VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ENERGETICKÝ ÚSTAV

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
ENERGY INSTITUTE

# VYTÁPĚNÍ RODINNÉHO DOMU BIOMASOU

HEATING OF FAMILY HOUSE BY BIOMASS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR´S THESIS

AUTOR PRÁCE — JAROSLAV VACULÍK
AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE — Ing. MARTIN LISÝ, Ph.D.
SUPERVISOR

BRNO 2012

Seznam odborné literatury:

Murtinger, Beranovský: Energie z biomasy
Jandačka, Malcho, Mikulík: Biomasa jako zdroj energie
Internetové zdroje

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Martin Lisý, Ph.D.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2011/2012.

V Brně dne

L.S.

| | |
|---|---|
| doc. Ing. Zdeněk skála, CSc.<br>Ředitel ústavu | prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.<br>Děkan fakulty |

## Abstrakt

Bakalářská práce pojednává o tématu biomasa, jejím využití, potenciálu a zabývá se problematikou vytápění rodinného domu. Text obsahuje úvod do problematiky, nastiňuje biomasu jako možnou alternativu vytápění domu. Dále představuje její formy a zařízení určená k jejímu spalování. Práce nabízí též návrh řešení vytápění a výpočtu pro modelový dům na konkrétním objektu.



## Klíčová slova

Biomasa, obnovitelný zdroj energie, výroba tepla, vytápění, kotel



## Abstract

Bachelor´s thesis deals with the topic of biomass, its usage and potential and follow up the problem of heating a family house. The text contains introduction and outlines the biomass as an alternative of heating the house. Then it discusses its forms and devices designed for its combustion. The work also offers design and calculation of heating solutions for a model house on a particular object.



## Key words

Biomass, a renewable source of energy, heat production, heating, boiler

## Bibliografická citace

VACULÍK, J. *Vytápění rodinného domu biomasou.* Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2012. 47 s. Vedoucí bakalářské práce: Ing. Martin Lisý, Ph.D.

# Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svoji bakalářskou práci na téma „Vytápění rodinného domu biomasou“ vypracoval samostatně, s využitím odborné literatury a pramenů uvedených v přiloženém seznamu.

Jméno a příjmení: Jaroslav Vaculík

Datum: Podpis:

# Poděkování

Děkuji tímto všem, kteří mi byli nápomocni při vypracování mé bakalářské práce. Obzvláště bych chtěl poděkovat Ing. Martinu Lisému, Ph.D. za cenné rady a odborné vedení této bakalářské práce.

# Obsah


1. Úvod……. 8
2. Definice biomasy…….. 9
3. Vznik biomasy…….. 9
4. Biomasa a její využití……... 10
   4.1. Biomasa jako potrava…… 10
   4.2. Zdroj tepla…….……. 10
   4.3. Zdroj energie pro výrobu elektřiny…… 10
   4.4. Zdroj energie pro pohon dopravních prostředků……... 10
   4.5. Zdroj energie pro průmysl……. 11
   4.6. Výhody a nevýhody při využití biomasy…….. 11
5. Dělení biomasy……. 12
   5.1. Zemědělská biomasa…….. 12
   5.2. Lesní biomasa…… 12
   5.3. Odpadní biomasa……... 12
6. Možnosti využití biomasy k energetickým účelům……..... 13
   6.1. Vlhkost biomasy…….……... 13
   6.2. Výhřevnost biomasy…….. 15
7. Spalování biomasy…… 16
8. Formy biomasy vhodné k vytápění rodinného domu……... 17
   8.1. Kusové dřevo……. 18
   8.2. Dřevní štěpka……. 19
   8.3. Dřevěné pelety……... 20
   8.4. Dřevěné brikety……. 21
9. Zařízení vhodná ke spalování biomasy v rodinném domě…..…… 22
   9.1. Krby a kamna na kusové dřevo a brikety……..... 23
   9.2. Kamna na pelety…… 24
   9.3. Kotle na spalování biomasy…….. 25
      9.3.1. Zplynovací kotle na dřevo…….. 25
      9.3.2. Kotle na pelety pro ústřední vytápění……. 26
      9.3.3. Kotel na dřevní štěpku…… 28
10. Návrh vytápění pro modelový dům……..... 30
   10.1. Charakteristika modelového domu……. 30
   10.2. Výpočet tepelných ztrát……..... 31
   10.3. Porovnání nákladů na vytápění různými zdroji tepla…….. 33
      10.3.1. Tepelné čerpadlo……. 33
      10.3.2. Automatický kotel na pelety……... 34
      10.3.3. Zplynovací kotel na dřevo……..... 35
      10.3.4. Prohořívací kotel na dřevo…….. 37
      10.3.5. Přehledné srovnání navrhovaných variant vytápění……... 38
11. Závěr……. 40
12. Seznam použitých zdrojů…….. 42
13. Seznam obrázků…… 45
14. Seznam tabulek……. 46
15. Seznam použitých zkratek a symbolů…….. 47

# 1. Úvod

Nepřetržitě vzrůstající spotřeba energie, snaha o alespoň částečnou energetickou soběstačnost států a krajin, spolu s neméně důležitým faktorem, jímž je snaha o co nejšetrnější metody získávání energie vzhledem k životnímu prostředí, vede již po řadu let společnost ke stále se zdokonalujícímu využívání alternativních zdrojů energie, jako jsou například větrná, vodní, sluneční, geotermální energie a energie z biomasy.

Vzhledem k poloze České republiky, podnebným podmínkám u nás a neschopnosti využívat jiné zdroje s dostatečnou účinností se z celé škály možností jeví získávání energie a tepla pěstováním a využíváním biomasy jako jasný favorit po řadu dalších let.

Tím, co to vlastně biomasa je, se budeme zabývat v dalších kapitolách, je však třeba zmínit alespoň to, že se biomasa díky své nevyčerpatelnosti řadí mezi obnovitelné zdroje energie a to je důvodem, proč je v posledních letech tolik diskutovaným tématem. Pod pojmem biomasa si řada lidí představuje něco nového, nedávno objeveného, avšak její využívání pro potřeby člověka není žádnou novinkou, ba naopak. Odjakživa je potravou jak pro řadu organismů a bakterií, tak i pro člověka a k topení ve formě obyčejného dřeva je používána již od úsvitu věků. Její pěstování bylo uskutečňováno již před 10 tisíci let, ale to co je nové, populární a překračující rámec tradičního zemědělství, je využívání biomasy pro výrobu energie.

Potenciál, který v sobě biomasa skrývá, se zdá být velký. Vzhledem ke stále se ztenčujícím zásobám fosilních paliv se do budoucna počítá s jejich postupným nahrazováním alternativními zdroji energie, kde by právě biomasa mohla sehrát důležitou roli. Biomasa při své tvorbě spotřebuje stejné množství oxidu uhličitého, jaké se uvolňuje při jejím hoření, je to lokálně neomezený obnovitelný zdroj, lze jí získat ve velmi krátké době a při jejím hoření unikají do ovzduší podstatně menší emise než při spalování fosilních paliv. To vše jsou pozitiva hrající důležitou roli v ekonomice a v otázkách mezinárodních vztahů.

Cílem této bakalářské práce je stručné seznámení se s pojmem biomasa, s jejím rozdělením a blíže se jí věnovat jako palivu a jako jedné z možností vytápění rodinných domů pomocí různých kotlů určených k jejímu spalování. Zhodnotit klady a zápory různých forem biomasy pro vytápění a pro konkrétní příklad objektu navrhnout nejvhodnější způsob vytápění.

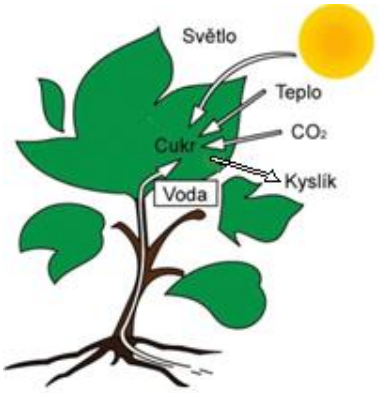
# 2. Definice biomasy

S biomasou se setkáváme dnes a denně, čemuž není divu, protože nás obklopuje ze všech stran. Pod pojmem biomasa si můžeme představit jakoukoliv organickou hmotu, ať rostlinného či živočišného původu. Zjednodušeně můžeme na biomasu pohlížet jako na „energetickou konzervu“ v níž je zachycena část sluneční energie a my ji můžeme uvolnit a dále využít dle našich potřeb. Řadí se mezi obnovitelné zdroje energie a z toho důvodu za biomasu považujeme pouze hmotu vzniklou v době geologicky současné, nikoliv biomasu vzniklou před miliony let, přeměněnou na fosilní paliva jako jsou uhlí, ropa nebo zemní plyn. [1]

V souvislosti se zdroji energie se jedná především o běžné palivové dřevo, dřevní odpad z lesního hospodářství a dřevařského průmyslu, rostlinné zbytky ze zemědělské výroby a údržby krajin, slámu, hnůj, komunální bio-odpad, ale také cíleně pěstované energeticky výnosné rostliny a to energetické byliny jako jsou řepka, konopí nebo šťovík a energetické dřeviny. Z nich zmiňme alespoň vrbu, akát, topol, lísku, platan a další rychle rostoucí dřeviny. [2]

# 3. Vznik biomasy

Na zemském povrchu neustále dochází k řadě chemických, fyzikálních a biochemických přeměn a oběhů prvků a sloučenin. Velmi podstatnou roli vůči zachování dynamické rovnováhy hraje živá biomasa. Biochemické procesy probíhající v rostlinách zajišťují trvalý oběh biogenních prvků a transformují sluneční energii na chemickou. Základní a nejdůležitější proces probíhající v chloroplastech zelených rostlin a mnoha dalších organismech, bez kterého by život na Zemi nebyl možný, se nazývá fotosyntéza.




*Obr. 1 Schéma fotosyntézy* [3]

Vše co žije, dýchá. Dýchání je proces, při kterém se spotřebovává kyslík z ovzduší, je to přeměna sloučenin uhlíku a dusíku, při které je finálním produktem voda a oxid uhličitý. Při procesu fotosyntézy je tomu přesně naopak. Rostliny při ní odebírají ze svého okolí oxid uhličitý a pomocí chlorofylu a slunečního záření z něj řadou složitých procesů vytvářejí glukózu a jako odpadní produkt kyslík.

Zjednodušeně můžeme proces fotosyntézy zapsat:

$$\mathbf{6\ CO_2 + 12\ H_2O \rightarrow C_6H_{12}O_6 + 6\ O_2 + 6\ H_2O} \quad [1]$$

Při ideálních podmínkách je účinnost fotosyntézy okolo 30 %, za běžných podmínek však maximálně 13%. To však stále není konečné, neboť část této energie spotřebují rostliny pro svůj růst. Pro tvorbu biomasy rostlina mimo slunečního záření a oxidu uhličitého potřebuje další látky, jako jsou dostatek vody, teplota a přísun minerálních látek. [1]

Důležitým faktorem z hlediska vhodnosti rostliny pro tvorbu biomasy je tzv: „čistá primární produkce“ [1], která udává kolik uhlíku z atmosférického oxidu uhličitého je přeměněno na biomasu. Z hlediska výnosu biomasy má každá rostlina svou mez a ani přehnané hnojení a zálivka nevedou ke větší produkci. Mezi nejlepší rostliny z hlediska energetické produkce se řadí cukrová třtina s 8% účinností tvorby biomasy.

# 4. Biomasa a její využití

Biomasu získáváme buď záměrně jako výsledek výrobní činnosti nebo sekundárně jako využití zemědělského, lesního či potravinářského odpadu. Celosvětová roční produkce biomasy se podle odborníků pohybuje okolo 100 miliard tun, její energetický potenciál je tedy zhruba pětkrát vyšší než činí roční spotřeba fosilních paliv. [4]

## 4.1 Biomasa jako potrava

Možná nejstarším a doposud nejrozšířenějším způsobem je využití biomasy jako potravy, jak pro člověka, tak i pro zvěř. To zdánlivě s naším tématem příliš nesouvisí a spadá spíše do oboru zemědělství a potravinářství, avšak biomasa jako potrava pro hospodářská a zejména tažná zvířata tvoří podle některých autorů v České Republice až 30% produkce obilnin. Ta je potom biologicky transformována na energii kinetickou, která je dále využívána například při těžbě dřeva a jeho přibližování. [5]

## 4.2 Zdroj tepla

Tohle využití je známo již od dávných dob, kdy se dřevo spalovalo v ohništích, která se postupem času stále víc a víc zdokonalovala až k topidlům, která dokážou hoření využít s co největší efektivností. Topilo se nejenom dřevem, ale třeba i vyschlým trusem a rašelinou. Teplo může být využíváno pro vytápění, vaření nebo ohřev vody. Využití biomasy jako zdroje tepla má dlouhou tradici a zatím je považováno za jedno z nejdůležitějších.

