdroje na trhu, ale zároveň oproti nim přináší řadu výhod. Mezi ně patří nízké pořizovací náklady, delší životnost a nezávislost jednotlivých koncových prvků otopné soustavy na centrálním zdroji tepla.



Graf 12 - Srovnání ekonomiky jednotlivých variant

Seznam použitých zkratek

Zkratka	Význam
<i>CZT</i>	Centrální zásobování teplem
<i>CZK</i>	Koruna Česká
<i>DPH</i>	Daň z přidané hodnoty
<i>ELE</i>	Označení varianty s elektrickým přímotopným vytápěním
<i>FV</i>	Fotovoltaika
<i>kWh</i>	Kilowatt hodina
<i>NT</i>	Nízký tarif (dodávané energie)
<i>NZÚ</i>	Dotační titul „Nová zelená úsporám“
<i>OZE</i>	Obnovitelné zdroje energie
<i>PKK</i>	Plynový kondenzační kotel
<i>PV</i>	Podlahové vytápění
<i>TČ</i>	Tepelné čerpadlo
<i>TV</i>	Teplá voda (myšlená pro odběr v místě potřeby)
<i>VT</i>	Vysoký tarif (dodávané energie)
<i>ZZT</i>	Zpětný zisk tepla

Seznam tabulek

Tabulka 1 – Hodnoty konverzního faktoru elektrické energie.....	11
Tabulka 2 - Potřebné výkony průtočných ohřivačů pro zařizovací předměty.....	16
Tabulka 3 - Slitiny materiálů pro topné prvky odporového ohřevu.....	17
Tabulka 4 - Tabulka sledovaných parametrů pro "Stávající požadavek na novostavby"	24
Tabulka 5 - Tabulka sledovaných parametrů pro "Nízkoenergetický dům"	25
Tabulka 6 - Tabulka orientačních parametrů "téměř nulových budov"	25
Tabulka 7 - Tabulka sledovaných parametrů pro "pasivní dům"	26
Tabulka 8 - Tabulka sledovaných parametrů pro "dům s velmi nízkou energetickou náročností"	26
Tabulka 9 - Tabulka sledovaných parametrů pro "Budovy nulové a plusové"	26
Tabulka 10 - Parametry posuzované budovy v předběžném ekonomické bilanci.....	27
Tabulka 11 – Stupně zateplení objektu a jejich požadavky pro výpočet předběžné ekonomické bilance	27
Tabulka 12 - Rozhodovací tabulka pro volbu zdroje tepla	28
Tabulka 13 - Náklady pro zdroj tepla – plynový kondenzační kotel.....	29
Tabulka 14 - Náklady pro zdroj tepla - Kotel na dřevěné pelety s automatickým podavačem pelet	30
Tabulka 15 - Náklady pro zdroj tepla - Tepelné čerpadlo vzduch – voda	30
Tabulka 16 - Náklady pro zdroj tepla - Elektrické přímotopné vytápění s fotovoltaikou	31
Tabulka 17 - Náklady pro zdroj tepla - Elektrické přímotopné vytápění	31
Tabulka 18 - Požadavky na budovu splňující standart NZÚ B-2	35
Tabulka 19 - Tabulka místností 1NP a 2NP	38
Tabulka 20 - Parametry obvodových konstrukcí budovy	39
Tabulka 21 - Parametry posuzovaného objektu na úrovni budovy – splnění hodnot pro NZÚ B-2	39
Tabulka 22 - Soudobý příkon elektrických spotřebičů	42
Tabulka 23 - Soudobý příkon pro vytápění elektrinou.....	42
Tabulka 24 - Poplatky za dodanou energii ve variantě S1	44
Tabulka 25 - Pořizovací náklady pro variantu S1	45
Tabulka 26 - Provozní náklady pro variantu S1	45
Tabulka 27 - Provozní náklady pro variantu S1	45
Tabulka 28 - Poplatky za dodanou energii ve variantě S2	47
Tabulka 29 - Pořizovací náklady pro variantu S2	48
Tabulka 30 - Provozní náklady pro variantu S2	48
Tabulka 31 - Provozní náklady pro variantu S2	48
Tabulka 32 - Ekonomika provozu pro variantu S2	49
Tabulka 33 - Poplatky za dodanou energii ve variantě S3	50
Tabulka 34 - Pořizovací náklady pro variantu S3	51
Tabulka 35 - Provozní náklady pro variantu S3	51
Tabulka 36 - Provozní náklady pro variantu S3	51

Seznam grafů

Graf 1 - Množství energie získané různou orientací fotovoltaických panelů	23
Graf 2 - Srovnání nákladů podle jednotlivých zdrojů – pořizovací náklady [Kč]	32
Graf 3 - Srovnání nákladů podle jednotlivých zdrojů – náklady po 10 letech provozu [Kč].....	32
Graf 4 - Srovnání nákladů podle jednotlivých zdrojů – náklady po 10 letech provozu [Kč].....	32
Graf 5 - Graf ekonomické návratnosti jednotlivých zdrojů pro standart „NZÚ B-2“	33
Graf 6 – Graf ekonomické návratnosti jednotlivých zdrojů pro standart „NZÚ B-1“	34
Graf 7 - Graf ekonomické návratnosti jednotlivých zdrojů pro standart „NZEB“	34
Graf 8 - Graf ekonomické návratnosti jednotlivých zdrojů pro standart „Novostavba podle zákonných požadavků“	35
Graf 9 - Křivka odběru a dodávky TV	41
Graf 10 - Ekonomika provozu pro variantu S1	46
Graf 11 - Ekonomika provozu pro variantu S3	52
Graf 12 - Srovnání ekonomiky jednotlivých variant	53