## 4.3 Zdroj energie pro výrobu elektřiny

Nejvyužívanější způsob k získání elektřiny z biomasy je přímé spalování v parním kotli. Vzniklá pára je vypouštěna do turbíny, kterou pohání a ta generuje elektrickou energii. V současnosti se elektrická energie vyrábí především spalováním fosilních paliv (uhlí, ropa, zemní plyn) v uhelných elektrárnách, při němž vzniká množství nebezpečných zplodin. Princip je obdobný a již dnes řada elektráren spaluje kombinaci uhlí a biomasy. Do budoucna se počítá s jejich úplnou náhradou. Možností výroby elektřiny z biomasy je několik, liší se technologií, palivem a investiční náročností na vyrobený MW. Kromě přímého spalování jmenujme alespoň využití bioplynu a dřevního plynu v kogeneračních jednotkách. [6]

## 4.4 Zdroj energie pro pohon dopravních prostředků

Biomasa pro pohon dopravních prostředků je docela novou záležitostí nepočítáme-li dřevoplynové agregáty pro pohon vozů, využívané v meziválečném období. Tato auta

používala jako pohon kusové dřevo a dřevěné uhlí. Velký vývoj nastal v Evropě v 80. letech 20. století a odstartovala ho druhá ropná krize. [5] Využití biomasy pro pohon dopravních prostředků má krom ekologického a ekonomického vý-znamu také význam politický, snižuje totiž naši závislost na ropných producentech. [1]

## 4.5 Zdroj energie pro průmysl

Využití biomasy v průmyslu je velmi široké a často velmi účelně nahrazuje jiné zdroje, navíc výrobky jsou ekologické, biologicky rozložitelné a zdraví nezávadné. Možností technického využití jednotlivých složek biomasy (cukry, škroby, oleje, rostlinná vlákna, lignocelulóza a barviva) je mnoho a nejvíce se uplatňují v textilním, potravinářském a farmaceutickém průmyslu. Jako příklad můžeme uvést výrobu pracích prášků, kosmetiky, biodegradovatelných obalů, barev, léků, výbušnin, lan, textilních vláken a mnoha dalších. [9]

## 4.6 Výhody a nevýhody při využití biomasy

Využití biomasy je velmi pestré a je realizováno odjakživa, to co se však s vývojem technologie mění je množství energie, které z ní jsme schopni uvolnit a ekologický vliv spalování vůči životnímu prostředí. Výhody využití biomasy k energetickým účelům jsou následující:

- obnovitelný charakter,
- menší negativní dopady na životní prostředí, jelikož při správném spalování rostlin se uvolní do ovzduší pouze tolik $CO_2$, kolik ho spotřebovaly při fotosyntéze, vzniká minimum škodlivých látek, popel může posloužit jako výborné minerální hnojivo,
- zdroje nejsou lokálně omezeny (pouze vysokou nadmořskou výškou a zeměpisnou šířkou),
- řízená produkce přispívá k vytváření krajiny a péči o ni,
- účelné spalování nebezpečných a někdy i toxických odpadů, což má za následek zmenšení prostor pro jejich skladování,
- domácí zdroj energie, nižší náklady na dopravu,
- možnost pěstovat energetické plodiny na přebytečné půdě, nevhodné pro potravinářský průmysl. [7]

Energetické využití biomasy je považováno všeobecně za žádoucí a z hlediska minimalizace ekologické zátěže za vhodné. Nicméně vše má své pro a proti a proto je třeba zmínit i negativa:

- využití biomasy pro energetické účely konkuruje způsobům jejího dalšího využití (potravinářský průmysl),
- energie z biomasy ekonomicky těžko konkuruje klasickým zdrojům energie,
- problémové využití vzhledem k rozmístění zdrojů biomasy a spotřebičů energie, vzhledem k potížím s akumulací, transportem a distribucí získané energie,
- v porovnání s fosilními palivy má nižší výhřevnost a energetickou hustotu. [8]

# 5. Dělení biomasy

Základní rozdělení biomasy dle jednotlivých hlavních druhů biomasy a způsobu použití v AP vychází z přílohy č. 1 k vyhlášce č. 482/2005 Sb., o stanovení druhů, způsobů využití a parametrů biomasy při podpoře výroby elektřiny z biomasy ve znění vyhlášky č. 5/2007 Sb, [10] ve zjednodušení na 3 základní druhy:

- zemědělskou biomasu
- lesní biomasu
- zbytkovou biomasu

## 5.1 Zemědělská biomasa

Tvoří nejkomplexnější složku potenciálu biomasy ČR. Jedná se o fytomasu pěstovanou na zemědělské půdě, jejíž produkce má mnoho přínosů: zajišťuje energetickou soběstačnost obcím, vede ke snížení nezaměstnanosti, je šetrná k životnímu prostředí, zabezpečuje údržbu krajiny a zadržení vody v ní.

Dle vyhlášky č. 482/2005 Sb. - Skupina 1 a 2 ji tvoří:

- cíleně pěstovaná biomasa,
- biomasa obilovin, olejnin a přadných rostlin,
- trvalé travní porosty,
- rychlerostoucí dřeviny pěstované na zemědělské půdě,
- rostlinné zbytky ze zemědělské prvovýroby a údržby krajiny. [11]

## 5.2 Lesní biomasa

Dle vyhlášky č. 482/2005 Sb. - Skupina 3 ji tvoří:

- palivové dřevo,
- zbytky z lesního hospodářství.

Jedná se o zbytkovou dendromasu, jejímž hlavním zdrojem je lesnictví a dřevozpracující průmysl. K energetickým účelům je možné, kromě části vytěženého dřeva, která nesplňuje předpoklady pro využití ve dřevozpracujícím průmyslu, využít zbytky po těžbě, jako jsou vrcholové části stromů, větve, kořeny, odpad z prořezávek, dřevní komunální odpad a podobně. Spalovat se mohou přímo kusy dřeva, nebo se odpad zpracovává do formy pelet, štěpky a briket. S lepším zpracováním biomasy se snižuje vlhkost a roste výhřevnost paliva. [12]

## 5.3 Zbytková biomasa

Skýtá mnoho druhů biomasy, vznikajících sekundárně při zpracování primární biomasy. Dle vyhlášky č. 482/2005 Sb. - Skupina 4 a 5 ji tvoří vedlejší produkty a zbytky z:

- papírenského průmyslu,
- potravinářského průmyslu,
- průmyslu zpracování dřeva,
- živočišného průmyslu,
- biologicky rozložitelný odpad,
- lihovarnické výpalky. [10], [1]

# 6. Možnosti využití biomasy k energetickým účelům

Způsoby získávání energie z biomasy jsou přímo závislé na jejích fyzikálních a chemických vlastnostech. Klíčová charakteristika biomasy s ohledem na spalování, která dělí její energetické využití do dvou skupin je obsah vlhkosti (podíl sušiny) a to na:

- suché procesy (obsah sušiny je větší než 50%, převládá spalování biomasy),
- mokré procesy (obsah sušiny je menší než 50%, výroba bioplynu aerobní fermentací vlhké biomasy, dále dominuje výroba metylesteru kyselin bioolejů získávaných ze semen olejnatých rostlin). [13]

| typ konverze biomasy | způsob konverze biomasy | energetický výstup | odpad, druhotná surovina |
|---|---|---|---|
| termochemická | spalování | teplo vázané na nosič | popel |
| konverze | zplynování | generátorový plyn | dehtový olej, uhl. pal. |
| (suché procesy) | pyrolýza | generátorový plyn | dehtový olej, pev. h.z. |
| Biochemická | anaerobní fermentace | bioplyn | fermentovaný substrát |
| konverze | aerobní fermentace | teplo vázané na nosič | fermentovaný substrát |
| (mokré procesy) | alkoholová fermentace | etanol, metanol | vykvašený substrát |
| fyzikálně-chemická konverze | esterifikace bioolejů | metylester biooleje | glycerin |

*Tab. 1 Využití biomasy k energetickým účelům* [14]

Hranici mezi mokrými a suchými procesy potom tvoří biomasa s hmotnostním podílem 50 % sušiny. Při posuzování vhodnosti biomasy k energetickým účelům vstupují do hry další parametry související se spalováním a to především:

## 6.1 Vlhkost biomasy

Představuje vodu na povrchu pevných látek ve formě kapiček popřípadě jednolitého tenkého filmu nebo vodu v pórech porézních látek. Je to parametr ovlivňující spalování, zplynování a granulaci biomasy. Čerstvá biomasa obsahuje vysoké procento vody, které má velké výparné teplo (teplo potřebné na přeměnu vody ve vodní páru), což vede ke snížení energetického zisku. Z toho důvodu je třeba biomasu, ač v jakékoli formě, dosoušet. V případě kotlů na dřevo, z důvodu zachování procesu spalování, je požadována vlhkost nižší než 55 %. Všeobecně se doporučuje vlhkost pod 30%, avšak optimální vlhkost pro spalování dřeva je mnohem nižší, a pohybuje se v rozmezí 10% -15%. [1][15]

K vysušení dřeva na 20% vlhkost poslouží přístřešek k jeho uskladnění, pro jiné formy biomasy (brikety, pelety) je třeba dosáhnout ještě nižšího obsahu vody. K tomu již sušení na vzduchu nepostačuje a je třeba sáhnout po efektivnějším způsobu vysoušení, nejčastěji se k tomuto účelu používá tzv. odpadní teplo např. ze slunečních kolektorů či z kogeneračních jednotek. [1]

| druh | vlhkost [%] | výhřevnost [MJ/kg] | obj. hmotnost volně ložená [kg.m$^{-3}$] |
|---|---|---|---|
| polena (měkké dřevo) | 0 | 18,56 | 355 |
| | 10 | 16,4 | 375 |
| | 20 | 14,28 | 400 |
| | 30 | 12,18 | 425 |
| | 40 | 10,1 | 450 |
| | 50 | 8,1 | 530 |
| dřevní štěpka | 10 | 16,4 | 170 |
| | 20 | 14,28 | 190 |
| | 30 | 12,18 | 210 |
| | 40 | 10,1 | 225 |
| sláma obilnin | 10 | 15,4 | 120 |
| sláma kukuřice | 10 | 14,4 | 100 |
| sláma řepky | 10 | 16,9 | 140 |
| sláma lnu | 10 | 16 | 100 |

*Tab. 2 Vliv vlhkosti biomasy na výhřevnost a objemovou hmotnost* [13]

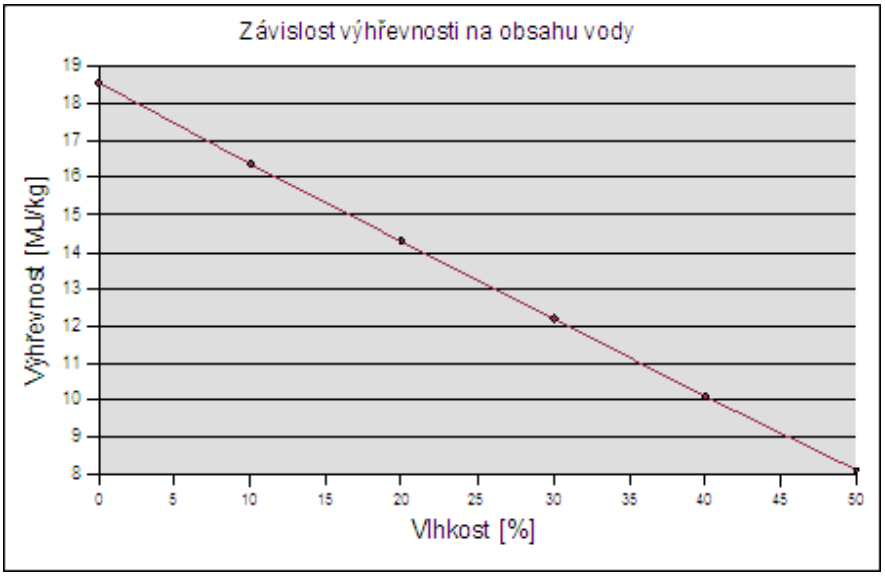
Vlhkostí nazýváme rozdíl mezi hmotností vzorku vlhkého dřeva a vzorku dřeva po vysušení, vydělený hmotností původního vlhkého vzorku.

$$w = \frac{(M_V - M_S)}{M_V} . 100[\%]$$

kde: $M_V$ - hmotnost vlhkého vzorku dřeva
$M_S$ - hmotnost vzorku dřeva po vysušení

V dřevařském průmyslu se vlhkost dřeva vyjadřuje jako rozdíl mezi suchým vzorkem a vlhkým vzorkem, vydělený hmotností suchého vzorku. Při takovémto vyjádření pak může vyjít vlhkost i vyšší než 100%.

$$w = \frac{(M_S - M_V)}{M_S} . 100[\%]$$




*Obr. 2 Graf závislosti výhřevnosti na vlhkosti biomasy* [16]

Sušení je jedním z procesů přípravy biomasy, který má přímý dopad na konečnou cenu paliva.

## 6.2 Výhřevnost biomasy

Výhřevnost je vlastnost paliva, která udává, kolik energie se uvolní úplným spálením jedné jednotky (obvykle 1 kg). Proti spalnému teplu není v hodnotě zahrnuto měrné skupenské teplo páry, obsažené ve spalinách. Předpokládá se, že její teplo je nevyužitelné a uniká v plynném stavu se spalinami. [17]

$$H_U = \frac{H_{UWF}(100 - w) - (r.w)}{100} \left[\frac{MJ}{kg}\right]$$

kde: $H_U$ - skutečná výhřevnost paliva (MJ/kg)
$H_{UWF}$ - výhřevnost sušiny (MJ/kg)
$w$ - vlhkost (%)
$r$ - teplo potřebné k odpaření 1 kg vody (2,44MJ) [14]

Výhřevnost suché biomasy se pohybuje v rozmezí 15-19 MJ/kg. S rostoucím obsahem pryskyřic a olejů roste, naopak klesá se vzrůstajícím procentem vody. Údaje o výhřevnosti jejích nejběžnějších druhů zachycuje tabulka č. 3.

| druh | výhřevnost [MJ/kg] | při vlhkosti [% hm] |
|---|---|---|
| dřevo kusové | 15,3 | 14,4 |
| dřevo-brikety | 17,54 | 7,42 |
| dřevo-pelety | 17,54 | 7,42 |
| dřevo-štěpka | 9,84 | 41,74 |
| dřevěná kůra, mix | 15,92 | 4,82 |
| papír, brikety | 11,98 | 4,61 |
| sláma obilní | 15,46 | 10 |
| sláma řepková | 15,9 | 5,56 |
| sláma pšeničná | 14,58 | 13,01 |
| sláma lisovaná | 15,46 | 10 |
| pelety | 15,46 | 10 |
| sláma řepková, brikety | 15,42 | 11,16 |
| řepkové šroty granulované | 16,7 | 9,21 |
| slunečnicové slupky | 24,05 | 5,22 |
| městské odpadky | 8,14 | 33 |

*Tab. 3 Výhřevnost různých druhů biomasy* [18]

# 7. Spalování biomasy

Mechanismus hoření biomasy je složitý chemický proces rychlé oxidace, probíhající za vysokých teplot a přítomnosti vzdušného kyslíku, jejímž výsledkem je při ideálních podmínkách vznik oxidu uhličitého a vody. V případě nedokonalého spalování vzniká řada dalších, často nežádoucích látek (saze, oxidy dusíku).[19]

Spalováním se v palivu uvolňuje chemická energie a přeměňuje se na energii tepelnou, kterou můžeme dále využívat k výrobě tepla pro ohřev vody v rodinných domech.