Seznam obrázků

<i>Obrázek 1 – Rozložení potřeb energie pro různé stupně zateplení budov (1)</i>	<i>10</i>
<i>Obrázek 2 - Graf konverzních faktorů elektrické energie pro státy EU</i>	<i>11</i>
<i>Obrázek 3 - Vizualizace řešeného objektu (13)</i>	<i>36</i>
<i>Obrázek 4 - Půdorys 1NP (13)</i>	<i>37</i>
<i>Obrázek 5 – Půdorys 2NP (13).....</i>	<i>37</i>
<i>Obrázek 6 - Podélný řez objektem</i>	<i>38</i>

Seznam použitých zdrojů a literatury

- [1] ČEJKA, Michal a Jan, ANTONÍN. Budovy s téměř nulovou spotřebou – porovnání energetických standardů. *TZB-info.cz*. [Online] 2017. <https://stavba.tzb-info.cz/budovy-s-temer-nulovou-spotrebou-energie/15181-budovy-s-temer-nulovou-spotrebou-porovnani-energetickych-standardu>.
- [2] Matuška, T. Budovy s nízkou energetickou náročností - Co to vlastně znamená? *VVI*. 4/2018, ISSN 1210-1389, stránky 206-211.
- [3] NREAP - National Renewable Energy Action Plan. 2010.
- [4] NOVOTNÝ, J. Neobnovitelná primární energie. *TZB-info.cz*. [Online] 2017. <https://vytapeni.tzb-info.cz/normy-a-pravni-predpisy-vytapeni/16491-neobnovitelna-primarni-energie>.
- [5] Kabele, K. a URBAN, M. Co musí splnit rodinný dům vytápěný elektřinou a jaký vliv by měla změna konverzního faktoru primární energie? *TZB-info.cz*. [Online] 29. 01 2018. <https://vytapeni.tzb-info.cz/vytapime-elektřinou/16871-co-musi-splnit-rodinny-dum-vytapeny-elektřinou-a-jaky-vliv-by-mela-zmena-konverzniho-faktoru-primarni-energie>.
- [6] ČSN 73 0331-1. *Energetická náročnost budov - Typické hodnoty pro výpočet - Část 1: Obecná část a měsíční výpočtová data*. 2018.
- [7] VAVŘIČKA, R. *Příprava teplé vody, Sešit projektanta č. 3. STP – OS 02 – Vytápění*. Praha : autor neznámý, 2017. ISBN 978-80-02-02713-3.
- [8] ČSN 06 0320. *Tepelné soustavy v budovách - Příprava teplé vody - Navrhování a projektování*. 2006.
- [9] Z., Hradílek a kol., a. *Elektrotepelná zařízení*. Praha : IN-EL, spol. s r.o., 1997. ISBN 80-902333-2-5.
- [10] Bašta, J. *Velkoplošné sálavé vytápění*. Praha : Grada, 2010. ISBN 978-80-247-3524-5.
- [11] Rozhodnutí Energetického regulačního úřadu č. 7/2017. 2017.
- [12] Novotný, J. a Matuška, T. Neobnovitelná primární energie. *TZB-info.cz*. [Online] 2017. <http://vytapeni.tzb-info.cz/normy-a-pravni-predpisy-vytapeni/16491-neobnovitelna-primarni-energie>.
- [13] Směrnice 2010/31/ES o energetické náročnosti budov. 2010.
- [14] MIMOSA, architektonické studio. Projektová dokumentace rodinného domu "Vila Újezd u Průhonic" ve fázi studie. 2017.
- [15] ČSN EN 15459. *Energetická náročnost budov – Postupy pro ekonomické hodnocení energetických soustav v budovách*. 2008.
- [16] Organization, World Health. LEGIONELLA and the prevention of legionellosis. *who.int*. [Online] http://www.who.int/water_sanitation_health/emerging/legionella.pdf. ISBN 92 4 156297 8.

Seznam příloh

- 01 - Varianta S1 – Energetická náročnost provozu budovy
- 02 - Varianta S1 – Půdorys 1.NP
- 03 - Varianta S1 – Půdorys 2.NP
- 04 - Varianta S1 – Položkový rozpočet prováděcích nákladů
- 05 - Varianta S2 – Energetická náročnost provozu budovy
- 06 - Varianta S2 – Půdorys 1 NP
- 07 - Varianta S2 – Půdorys 2 NP
- 08 - Varianta S2 – Položkový rozpočet prováděcích nákladů
- 09 - Varianta S3 – Energetická náročnost provozu budovy
- 10 - Varianta S3 – Půdorys 1 NP
- 11 - Varianta S3 – Půdorys 2 NP
- 12 - Varianta S3 – Položkový rozpočet prováděcích nákladů