Celý proces začíná ohřevem paliva a jeho vysoušením v ohništi. Dřevo při těžbě obsahuje vysoký podíl vody, někdy až 60% vlhkost v závislosti na ročním období, ta se odpařuje při zahřívání na vyšší teplotu až po teplotu bodu varu. Z důvodu špatné tepelné vodivosti dřeva a vysokého výparného tepla vody dochází k vypařování z vnitřních vrstev polen mnohdy ještě dlouho potom, co dřevo již na povrchu hoří. [1]

Odpařování vody spotřebuje velké množství tepla (2500 $kJ.kg^{-1}$, což je přibližně 5× vetší než teplo potřebné pro ohřev vody z 0 °C na 100 °C) [20] a velmi efektivně dřevo chladí. Po úplném vysušení teplota vzroste a dochází k uvolňování dalších látek (pryskyřice) a tepelnému rozkladu (pyrolýze) jednotlivých složek biomasy. Následuje vznik směsi hořlavých plynů, nesoucí v sobě přes polovinu energie ve dřevě obsažené a na roštu zůstává dřevěné uhlí. Jednotlivé proudy prchavé hořlaviny, unikající z povrchu dřeva splývají v souvislý plamen a mísí se se vzduchem, přiváděným pod rošt (primární vzduch). Tato směs hoří ve formě dlouhého plamene (primární spalování). Při tomto ději nedochází ke spálení všech spalitelných plynů z důvodů nedostatku vzduchu a nízké teploty. Proto je do plamene vmícháván ještě takzvaný sekundární vzduch, který zabezpečí úplné spálení všech spalitelných složek, čímž uvolní zbylou energii a do komína tak odchází pouze oxid uhličitý, vodní pára a dusík. [1]

Správně řešená konstrukce topeniště je zásadní podmínkou k docílení vysoké účinnosti spalování a minimální produkce škodlivých látek. Důležitým faktorem je také vysoký obsah

prchavé hořlaviny (při ohřátí přes 200°C se biomasa zplyňuje, důsledkem toho hoří dlouhým plamenem), to do jisté míry komplikuje konstrukci topenišť. [16]

| palivo | výhřevnost [MJ/kg] | prchavá hořlavina [%] |
|---|---|---|
| koks | 28,5 | 1,5 |
| černé uhlí | 28 | 20 |
| hnědé uhlí | 17 | 55 |
| dřevo | 18 | 75 |
| sláma | 16 | 80 |

*Tab. 4 Obsah prchavé hořlaviny pro různé druhy paliva* [16]

Moderní kotle dnes využívají obrozeného procesu pyrolytického spalování, který bývá označován za budoucnost využívání pevných paliv. Účinnost tohoto spalování se v kombinaci s moderní konstrukcí kotlů blíží hranici 90 %, v potaz berme též vznik minimálních škodlivých emisí. Myšlenka pyrolýzy je známá již po mnoho let. Nejhojněji byla využívána při výrobě dřevěného uhlí, v současnosti se uplatňuje stále častěji při zpracování odpadu šetrnou cestou.

Princip spočívá v rozdělení procesu spalování dřeva do dvou komor přemostěných tryskou. V první komoře (často té horní) dochází k vysoušení vsázky a tvorbě dřevoplynu, který je pak spalován v komoře druhé. Obě komory tak pracují v rozdílném teplotním zatížení. Přikládací komora bývá vystavována teplotě kolem 500 °C, zatímco spalovací komora (prostor, kde hoří dřevoplyn) odolává teplotám kolem 1100 °C. [21]

*Obr. 3 Schéma kotle Verner na pyrolytické spalovaní kusového dřeva* [22]

# 8. Formy biomasy vhodné k vytápění rodinného domu

Vytápění biomasou je dobrou alternativou z mnoha pohledů (ekologický, domácí a obnovitelný zdroj, lokální dostupnost a velký výběr dodavatelů, cena paliva). Podmínkou pro tento typ získávání energie je co nejsnadnější doprava paliva. Z toho plyne, že topení biomasou bude optimálním řešením všude tam, kde je v blízkém okolí možnost jejího snadného získání – tedy na venkově nebo v příměstských oblastech. Další podmínkou je možnost skladování paliva na suchém místě. Do úvahy musíme vzít i to, že biomasa má nižší energetickou účinnost, než fosilní paliva a plyn, a k jejímu efektivnímu využití je zapotřebí vhodné zařízení. Současná zařízení na spalování biomasy se však komfortem i účinností vyrovnají ostatní konkurenci a biomasa se tedy jeví jako velmi perspektivní ekologický zdroj energie. [23]

Nejběžnější formou biomasy, kterou pro vytápění zužitkováváme, je kusové dřevo, nemusíme však zůstat pouze u něj.

## 8.1 Kusové dřevo

V době alternativních zdrojů energie, dotací na tepelná čerpadla, solární systémy a plyn, by se mohlo zdát topení kusovým dřevem přežitkem nebo romantickou záležitostí rekreačních chat a srubů. Ale právě vývoj ve snaze užití alternativních zdrojů energie posunuje v posledních letech kusové dřevo na přední příčky popularity.

Je to tradiční a nejlevnější forma vytápění v rodinném domě, oblíbená především pro svou jednoduchost užití. Topení kusovým dřevem je však náročnější na manipulaci i uskladnění. Dřevo musí být dostatečně vysušené, tak aby mělo maximálně 20 % vlhkosti. Tedy dva tři roky vysychat, v závislosti na jeho tvrdosti a formě. Skladovat je třeba v suchu s dostatečným přístupem vzduchu. Vlhké dřevo má nižší výhřevnost, hoří s vyšším obsahem dehtu a škodlivin, které znečišťují nejen komín, ale i životní prostředí.

| stáří | obsah vody | výhřevnost |
|---|---|---|
| čerstvě pokácené | 50-60% | 7,1 MJ/kg |
| přes léto skladované | 25-35% | 12,2 MJ/kg |
| několik let skladované | 15-25% | 14,4 MJ/kg |

*Tab. 5 Vysychání dřeva* [24]

Při udávání množství dřeva se setkáváme s různými metry, které pro přehlednost udává následující tabulka.

| Jednotka | Název | Přepočet | Význam |
|---|---|---|---|
| Plm | plnometr | | krychle o hraně 1 m vyplněná dřevem bez mezer |
| Prm | prostorový metr | 1 prm=0,6 až 0,7 plm | krychle o hraně 1 m vyplněná polenovým dřevem s mezerami |
| Prms | prostorový metr sypaný | 1 prms≈0,4 plm | 1 $m^3$ volně sypaného drobného nebo drceného dřeva |

*Tab. 6 Přepočtová tabulka pro různé metry dřeva* [1]

Délka kusového dřeva závisí především na velikosti spalovacího prostoru, nejběžněji se spalují špalky v délce 300-500 mm. Ke zpracování dřeva pro topení v rodinném domě se využívá elektrických řetězových pil, kotoučových pil, které je možno doplnit o štípací trn. V hojné míře se využívají i samostatné hydraulické štípačky na špalky, které jsou dnes již pro většinu domácností dostupné. [1]

*Obr. 4 Kusové dřevo* [25]

Výhody:

- obnovitelný zdroj energie
- čistý zdroje energie z hlediska neutrality emisí $CO_2$
- bez daňové zátěže - žádné spotřební daně, snížená sazba DPH (9%)
- popel ze spalování lze dále využít jako hnojivo

Nevýhody:

- pravidelná sezónní příprava dřeva
- skladovací prostory pro dostatečnou zásobu - nutnost spalování vyschlého dřeva
- každodenní zátop, pravidelné přikládání a vynášení popela
- pravidelné čištění kotle [24]

## 8.2 Dřevní štěpka

Nejčastěji vzniká jako odpad z lesní těžby nebo cíleně drcením dřevních částí. Jedná se o nadrcenou dřevní hmotu do částic o délce od 3 do 250 milimetrů. Obsah vody bezprostředně po těžbě dosahuje více než 55 %, z čehož vyplývá, že ji musíme dále dosoušet. Dalším zdrojem pro výrobu štěpky jsou různé dřevozpracující podniky. Obsah vody z pilařských odpadů bývá kolem 45 %, z truhlářské výroby kolem 15 %. Z důvodu minimální hodnoty lidské práce a mnoha zdrojů dřevního odpadu se jedná o velmi výhodné a levné biopalivo s výhřevností 8-15 MJ/kg. [26]

Podle kvality štěpky a dalších příměsí ji rozdělujeme do následujících skupin:

- Zelená štěpka- štěpka získaná ze zbytků po lesní těžbě, obsahující do 45 % dřeva s příměsí kůry a zeleně maximálně do 55 %. Nalezneme v ní nejen části větví, ale také listí, popřípadě i jehličí. Z důvodu zpracování čerstvé hmoty je vlhkost této štěpky poměrně vysoká a rychle ztrácí svou kvalitu a není tedy vhodná pro dlouhodobější skladování. Jediné využití spočívá ve spalování v elektrárnách a spalovnách. [27]
- Hnědá štěpka- vzniká při zpracování zbytkových částí kmenů a pilařských odřezků bez asimilačních orgánu (jehličí a listí), ale s větším podílem kůry. Obsahuje do 70 % dřeva s příměsí kůry maximálně do 30 % a sjednocujícím prvkem je obsah kůry. Díky vyšší výhřevnosti je vhodná pro energetické využití, zároveň díky snížené vlhkosti může být skladována delší dobu bez výraznější ztráty kvality. [26]
- Bílá štěpka- získává se z odkorněného dříví, především z odřezků při pilařské výrobě. Z důvodu vyšší ceny se pro energetické účely nepoužívá, ale uplatňuje se při výrobě dřevotřískových desek. [27]

Štěpku lze využívat jako palivo pro kamna a kotle v rodinných domech a ve větších budovách, kde její spalování zajišťují speciální kotle se šnekovými dopravníky. Jedná se o čistý zdroj energie bez přidané energie na zpracování (lisování), což se promítá na její nízké pořizovací ceně. Štěpka má však nízkou objemovou hmotnost (300 kg/m$^3$) a v případě rodinného domu, je třeba počítat s velkým prostorem k jejímu skladování (až 50 m$^3$), což není málo. Další nevýhodou je nutnost dobrého odvětrávání skladu štěpky, z důvodu náchylnosti k vlhnutí. Zatím se štěpka nedá považovat za palivo s rozvinutou sítí pro malospotřebitele. [27]

*Obr. 5 Dřevní štěpka* [28]

Výhody:

- nízká pořizovací cena
- zautomatizovaný provoz kotlů se zásobníky
- obnovitelný zdroj energie
- čistý zdroje energie z hlediska neutrality emisí $CO_2$

Nevýhody:

- náročnost na skladovací prostory a odvětrávání

## 8.3 Dřevěné pelety

*Obr. 6 pelety* [29]

Jedná se o ekologické palivo vyráběné vysokotlakým lisováním z odpadních surovin, obvykle z pilin, hoblin a odřezků, bez použití jakýchkoliv chemických pojiv či lepidel. Vznikají pelety válcovitého tvaru nejčastěji v průměru 6-10 mm a různorodé délce 5-40 mm. [30]

Výroba probíhá za vysokých tlaků a teploty kolem 160 °C, což spolu s obsahem ligninu a pryskyřice zajišťuje jejich soudržnost. Tento proces se nazývá peletování a jeho výsledkem je palivo s vysokou energetickou hustotou, dobrou výhřevností a vlastnostmi umožňujícími snadný transport a skladování. Na trhu jsou pelety k dostání v různých barvách a odstínech v závislosti na druhu použitého dřeva, příměsí kůry, vlhkosti, technologii výroby apod. Pelety se vyznačují stabilní a nízkou vlhkostí kolem 8 %, které se dosahuje sušením v sušárnách a nízkým obsahem popelovin (kolem 1%). [30]

Využití pelet je v široké škále kotlů a krbů rodinných domů i větších budov. Velkou výhodou je neutralita tvorby $CO_2$ při hoření (nevytváří kouř). Vzniká pouze bezbarvý $CO_2$, vodní pára a pouze nepatrné množství škodlivin a popela (5kg popela na 1 tunu pelet). Jelikož odběr pelet je většinou lokální záležitostí, náklady na dopravu paliva tvoří jen nepatrnou část jeho konečné ceny, na převoz nejsou kladeny přísné požadavky z hlediska bezpečnosti a náročnost na skladovací prostory je v porovnání s jinými palivy minimální. [31]

Výhody:

- výhřevnost 16-18 MJ/kg
- obnovitelný zdroj energie
- čistý zdroje energie z hlediska neutrality emisí $CO_2$
- nenáročnost na skladovací prostory
- nižší výrobní náklady
- popel lze dále využít jako hnojivo
- zautomatizovaný provoz spalování

Nevýhody:

- celková pořizovací cena zařízení pro vytápění domu převyšuje pořizovací náklady jiných možných variant vytápění (plyn, elektřina)
- nutnost čištění popelníku a teplosměnných ploch.

## 8.4 Dřevěné brikety

Výchozí surovinou pro výrobu briket jsou piliny, hobliny, dřevní prach nebo drť, výjimečně i kůra. Stejně jako pelety jsou lisovány pod vysokým tlakem bez přidaných pojiv a lepidel a to do tvaru válečků nebo hranolů o průměru 40-100 mm a délky až 400 mm. Materiály pro výrobu briket pocházejí pouze z provozů prvotního zpracování dřeva, nikdy ne z nábytkářského průmyslu. Brikety se stejně jako pelety objevují v různých zbarveních v závislosti na druhu výchozího materiálu pro výrobu a dalších faktorech jako v případě pelet. [31]

*Obr. 7 Dřevěné brikety* [32]

Důležitou vlastností je stabilní nízká vlhkost (8%), způsobená vysokou objemovou hmotností, pohybující se okolo 1000 až 1200 kg/m$^3$ a nízký obsah popela (1-2%). Brikety je možné spalovat v jakýchkoliv kotlích, krbech a kamnech na dřevo i v kotlích ústředního vytápění. Nejvyšší účinnosti je však dosaženo v kotlích na dřevoplyn. [31]

Ze strany spotřebitele je třeba rozlišit, za jakým účelem budou brikety použity. K rychlému vytopení (chaty, sruby) se doporučuje sáhnout po briketách z měkkého dřeva s otvorem uprostřed, jež umožňuje snadnější zátop a rychlejší prohoření brikety. V případě stabilního vytápění objektu přicházejí vhod plné brikety z tvrdšího dřeva, poskytující rovnoměrné pomalé hoření až s 6 hodinovou dobou žhnutí. [31]

S vývojem nových technologií a tlakem na šetrnější přístup k životnímu prostředí, roste snaha o využití jiných paliv, jako jsou například rašelina, konopí, cukrová řepa nebo jiné odpadní suroviny z rostlinné a živočišné výroby. Brikety z těchto paliv jsou výkonově srovnatelné s peletami dřevěnými. [33]

Výhody:

- výhřevnost 12 až 18 MJ/kg
- dlouhá doba hoření (6 hodin)
- nízký obsah popela (do 3%), který lze využít dál jako hnojivo
- obnovitelný zdroj energie
- čistý zdroje energie z hlediska neutrality emisí $CO_2$
- zautomatizovaný provoz spalování

Nevýhody:

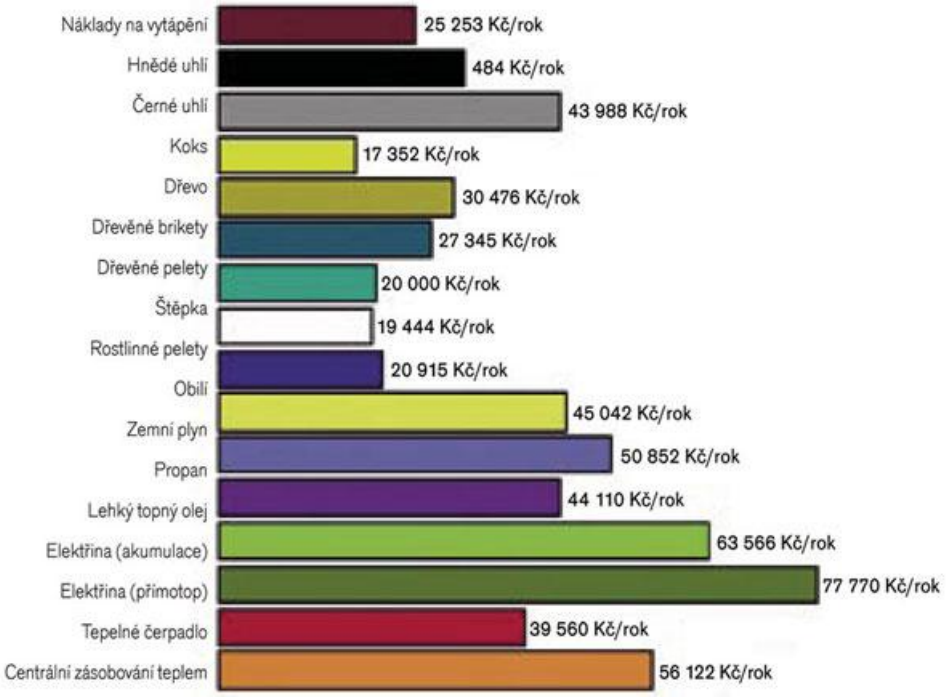
- každodenní zátop, pravidelné přikládání a vynášení popela
- pravidelné čištění kotle

*Obr 8. Rašelinové brikety* [33]

# 9. Zařízení vhodná ke spalování biomasy v rodinném domě

Využití biomasy jako zdroje tepla pro vytápění rodinného domu přináší mnoho výhod. Jedná se o ekologický zdroj, z důvodu minimální produkce škodlivých emisí, lokálně dobře dostupný a zpravidla levnější zdroj, než elektřina nebo plyn.

V současné době lze na trhu najít široký sortiment zařízení pro spalování biomasy. Jsou to jednak krby, kamna, lokální topidla a pak také kotle pro ústřední vytápění objektu s výkonem v rozmezí od 10 do 60 kW. Zařízení s tímto výkonem zcela vystačí i na vytopení rozsáhlejšího obydlí.




*Obr. 9 Porovnání nákladů na vytápění pro různé druhy paliva výpočet pro domácnost se spotřebou 100 GJ/rok* [34]

## 9.1 Krby a kamna na kusové dřevo a brikety

Teplo z krbu patří mezi ty nejvíce příjemné. Jeho tradice sahá v historii stovky let zpátky. Přestože se jedná o jedno z nejstarších zařízení k vytápění objektů, je stále hojně využíván a oblíben, především pro přímý kontakt s otevřeným ohněm a často jako interiérový doplněk. Ačkoli má konstrukce krbů za sebou dlouhý vývoj a mnohá vylepšení, jedná se bohužel o zařízení s nejmenší účinností. Příjemnou vlastností krbu je to, že teplo předává do místnosti hlavně sáláním, pouze malá část tepla je předávána konvencí (ohřívání vzduchu zdivem krbu a komína). To bylo výhodou v prochlazených a špatně izolovaných objektech, nic méně pro vytápění moderního izolovaného domu je krb špatnou alternativou a přílišné sálání tepla může být někdy i nepříjemné. [1]

S přihlédnutím na energetickou účinnost a produkci škodlivých emisí, je dnes klasická konstrukce otevřeného krbu zcela nevyhovující. Hlavní nevýhodou je to, že hořící dřevo je příliš ochlazováno a není dost dobře možné řídit množství vzduchu pro spalování. Krb nasává velké množství vzduchu z místnosti, které s sebou do komína odnáší také mnoho tepla. Výsledná účinnost je potom kolem 20 %. [1]

*Obr. 10 Kamna GALANT 11 K* [36]

Z toho důvodu se dnes využívají uzavřené krby, čili krbové vložky. Moderní krbové vložky umožňují lepší regulaci přiváděného vzduchu. Ten je často veden z exteriéru, či technických místností speciálním kanálem, z důvodu ochlazování místnosti a zpravidla se také odebírá část tepla z kouřových plynů pomocí zvláštního výměníku (teplovzdušný nebo teplovodní). Tímto způsobem lze dosáhnout účinnosti až 70 %. [35]

Jako palivo pro tyto zařízení je vhodné jakékoliv kusové dřevo a dřevní brikety. Přičemž velikost polen, či jiného paliva, je určována především velikostí přikládacího prostoru. Krby a kamna najdou své uplatnění všude tam, kde je vyžadován živý oheň a sálavý přenos tepla, tedy na chalupách a chatách, kde sálání rychle přinese pocit tepla. Nebo jako interiérový doplněk a zároveň záložní zdroj. [1]

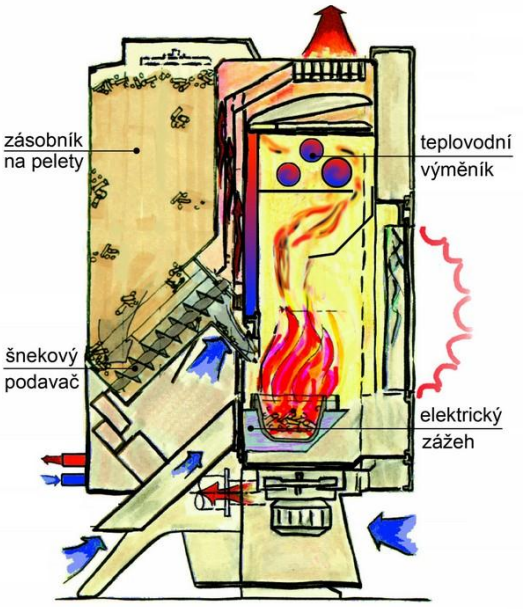
Výrobců kamen a krbů je na našem trhu hromada a vybírat lze z velkého množství zařízení nejrůznějších tvarů a provedení s výkony od 2 do 50 kW, přičemž výkon lze plynule regulovat přívodem vzduchu a paliva. Pořizovací ceny začínají na částkách kolem 5000 Kč, ale s ohledem na výkon a značku onoho zařízení, není problém vyšplhat se až na částku 100000 Kč. [35]

*Obr. 11 Krbová vložka KRATKI MILA GILOTINA* [37]

## 9.2 Kamna na pelety

Tato kamna se používají pro vytápění jednotlivých místností, menších bytů či nízkoenergetických domů. Jsou to generátory tepla, ve kterých se spaluje dřevo za optimálního přístupu vzduchu a přesně dávkovatelného množství pelet. Kamna na pelety předávají teplo sáláním, přičemž teplo může být rozváděno teplým vzduchem i vodou do dalších místností. Výkony kamen se pohybují v rozmezí od 6 do 10 kW a je možné je regulovat podle aktuální potřeby. Hoření probíhá vždy za nejlepších spalovacích podmínek (produkce CO je vždy neutrální) a do ovzduší neuniká žádná síra, kyseliny, či jiné látky jako při spalování fosilních paliv. Peletová kamna jsou jednoduchá na obsluhu, oplývají účinností spalování až 90 % a po estetické stránce je jejich nezanedbatelnou výhodou pohled do plamenů ohně. [38]

Nedílnou součástí peletových kamen je hořák, který je nejčastěji hrncový. Zapalování kotle se děje automaticky horkým vzduchem, přísun paliva do hořáku je řízený, přičemž pelety jsou podávány malým šnekovým dopravníkem. Pro vytápění dalších prostor nebo ohřev vody jsou nabízena peletová kamna s adaptérem, který tvoří výměník spaliny - voda. Ten je možno připojit ke stávajícímu systému ústředního vytápění. Další alternativou je propojení solárního ohřevu vody s výměníkem.[38]




*Obr. 12 Schéma kamen na pelety* [39]

Nejvhodnějším palivem jsou dřevěné pelety, u mnohých kamen je možno spalovat i jiné druhy pelet (rostlinné, slámové). Možnosti spalování jiných druhů pelet je však dobré vždy probrat přímo s výrobcem kamen, jelikož nesprávné palivo může leckdy životnost kamen značně ovlivnit. [38]

Ceny peletových kamen začínají na 30 000 Kč a v závislosti na výrobci, vlastnostech, vybavenosti a designovém zpracování se mohou vyšplhat až k hranici 300 000 Kč. [38]

Kamna na pelety přinášejí do domu komfort automatického zapálení, přesnou regulaci výkonu, pohled do plamenů ohně a úspory z nevytápění (když nejsme doma). Významnou výhodou topidel na pelety je dobrá regulovatelnost a dlouhá doba hoření. Tyto vlastnosti z nich dělají univerzálně využitelné topidlo a počet jejich instalací zajisté poroste.

*Obr. 13 Kamna Edilkamin* [40]

## 9.3 Kotle na spalování biomasy

Kotlů na spalování biomasy je na trhu nespočetné množství. Liší se cenou, výkonem, druhem paliva, náročností na údržbu a v neposlední řadě i estetickým zpracováním. Vybírat můžeme dle způsobu spalování, a to z klasických (ruční obsluha), automatických (zautomatizovaný provoz), zplynovacích kotlů. Všechny kotle se vyrábějí v široké škále výkonů od jednotek kW až po několik MW.

### 9.3.1 Zplynovací kotle na dřevo

Tyto kotle jsou vhodné pro ústřední vytápění rodinných domů a pro přípravu teplé užitkové vody. Jako palivo slouží dřevěná polena nebo dřevěné brikety. Výkony se liší provedením kotlů a řádově se pohybují od 10 do 100 kW, přičemž je možno regulovat je v rozsahu od 30 do 100 %. Je možné provozovat je jako záložní zdroj, avšak nejsou vhodné do městských zástaveb, z důvodu nutnosti skladovacích prostor pro dřevo. [42]

*Obr. 14 Zplynovací kotel na dřevo Hoval Agrolyt* [42]

Princip spalování ve zplynovacích kotlích se výrazně liší od běžných kotlů. Ke spalování paliva dochází zplyňováním dřeva, jehož podstata spočívá v tepelném rozkladu organických a anorganických látek v uzavřené komoře kotle za mírného přetlaku primárního vzduchu, vytvářeného vzduchovým ventilátorem. Proces zplyňování probíhá v zásobníku kotle nad žárobetonovou tryskou. V první fázi dochází k vysušení prchavých složek z paliva. Ve druhé fázi se uvolněné plyny smísí v prostoru trysky s předehřátým sekundárním vzduchem a vytvoří hořící směs plynů. Ve třetí fázi dochází ke shoření plynů ve spalovacím prostoru kotle a spaliny odcházejí do komína. Tento způsob hoření je velmi efektivní a jeho důsledkem je výrazné snížení spotřeby paliva oproti kotlům s klasickým spalováním. [41]

V porovnání s automatickými kotli jsou zplynovací kotle náročné na pravidelnou obsluhu, to však kompenzují jejich nízké pořizovací náklady, které se pro běžný rodinný dům pohybují v rozmezí od 20 do 60 tisíc Kč. Jediným problémem zůstává jejich minimální

tepelný výkon, který je pro dnešní dobře izolované domy velký. To se dá ovšem vyřešit pořízením akumulační nádrže, která bude přebytečné teplo odebírat a akumulovat k pozdějšímu využití. V této kombinaci se zplynovací kotel stává pro rodinný dům dobrou alternativou. K hlavním výrobcům patří Verner, Dakon, Benekov, Vimar, Atmos a Attack. [42]

### 9.3.2 Kotle na pelety pro ústřední vytápění

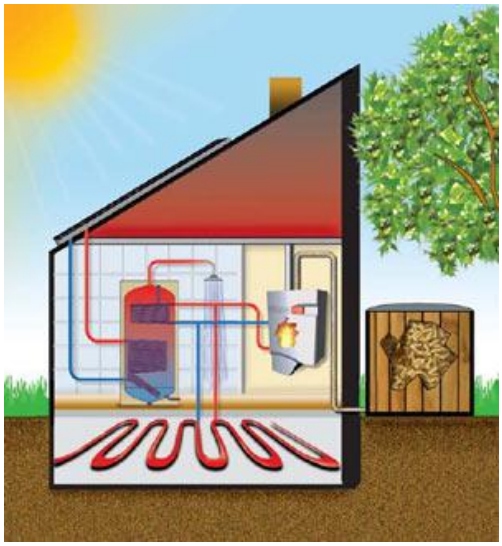
Využití těchto kotlů sestává z vytápění a ohřevu vody pro jeden a více rodinných domů, dílny či kanceláře. Stejně jako u plynových kotlů se spalovací teplo předává topnému mediu, jímž bývá nejčastěji voda. Tepelné výkony jsou podstatně menší než u kotlů na kusové dřevo, liší se provedením a řádově se pohybují od 10 do 30 kW, přičemž je možno je regulovat v rozsahu od 30 do 100 % přísunem paliva a množstvím vháněného vzduchu. Pro nízkoenergetické domy již existují i kotle s výkonem od 2 do 8 kW. Kotlem na pelety lze bez větších obtíží nahradit starý neekologický kotel s nízkou účinností, čímž získáme automatický, ekologicky šetrný zdroj s komfortní obsluhou a účinností až 94 %.[43]

Palivem jsou dřevěné pelety. U některých kotlů je možné spalovat i jiné druhy pelet, jako jsou rostlinné, kůrové, slámové, apod. Možnosti spalování jiných druhů pelet je však dobré vždy probrat přímo s výrobcem kotle, jelikož nesprávná volba paliva může peletový kotel poškodit.[43]

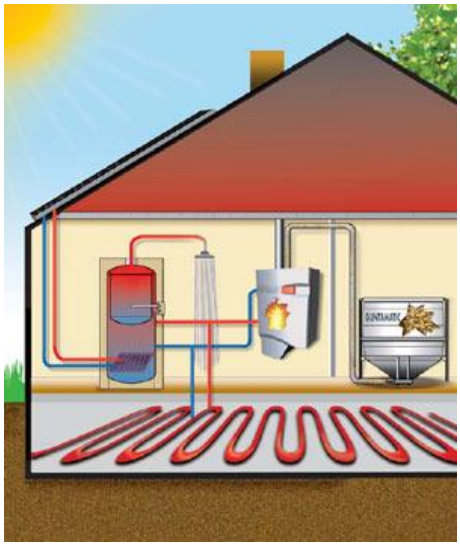
Díky malým rozměrům a značné pevnosti pelet není problémem využívat systém automatického dávkování pelet do hořáku ani u malých topidel. Moderní peletové kotle mají díky přesnému elektronicky řízenému systému dávkování paliva velmi nízké emise, přičemž tepelný výkon je řízen v závislosti na venkovní teplotě a požadované vnitřní teplotě. Nedílnou součástí peletového kotle je hořák, ten může být buď podsuvný nebo hrncový. Kotel se zapaluje automaticky horkým vzduchem a přísun paliva do hořáku je zpravidla také elektronicky řízený. [43]

Kotel se instaluje nejčastěji do sklepa a při instalaci nesmíme opomenout prostor pro skladování paliva. Pelety lze skladovat uvnitř vytápěné budovy v odděleném skladovacím prostoru nebo ve speciálních textilních zásobnících (big bag), přičemž vzdálenost od kotle by při využití pneumatického dopravníku neměla přesáhnout 25 metrů. V Rakousku jsou na domech běžně k vidění plnící otvory, jimiž jsou pelety z dopravních aut transportovány přímo do skladu. Samotné přikládání pelet je řešeno šnekovým nebo pneumatickým dopravníkem. S využitím vhodného zásobníku a s dopravou pelet až do domu, kotel na pelety představuje komfort srovnatelný s použitím elektřiny nebo plynu. [1], [43]

*Obr. 19 Plnící otvor zásobníku na pelety na stěně domu* [45]



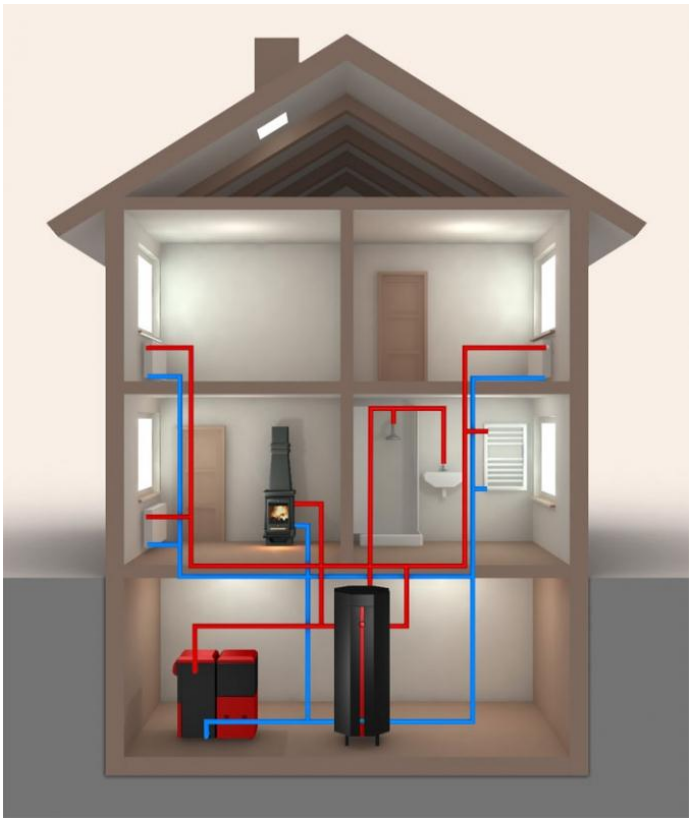
*Obr. 15 Schéma s nástěnným kotlem na pelety, s AKU nádrží s boilerem, solárním zařízením, venkovním boxem na pelety, topným okruhem a rozvodem teplé vody* [44]



*Obr. 16 Schéma s nástěnným kotlem na pelety, s AKU nádrží s boilerem, solárním zařízením, boxem na pelety uvnitř domu, topným okruhem a rozvodem teplé vody* [44]

Připojení kotle k soustavě ústředního vytápění se provádí běžným způsobem a z hlediska úspor provozních nákladů je možné celý systém doplnit o solární konektory.

Ceny automatických kotlů na pelety se pohybují v širokém rozmezí od 50 000 až po 500 000 Kč v závislosti na vlastnostech, vybavenosti, typu a značce kotle. Mezi hlavní výrobce patří Atmos, Benekov, Froling, Viadrus, Verner a jiní. [43]



*Obr. 17 Schéma propojení automatického kotle na biomasu, krbových kamen na dřevo a dřevěné brikety s teplovodním výměníkem a akumulační nádrže pro přípravu TUV a centrálního vytápění v rodinném domě - systém Verner.* [43]

1. Kouřovod
2. Odtahový ventilátor
3. Lambda sonda
4. Spalinové čidlo
5. Čištění výměníku tepla - automatické
6. Čidlo pro ukazatel naplnění
7. Řídicí jednotka s komfortním ovládacím panelem
8. Zásobník
9. Šnekový dopravník pro přísun pelet
10. Turniket
11. Motor s převodovkou
12. Propadávací šachta bezpečná proti zahoření
13. Ventilátor přísunu pelet
14. Horkovzdušný zapalovač
15. Přívod sekundárního vzduchu
16. Motor čištění
17. Samočisticí rošt
18. Přívod primárního vzduchu
19. Popelník
20. Cyklonová spalovací komora
21. Izolace
22. Turbulátory
23. Trubkový výměník tepla
24. Vodní prostor

*Obr. 18 Schéma Automatického kotle na pelety Guntamatic Therm* [44]

### 9.3.3 Kotel na dřevní štěpku

Dřevní štěpka se vyrábí především z odpadu při těžbě dřeva nebo prořezávek stromů kolem cest a v parcích, dalším zdrojem mohou být energetické plantáže. Štěpka se zpravidla zpracovává čerstvá. Její vlhkost je v porovnání s peletami velmi vysoká a cena naopak nízká, často se jedná jen o cenu za dopravu. Z toho důvodu se oplácí spalovat vlhkou štěpku s nižším ziskem tepla, než ji dosušovat. [1]

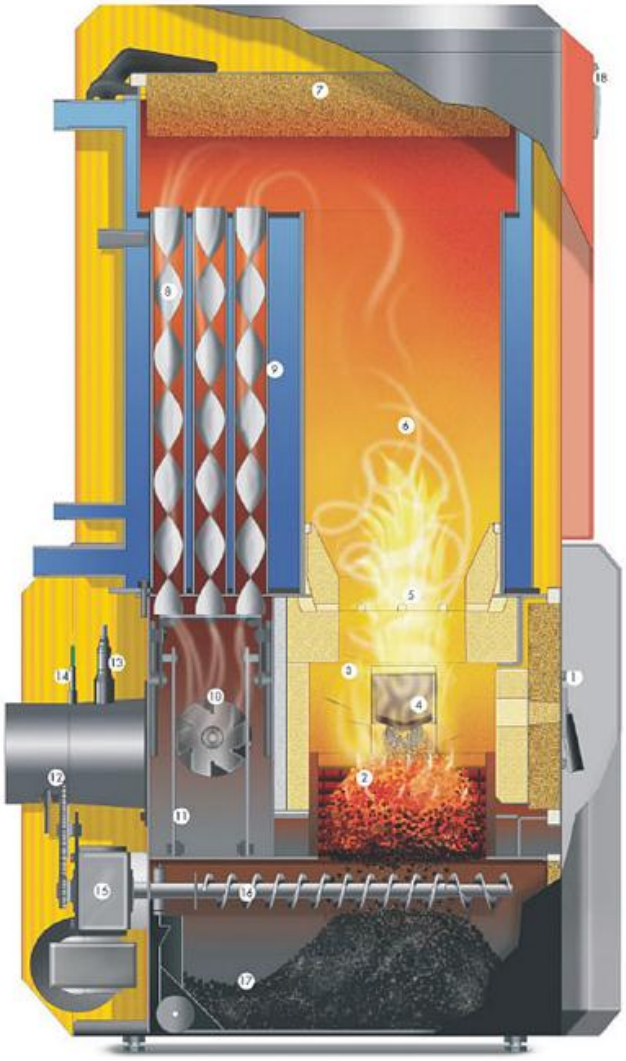
Štěpka se spaluje převážně ve větších kotlích pro ústřední vytápění a ohřev vody větších obytných budov, často zásobuje teplem například zemědělské farmy nebo i celé obce. Existují však i kotle nejnižších výkonů, které jsou vhodné pro vytápění a ohřev vody v rodinném domě. Tepelné výkony začínají na 15 kW, přičemž je možno je automaticky regulovat. [46]

Kotle ke spalování štěpky umožňují ekologicky spalovat i méně kvalitní palivo, zpravidla je možné spalovat i piliny, avšak existují i kotle určené přímo ke spalování pilin. Typické jsou složité řídící systémy, jež zajišťují dobré spalovací vlastnosti a nízké emise. Tepelný výkon je plynule regulovatelný přívodem vzduchu a paliva v závislosti na venkovní teplotě a teplotě požadované uvnitř objektu. Účinnost spalování se pohybuje mezi 80 a 90 % v závislosti na vytížení kotle a kvalitě štěpky. [46]

Nedílnou součástí kotle pro spalování štěpky je hořák a systém uchycení roštu. Kotle vhodné pro vytápění rodinného domu používají hořáky horizontální, s podsuvným plněním nebo hořáky retortové. [46]

Dřevní štěpku v malých objemech si lze při použití vhodného drtiče připravit sám, při potřebě většího množství je vhodné obrátit se na distributora paliv. Pro její skladování je v případě rodinného domu třeba počítat s prostorem minimálně pro 50 $m^3$
štěpky. Ve skladu je nezbytné provětrávání, jelikož štěpka je z důvodu vysokého obsahu body náchylná k plesnivění a zapařování. [46]

Ceny automatických kotlů na dřevní štěpku menšího výkonu včetně veškerého příslušenství (regulace, podavače a napojení na komín) začínají na 80 tis. Kč a v závislosti na vlastnostech, vybavení a typu kotlů se mohou vyšplhat až na hranici 700 tis. Kč. Vyznačují se sice vysokými investičními náklady, ty jsou však kompenzovány nejlevnějším palivem na bázi biomasy na trhu. [46]



1. Dvířka do ohniště
2. Stupňový rošt- primární vzduch
3. Spalovací komora
4. Ukazatel napětí
5. Vířivá tryska- sekundární vzduch
6. Reakční trubka
7. Čistící víko
8. Vířidla
9. Trubkový výměník tepla
10. Odtahový ventilátor
11. Čištění výměníku tepla
12. Kouřovod
13. Sonda lambda
14. Kouřové čidlo
15. Pohon čištění resp. Roštu
16. Popelníkový šnekový dopravník
17. Pojízdný popelník
18. Regulace pohonu menu

*Obr. 20 Automatický kotel na dřevní štěpku Guntamatic Powerchip* [46]

# 10. Návrh vytápění pro modelový dům

Nabídka zdrojů pro vytápění rodinných domů je v současnosti poměrně široká. Klasické, léty prověřené způsoby vytápění doplnily moderní ekologické varianty z obnovitelných zdrojů a nalézt nejvhodnějšího řešení není jednoduché. Volba systému vytápění je velmi komplexní záležitostí a k tomu, abychom byli schopni najít nejoptimálnější řešení, je zapotřebí o objektu nastřádat co nejvíce informací. K těm nejdůležitějším informacím patří velikost objektu, jeho lokalita a funkce (rekreační objekt, plnohodnotně využívaný dům), dostupnost paliva a také cena, jakou jsme ochotní do zařízení investovat.

Hlavním podkladem při návrhu vytápění jsou tepelné ztráty objektu. Ty jsou obsaženy v každém stavebním projektu a určují, jaký výkon by měl kotel mít. Zvolit optimální výkon je velmi důležité, jelikož v případě předimenzování, by kotel nemohl pracovat v optimálním režimu, klesla by účinnost spalování a docházelo by k jeho dehtování. V opačném případě, při poddimenzování kotle, by byl výkon nedostačující, což by mělo za následek nízké teploty a snížený komfort při užívání objektu.

## 10.1 Charakteristika modelového domu

Modelový dům se nachází v Jihomoravském kraji ve městě Mikulov v klimatické oblasti Velké Pavlovice a leží v nadmořské výšce 159 metrů. Stavba domu byla dokončena v roce 2011 a o vytápění se zde stará tepelné čerpadlo vzduch/voda ve vnitřním provedení STIEBEL ELTRON WPL 10 s tepelným výkonem 6,7 kW. O ohřev vody potom boiler SBB401WP SOL. Jako záložní zdroj vytápění byla instalována krbová vložka, ta však plní pouze estetickou funkci, k vytápění objektu zatím nebyla zapotřebí. Rodinný dům je trvale obýván 4 osobami a jeho vytápěná plocha činí 250 $m^2$.

*Obr. 21 Modelový dům*

## 10.2 Výpočet tepelných ztrát

Jelikož se jedná o nově postavený dům mých rodičů, mám k dispozici veškerou dokumentaci ohledně jeho stavby, včetně odborného výpočtu tepelných ztrát, které podle pana Slováčka ze společnosti Alphaplan-PS činí 8,1 kW. Z toho důvodu provedu pouze kontrolní zjednodušený výpočet pomocí online kalkulačky z programu Zelená úsporám.

Tento výpočet používá tzv. obálkovou metodu, která uvažuje objekt jako jeden prostor a výchozí informací pro jeho realizaci je jeho zeměpisná poloha, kterou popisuje následující tabulka.

| | |
|---|---|
| Město / obec / lokalita | Břeclav |
| Venkovní návrhová teplota v zimním období $\Theta_e$ | -13 °C |
| Délka otopného období *d* | 215 |
| Průměrná venkovní teplota v otopném období $\Theta_{em}$ | 4,1 °C |

*Tab. 7 Vstupní hodnoty v závislosti na poloze objektu* [47]

V další části vstupují do výpočtu charakteristiky objektu, které jsou popsány v tabulce č. 8. Při zjišťování solárních tepelných zisků jsem pro zjednodušení použil přibližný výpočet dle vyhlášky č. 291/2001 Sb. Tabulka č. 9 dále ukazuje, kolik tepla uniká přes jednotlivé konstrukční prvky.

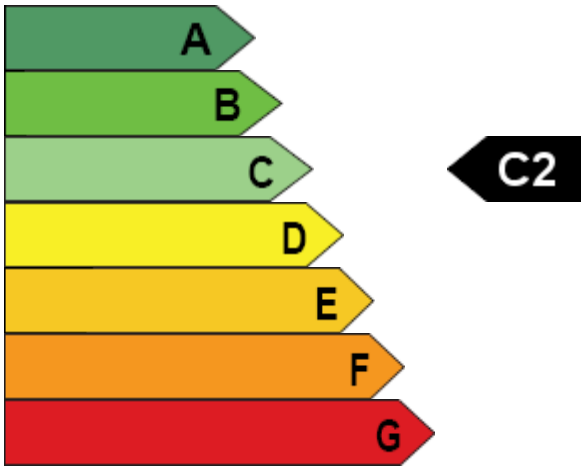
| | |
|---|---|
| Převažující vnitřní teplota v otopném období $\Theta_{im}$ | 22 °C |
| Objem budovy *V* | 560 $m^3$ |
| Celková plocha *A* | 328,7 $m^2$ |
| Celková podlahová plocha $A_c$ | 250 $m^2$ |
| Objemový faktor tvaru budovy *A / V* | 0,59 $m^{-1}$ |
| Trvalý tepelný zisk *H+* | 380 W |
| Solární tepelné zisky $H_s$+ | 1512 kWh / rok |

*Tab. 8 Charakteristiky objektu* [47]

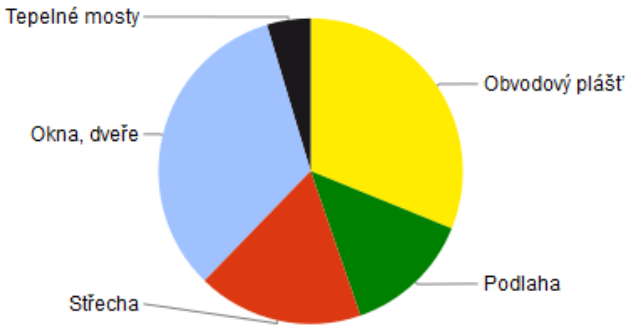
| Konstrukce | Součinitel prostupu tepla Ui [W/m2K] | Plocha Ai [m2] | Činitel teplotní redukce bi [-] | Měrná ztráta prostupem tepla HTi = Ai . Ui. Bi [W/K] |
|---|---|---|---|---|
| Stěna | 0,4 | *116,2* | 1 | 46,5 |
| Podlaha na terénu | 0,43 | 117,8 | 0,4 | *20,3* |
| Střecha | 0,29 | 90,5 | 1 | 26,2 |
| Okna | *2,35* | 20 | 1 | 47 |
| Vstupní dveře | 1,2 | 2 | 1 | 2,4 |

*Tab. 9 Ochlazované konstrukce objektu / zateplení, okna* [47]

Do výpočtu jsou zahrnuty i lineární tepelné mosty a intenzita větrání. Zvolil jsem optimalizované řešení, tedy konstrukci téměř bez tepelných mostů a intenzitu větrání 0.4 $h^{-1}$, jelikož se jedná o novostavbu.




*Obr. 22 Energetický štítek obálky budovy* [47]

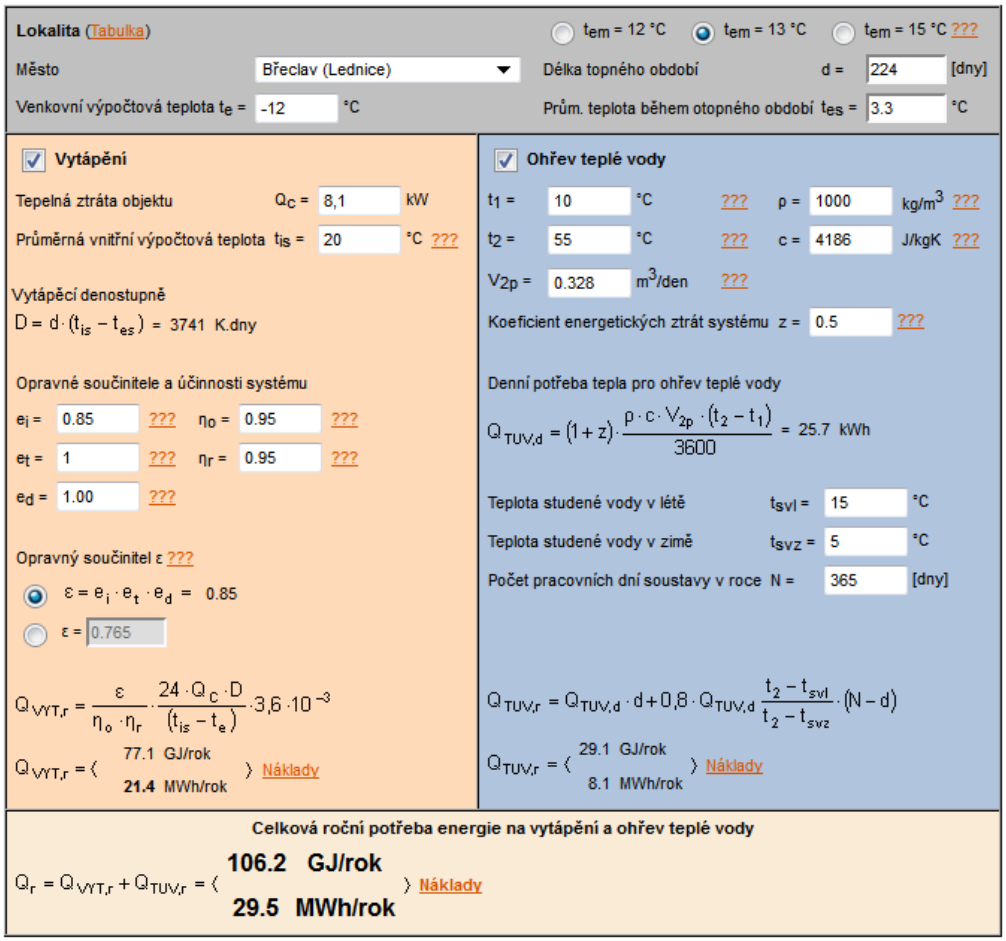



*Obr. 23 Tepelné ztráty jednotlivými konstrukcemi* [47]

| typ konstrukce | tepelná ztráta [W] |
|---|---|
| Obvodový plášť | 1627 |
| Podlaha | 709 |
| Střecha | 919 |
| Okna, dveře | 1729 |
| Tepelné mosty | 243 |
| Větrání | 2831 |
| celkem | 8058 |

*Tab. 10 Tepelné ztráty* [47]

Celková tepelná ztráta objektu vypočtená pomocí online kalkulačky z programu Zelená úsporám činí 8,06 kW. Tento výsledek se tedy velmi blíží výpočtu pana Slováčka. Program dále vypočetl i měrnou roční potřebu energie na vytápění, která vyšla 62,8 kWh/$m^2$. Tato hodnota je po přepočtení přibližně rovna hodnotě $Q_{VYT,r}$ (roční potřeba energie na vytápění). Jak lze vidět v následující tabulce, celková roční potřeba energie na vytápění a ohřev teplé vody činí 29,5 MWh/rok.




*Obr. 24 Celková roční potřeba energie na vytápění a ohřev teplé vody* [48]

## 10.3 Porovnání nákladů na vytápění různými zdroji tepla

Jelikož se v našem modelovém domě o vytápění a ohřev užitkové vody stará tepelné čerpadlo, náklady na jeho provoz jsou nám známy. Tudíž provedu výpočet nákladů na vytápění pro automatický kotel na pelety, zplynovací kotel na dřevo a prohořívací kotel na dřevo a tyto tři varianty poté porovnám.

### 10.3.1 Tepelné čerpadlo

Jedná se o kompaktní tepelné čerpadlo STIEBEL ELTRON WPL 10 (vzduch- voda) ve vnitřním provedení s tepelným výkonem 6,7 kW. Celková cena strojovny s čerpadlem a zásobníkem TUV na 300 l i včetně veškeré instalace činí 271913 Kč. Do ceny nezahrnuji podlahové vytápění a jeho instalaci. Celkové roční náklady na vytápění domu vycházejí při celodenním provozu čerpadla na 18108 Kč.

$P_{TČ} = 271913\ Kč$
$N_{TČ} = 18108\ Kč$

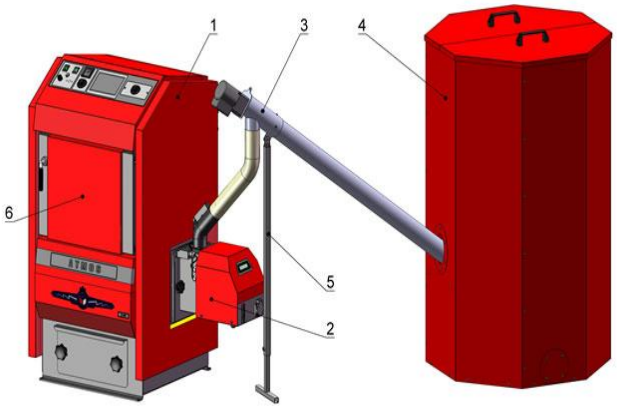
$P_{TČ}$ - celková pořizovací cena tepelného čerpadla [Kč]
$N_{TČ}$ - celkové roční náklady na provoz tepelného čerpadla [Kč]

### 10.3.2 Automatický kotel na pelety

*Obr 25. Atmos D14P* [49]

Jako další alternativu vytápění jsem zvolil kotel na pelety D14P od předního českého výrobce Atmos s tepelným výkonem 4 až 14 kW. Kotel je konstruován pro dokonalé spalování pelet, tak že hořák si plně automaticky pomocí šnekového dopravníku odebírá pelety ze zásobníku. Provoz hořáku je též zcela automatizován, vznikne-li potřeba topit, dopravník nasype pelety do hubice hořáku a sám je zapálí spirálou. Po rozhoření najede hořák na zvolený výkon, ve kterém setrvá až do doby, kdy je dům vytopen. Čištění spalovacího prostoru a vybírání popela provádíme jednou za 1 -30 dní a to podle velikosti zásobníku a kvality pelet. Pro zvýšení komfortu údržby je možné kotel vybavit automatickým odpopelňovacím systémem. Nespornou výhodou tohoto kotle je i to, že v případě náhrady hořáku víkem, je možné topit dřevem. [49]

Účinnost kotle udaná výrobcem se pohybuje od 90 do 93 %, a jelikož v praxi nebývá předepsané účinnosti vždy dosáhnuto, pro výpočet tedy zvolíme účinnost 90 %. Účinnost dále závisí na kvalitě spalovaného paliva, jako vhodné palivo považujeme dřevěné pelety o průměru 6 až 8 mm. Dalším důležitým faktorem je výhřevnost pelet, která činí 17 MJ / kg. Ve výpočtu budeme uvažovat cenu pelet 5200 Kč / tunu. Pořizovací cena celé soustavy včetně hořáku A 25, nádrže na pelety 500 l, šnekového dopravníku DA2500 a 200 l akumulační nádrže pro ohřev TUV s izolací je 95380 Kč včetně DPH. [49], [50]




1 kotel Atmos
2 hořák na pelety ATMOS A25
3 dopravník ATMOS DA1500 - 1,5m
4 zásobník na pelety (250,500 a 1000 l)
5 noha dopravníku
6 dvířka

*Obr 26. Příklad instalace kotelny na pelety* [49]

$P_{NKP} = 95380\ Kč$

$P_{NKP}$ - celková pořizovací cena kotle na pelety [Kč]

- **Množství spotřebovaného paliva za rok:**

$$M_{PEL} = \frac{Q_{CELK}}{\eta \,.\, Q_{PEL}} = \frac{106200}{0{,}9 \cdot 17} = 6941\ kg$$

$Q_{CELK}$ - celková roční potřeba energie [MJ]
$M_{PEL}$ - množství pelet, potřebné na jeden rok [kg]
$Q_{PEL}$ - výhřevnost pelet [MJ / kg]
$\eta$ - účinnost kotle [-]

- **Cena spotřebovaných pelet za rok:**

$$N_{PEL} = M_{PEL} \,.\, C_{PEL} = 6941 \cdot 5{,}2 = 36093\ Kč$$

$N_{PEL}$ - celkové roční náklady na provoz kotle na pelety [Kč]
$C_{PEL}$ - náklady na 1 kg pelet [kg] [50]

- **Doba návratnosti:**

Jelikož stávající náklady na celoroční provoz tepelného čerpadla jsou nižší než celkové roční náklady na provoz kotle na pelety, nemá smysl počítat návratnost porovnáním s tepelným čerpadlem, jelikož ušetřená roční hodnota při náhradě za tepelné čerpadlo se dostává do záporných hodnot.

$N_{TČ} < N_{PEL} \dashrightarrow$ *nemá smysl*

$$U_{PEL} = N_{TČ} - N_{PEL} = 18108 - 36093 = -17985\ Kč$$

$U_{PEL}$ - ušetřená roční hodnota při náhradě tepelného čerpadla kotlem na pelety [Kč]

$$T_N = \frac{P_{NKP}}{N_{TČ} - N_{PEL}} = \frac{P_{NKP}}{U_{PEL}} = \frac{95380}{18108 - 36093} = \frac{95380}{-17985} \dashrightarrow \text{nenávratné}$$

$T_N$ - doba návratnosti při záměně za tepelné čerpadlo [roky]

### 10.3.3 Zplynovací kotel na dřevo

Jako další variantu vytápění modelového domu jsem zvolil zplynovací kotel na kusové dřevo V140 EXTRA od firmy Verner. Kotel disponuje účinností nad 90 % v celém rozsahu výkonu (7-14 kW), což oceníme v období, kdy není zapotřebí jmenovitého výkonu kotle, tedy po většinu topného období. Kotel je vybaven inteligentní elektronickou regulací, která řídí potřebný přívod vzduchu do spalovací komory a v kotli udržuje tzv. stáložárnou vrstvu. Díky této technologii vydrží kotel bez obsluhy a bez přikládání až 15 hodin, takže po příchodu domu z práce nemusíme znovu zatápět, ale stačí pouze přiložit. Další předností kotle je inteligentní elektronická regulace se speciálním systémem optimalizace spalování prostřednictvím spalinového čidla. Moderní konstrukce kotle s dokonale řešenou tepelnou izolací šetří palivo i čas obsluhy. Nespornou výhodou tohoto kotle je též poskytovaná záruka

na 5 let, která pouze podtrhuje dlouhou životnost těchto kotlů. Stejně jako dřevo se dají s vysokou účinností spalovat i dřevěné brikety, štěpka či piliny. Pořizovací náklady kotle, včetně akumulační nádrže AN 500, regulátoru komínového tahu HP 160 a vychlazovací smyčky jsou 99702 Kč (včetně DPH). Pro výpočet budeme uvažovat výhřevnost dřeva 14,6 MJ/kg. [51], [52], [50]

*Obr 27. Kotel Verner V140 EXTRA* [51]

$P_{NKD} = 99702\ Kč$

$P_{NKD}$ - celková pořizovací cena zplynovacího kotle na dřevo [Kč]

- **Množství spotřebovaného paliva za rok:**

$$M_{DŘ} = \frac{Q_{CELK}}{\eta \,.\, Q_{DŘ}} = \frac{106200}{0{,}91 \cdot 14{,}6} = 7993\ kg$$

$Q_{CELK}$ - celková roční potřeba energie [MJ]
$M_{DŘ}$ - množství dřeva, potřebné na jeden rok [kg]
$Q_{DŘ}$ - výhřevnost dřeva [MJ / kg]
$\eta$ - účinnost kotle [-]

- **Cena spotřebovaného dřeva za rok:**

$N_{DŘ} = M_{DŘ} \,.\, C_{DŘ} = 7993 \cdot 3 = 23979\ Kč$

$N_{DŘ}$ - celkové roční náklady na provoz zplynovacího kotle na dřevo [Kč]
$C_{DŘ}$ - náklady na 1 kg dřeva (uvažujeme kupované dřevo) [kg] [50]

- **Doba návratnosti:**

Stávající náklady na celoroční provoz tepelného čerpadla jsou nižší než celkové roční náklady na provoz zplynovacího kotle na dřevo, ušetřená roční hodnota při náhradě za tepelné čerpadlo se tedy opět dostává do záporných hodnot a výpočet nemá smysl.

$N_{TČ} < N_{DŘ} \dashrightarrow$ *nemá smysl*

$U_{DŘ} = N_{TČ} - N_{DŘ} = 18108 - 23979 = -5871\ Kč$

$U_{DŘ}$ - ušetřená roční hodnota při náhradě tepelného čerpadla zplynovacím kotlem na dřevo [Kč]

$$T_N = \frac{P_{NKD}}{U_{DŘ}} = \frac{99702}{18108 - 23979} = \frac{99702}{-5871} \dashrightarrow \text{nenávratné}$$

### 10.3.4 Prohořívací kotel na dřevo

Jako poslední variantu vytápění modelového domu jsem zvolil jednoduchý prohořívací litinový kotel Viadrus Hercules U26. Jedná se o univerzální tříčlánkový teplovodní kotel na pevná paliva s tepelným výkonem 8 kW, který při spalování dřeva oplývá účinností 75 %. V kotli se dá spalovat též černé uhlí nebo koks. Co do komfortnosti, je tento kotel v porovnání s předchozími nejslabší variantou. Ačkoli se jedná o kotel s manuální obsluhou, jeho údržba je velmi jednoduchá, nicméně nesrovnatelná s automatickými kotli. Mezi jeho hlavní přednosti patří dlouhá životnost litinového výměníku, široký rozsah výkonu dle počtu článků, možnost spalování dřeva o vyšší vlhkosti, záruka na kotlové těleso 5 let, snadná montáž pláště kotle při instalaci a zvětšený přikládací prostor u všech vyráběných verzí. Pořizovací náklady tohoto kotle činí 20800 Kč včetně DPH. Pro výpočet budeme uvažovat výhřevnost dřeva 14,6 MJ/kg. [53]

*Obr 28. Viadrus Hercules U26* [53]

$P_{NKPD} = 20800\ Kč$

$P_{NKPD}$ - celková pořizovací cena prohořívacího kotle na dřevo [Kč]

- **Množství spotřebovaného paliva za rok:**

$$M_{DŘ} = \frac{Q_{CELK}}{\eta \,.\, Q_{DŘ}} = \frac{106200}{0{,}75 \cdot 14{,}6} = 9699\ kg$$

$Q_{CELK}$ - celková roční potřeba energie [MJ]
$M_{DŘ}$ - množství dřeva, potřebné na jeden rok [kg]
$Q_{DŘ}$ - výhřevnost dřeva [MJ / kg]
$\eta$ - účinnost kotle [-]

- **Cena spotřebovaného dřeva za rok:**

$N_{PDŘ} = M_{DŘ} \,.\, C_{DŘ} = 9699 \cdot 3 = 29095\ Kč$

$N_{PDŘ}$ - celkové roční náklady na provoz prohořívacího kotle na dřevo [Kč]
$C_{DŘ}$ - náklady na 1 kg dřeva (uvažujeme kupované dřevo) [kg] [50]

- **Doba návratnosti:**

  Stávající náklady na celoroční provoz tepelného čerpadla jsou nižší než celkové roční náklady na provoz prohořívacího kotle na dřevo, ušetřená roční hodnota při náhradě za tepelné čerpadlo se tedy opět dostává do záporných hodnot a výpočet nemá smysl.

  $N_{TČ} < N_{PDŘ}$ ⇢ *nemá smysl*

  $U_{PDŘ} = N_{TČ} - N_{PDŘ} = 18108 - 29095 = -10987$ *Kč*

  $U_{PDŘ}$ - ušetřená roční hodnota při náhradě tepelného čerpadla prohořívacím kotlem na dřevo [Kč]

  $T_N = \frac{P_{NKPD}}{U_{PDŘ}} = \frac{20800}{-10987}$ ⇢ *nenávratné*

### 10.3.5 Přehledné srovnání navrhovaných variant vytápění

Následující tabulka shrnuje 4 uvedené možnosti vytápění modelového domu. Z hlediska provozních nákladů na topné období se jeví jako nejlepší varianta vytápění tepelným čerpadlem, jeho nízké náklady jsou však kompenzovány vysokou pořizovací cenou. Ačkoliv kotel na pelety i zplynovací kotel na dřevo oplývají stejnou účinností, je levnější variantou kotel na dřevo. To je dáno vysokou pořizovací cenou pelet, z druhého pohledu je zase kotel na pelety vysoce komfortním topidlem. Z hlediska vstupních pořizovacích nákladů je zase jasným favoritem jednoduchý prohořívací kotel, který však vyžaduje pravidelnou údržbu a ruční přikládání.

Doba návratnosti při náhradě tepelného čerpadla vychází pro všechny 3 topidla nenávratně, tyto výsledky platí pro tuto konkrétní variantu, kde se nezohledňuje investice do tepelného čerpadla, jelikož už je instalováno. Proto jsem tabulku pro přehlednost doplnil o dobu návratnosti ve srovnání s plynem. Pro výpočet jsem uvažoval, že je dům vytápěn běžným kotlem na plyn s účinností 89% a zásobován zemním plynem od společnosti Jihomoravská plynárenská, a.s. Dle zjednodušeného výpočtu na portálu TZB-info jsem uvedl, že průměrná roční hodnota za vytápění plynem včetně paušálních poplatků a jednoroční servisní kontroly činí 41530 Kč včetně DPH. [50]

| | Tepelné čerpadlo STIEBEL ELTRON | Kotel na pelety Atmos D14P | Zplynovací kotel Verner V140 EXTRA | Prohořívací kotel Viadrus Hercules U26 |
|---|---|---|---|---|
| Pořizovací náklady [Kč] | 271913 | 95380 | 99702 | 20800 |
| Cena spotřebovaného paliva za rok [Kč] | 18108 | 36093 | 23979 | 29095 |
| Doba návratnosti při náhradě za tepelné čerpadlo [roky] | | nenávratné | nenávratné | nenávratné |
| Doba návratnosti při náhradě za plynový kotel [roky] | 11,6 | 17,6 | 5,7 | 1,7 |

*Tab. 11 Srovnání pořizovacích a investičních nákladů*

Pro přehlednost přidávám modelový výpočet doby návratnosti při záměně plynového kotle za prohořívací kotel na dřevo.

$$U_{PDŘ} = N_P - N_{PDŘ} = 41530 - 29095 = 12435\ Kč$$

$$T_N = \frac{P_{NKPD}}{U_{PDŘ}} = \frac{20800}{12435} = 1{,}7 \text{ let}$$

$N_P$ - náklady na roční provoz kotle na plyn [Kč]
$N_{PDŘ}$ - celkové roční náklady na provoz prohořívacího kotle na dřevo [Kč]
$P_{NKPD}$ - celková pořizovací cena prohořívacího kotle na dřevo [Kč]
$T_N$ - doba návratnosti při výměně plynového kotle za prohořívací kotel [roky]
$U_{PDŘ}$ - ušetřená roční hodnota při náhradě plynového kotle za prohořívací kotel [Kč]

# 11. Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo pojednat o biomase jako o palivu na vytápění a porovnat jednotlivé možnosti vytápění konkrétního rodinného domu.

Biomasa je velmi cenný, obnovitelný zdroj energie a její celosvětová produkce se podle odborníků pohybuje okolo 100 miliard tun ročně – její energetický potenciál je tedy zhruba pětkrát větší, než uváděná roční spotřeba fosilních paliv. Biomasu získáváme buď záměrně, jako výsledek výrobní činnosti nebo sekundárně, jako využití zemědělského či lesního odpadu. Možná nejstarším a doposud nejrozšířenějším způsobem je využití biomasy jako potravy, dalšími možnostmi je využití jako zdroj tepla, zdroj energie pro výrobu elektřiny, zdroj energie pro pohon dopravních prostředků či jako zdroj energie pro průmysl. Využití biomasy je tedy velmi pestré, ale to co se s vývojem technologie mění je množství energie, které z ní jsme schopni uvolnit a ekologický vliv spalování vůči životnímu prostředí. Mezi hlavní důvody, díky kterým je dnes biomasa tolik diskutovaným tématem patří to, že se jedná o obnovitelný zdroj energie, má menší negativní dopady na životní prostředí, její zdroje nejsou lokálně omezeny a její řízená produkce přispívá k vytváření krajiny a péči o ni.

V současné době prezentuje mnoho zdrojů pěstování rychlerostoucích dřevin v ČR jako skvělou alternativu využití půd, nevhodných pro pěstování obilnin a jiných zemědělských kultur. Žiji na Jižní Moravě, kde je půda odjakživa využívána k zemědělským účelům a má osobní zkušenost se s obecně uváděnými informacemi rozchází. Řada farmářů a zemědělců přechází na pěstování rychlerostoucích dřevin, a to nejen na půdách méně kvalitních ale i tam kde se donedávna pěstovala zelenina či obiloviny. Důvodů je několik. Jednak silná konkurence z ostatních států Evropské unie a za druhé špatná situace v zemědělství vůbec. Takže chápu, že pro řadu z nich se jeví pěstování rychlerostoucích dřevin východiskem z tíživé situace. Ovšem s přihlédnutím na neustále se zvyšující objem populace a s tím související nároky na spotřebu potravin teprve budoucnost ukáže, zdali tohle je krok správným směrem.

Z důvodu vzrůstajících cen energií a fosilních paliv mnoho lidí začíná přemýšlet ekonomicky a již při projektování domu se přiklánějí k ekologickým alternativám vytápění. Biomasa jako jedna z možných ekologických alternativ se vyskytuje v mnoha formách. Od klasického kusového dřeva, přes dřevní štěpku, pelety či brikety. Pořizovací ceny moderních kotlů určených ke spalování biomasy jsou však poměrně vysoké, a my můžeme pouze doufat, že si vláda vezme příklad od našich jižních sousedů z Rakouska a rozběhnou se opět podpůrné programy na ekologické vytápění. Na trhu lze vybírat z velkého množství kotlů na biomasu, zaručujících účinné spalovaní a nízkou produkci škodlivých látek. Ke zvolení té správné varianty vytápění je však třeba nashromáždit co největší množství informací o konkrétním objektu. K těm stěžejním patří tepelné ztráty, které jsem vypočetl pomocí online kalkulačky z programu Zelená úsporám a které činí 8,06 kW. Mezi další důležité faktory potom patří velikost a funkce objektu a jeho lokalita.

Pro modelový dům vytápěný tepelným čerpadlem jsem navrhl vytápění pomocí automatického kotle na pelety Atmos D14P, jako další alternativu potom zplynovací kotel na dřevo Verner V140 EXTRA a nakonec jednoduchý prohořívací kotel na dřevo Viadrus Hercules U26 tyto 3 varianty poté porovnal. Jednotlivé návrhy obsahují množství spotřebovaného paliva za rok pro dané spalovací zařízení, ušetřenou roční hodnotu při jejich instalaci a dobu návratnosti při záměně za tepelné čerpadlo. Jelikož stávající náklady na celoroční provoz tepelného čerpadla jsou nižší než celkové roční náklady na provoz všech tří zmíněných kotlů, vychází doba návratnosti nenávratně. Tyto výsledky platí pro tuto konkrétní variantu, kde nezohledňujeme investice do tepelného čerpadla, jelikož už je instalováno. Proto jsem poslední tabulku obohatil o dobu návratnosti vztaženou k záměně za plynový kotel. Ve výpočtu jsem uvažoval, že dům je vytápěn běžným kotlem na zemní plyn, jehož roční náklady

již zmíněné alternativy převyšují. Výpočty je nutno brát jako orientační (zjednodušené, ideální případy), pro náš účel jsou však dostačující. Při záměně plynového kotle za kotel na pelety vychází doba návratnosti 17,5 let, pro zplynovací kotel na dřevo 5,7 let a pro prohořívací kotel na dřevo pouhých 1,7 let. Nejvyšší roční náklady vykazuje kotel na pelety, což je dáno vysokou pořizovací cenou pelet, způsobenou jejich nákladnou výrobou. Ze strany pořizovacích nákladů je zase jasným favoritem jednoduchý prohořívací kotel, který však vyžaduje ruční přikládání a údržbu.

To, pro jaký způsob vytápění se uživatel rozhodne, závisí především na jeho finančních možnostech. Z hlediska komfortu užívání a ročních nákladů se jako nejlepší varianta jeví tepelné čerpadlo, na druhou stranu se jedná o variantu s nejvyššími vstupními náklady. Dalším důležitým faktem je, že používat jeden zdroj energie nemusí být vždy tou nejekonomičtější variantou. Velmi zajímavou alternativou se mi jeví kombinace solárních panelů pro ohřev teplé vody (využití sluneční energie) s dražším zdrojem, který je k dispozici neustále. Vhodná kombinace nám pak často umožní využít dobré vlastnosti systému a eliminovat ty méně výhodné.

# 12. Seznam použitých zdrojů

[1] MURTINGER K, Beranovský J. *Energie z biomasy*. 2. Brno: ERA group spol. s r.o., 2008. ISBN 978-80-7366-115-1.

[2] JANDAČKA J, Malcho M, Mikulík M. *Biomasa ako zdroj energie*: *potenciál, druhy, bilancia a vlastnosti palív*. 1. Žilina: Juraj Štefuň-GEORG, 2007. ISBN 978-80-969161-3-9.

[3] Fotosyntéza. ZEMÁNEK R. *Fotovoltaika* [online]. 2009 [cit. 2012-01-30]. Dostupné z: http://fotovoltaika.falconis.cz/slunce/fotosynteza.php

[4] Forest Gamp: biomasa. [online]. [cit. 2012-01-30]. Dostupné z: http://forestgamp.eu/biomasa.html

[5] Biomasa to je masa! 1. díl: Vývoj fytoenergetiky. [online]. [cit. 2012-01-30]. Dostupné z: http://nadrevo.blogspot.com/2010/03/biomasa-to-je-masa-1dil.html

[6] Elektřina z biomasy. [online]. [cit. 2012-01-30]. Dostupné z: http://www.intechenergo.sk/sekcie/energia-z-biomasy/elektrina-z-biomasy

[7] Ipofe: Výhody využití biomasy. *IPOFE* [online]. 2007 [cit. 2012-01-30]. Dostupné z: http://www.ipofe.sk/index.php?cmd=clanky&lang=svk&kateg=47- &k _id=107&id=4

[8] Ipofe: Nevýhody využití biomasy. *IPOFE* [online]. 2007 [cit. 2012-01-30]. Dostupné z: http://www.ipofe.sk/index.php?cmd=clanky&lang=svk&kateg =47&k_id=107&id=4

[9] VÁŇA, Jaroslav. Biomasa pro energii a technické využití. [online]. [cit. 2012-01-31]. Dostupné z: http://biom.cz/cz/odborne-clanky/biomasa-pro-energii-a-technicke-vyuziti

[10] Rozdělení druhů biomasy. In: [online]. 2009 [cit. 2012-01-31]. Dostupné z: http://www.agriwatt.cz/biomasa/

[11] Zemědělská biomasa. In: [online]. 2010 [cit. 2012-01-31]. Dostupné z: http://www.biomass.cz/lesni-biomasa/

[12] Forestportal: Lesná biomasa (dendromasa). NÁRODNÉ LESNICKÉ CENTRUM ZVOLEN. [online]. 2008 [cit. 2012-02-15]. Dostupné z: http://www.forestportal.sk/forestportal/les_financie/biomasa/lesna_biomasa/lesna_biomasa.html

[13] Etext: Formy využití biomasy k energetickým účelům. [online]. [cit. 2012-03-06]. Dostupné z: http://etext.czu.cz/php/skripta/kapitola.php?titul_key=85&idkapitola=5.

[14] PASTOREK, Zdeněk; KÁRA, Jaroslav; JEVIČ, Petr. *Biomasa : obnovitelný zdroj energie*. Praha : FCC PUBLIC, s.r.o., 2001. 288 s. ISBN 80-86534-06-5.

[15] Coach-bioenergy: sušení. [online]. [cit. 2012-03-06]. Dostupné z: http://www.coach-bioenergy.eu/cs/cbesluby/technologies-ans-nastroje/technologies/232-sueni.html

[16] Topení dřevem: Dřevo a jeho spalování. MURTINGER, Karel. [online]. [cit. 2012-03-06]. Dostupné z: http://www.topenidrevem.cz/index.php?page=clanek&rid=5359ebbcaa94bf171c951f2614090d88&cid=4524cab599676

[17] Wikipedia: výhřevnost. [online]. [cit. 2012-03-07]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/V%C3%BDh%C5%99evnost

[18] Biomasa-info: výhřevnost různých druhů biomasy. [online]. [cit. 2012-03-07]. Dostupné z: http://www.biomasa-info.cz/cs/doc/prirucka1.pdf

[19] Wikipedie: spalování. [online]. [cit. 2012-03-14]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Spalov%C3%A1n%C3%AD

[20] Biom: Mechanismus a podmínky dokonalého spalování biomasy. TOMAN, Zdeněk. *Biom.cz* [online]. 2010 [cit. 2012-03-14]. Dostupné z: http://biom.cz/cz/odborne-clanky/mechanismus-a-podminky-dokonaleho-spalovani-biomasy

[21] Lépebydlet: pyrolýza. [online]. 3.5.2011 [cit. 2012-03-15]. Dostupné z: http://www.lepebydlet.cz/stavebnictvi/pyrolyza-obrozeny-zpusob-spalovani-dreva/
[22] HOSTOMSKÝ, Pavel. Hostomsky: kotle Verner. [online]. [cit. 2012-03-15]. Dostupné z: http://www.hostomsky.cz/kotver/kotver.htm
[23] Energeticky: topení biomasu. [online]. 2008 [cit. 2012-03-15]. Dostupné z: http://www.energeticky.cz/88-topeni-biomasou.html
[24] Tzb-info: kusové dřevo. NOVÁK, Libor. [online]. 2008 [cit. 2012-03-16]. Dostupné z: http://www.tzb-info.cz/4844-topeni-kusovym-drevem-je-nejlevnejsi-ale
[25] Nalezeno: Dřevo na topení zdražilo o 5 %. Přehled cen 2011/2012. [online]. [cit. 2012-03-16]. Dostupné z: http://www.nazeleno.cz/energie/ceny-energii/drevo-na-topeni-zdrazilo-o-5-prehled-cen-2011-2012.aspx
[26] Biom: Dřevní štěpka. STUPAVSKÝ, Vladimír. [online]. 1.1 2010 [cit. 2012-03-16]. Dostupné z: http://biom.cz/cz/odborne-clanky/drevni-stepka-zelena-hneda-bila
[27] Biomass: lesní biomasa. [online]. [cit. 2012-03-16]. Dostupné z: http://www.biomass.cz/lesni-biomasa/
[28] Beranvelkoobchod: biomasa. [online]. [cit. 2012-03-18]. Dostupné z: http://beranvelkoobchod.cz/img/biomasa.htm
[29] *Topeni-taurus*: *druhy paliva* [online]. [cit. 2012-03-19]. Dostupné z: http://www.topeni-taurus.cz/?page_id=309
[30] Biom: pelety z biomasy. STUPAVSKÝ, Vladimír. [online]. 1.1.2010 [cit. 2012-03-19]. Dostupné z: http://biom.cz/cz/odborne-clanky/pelety-z-biomasy-drevene-rostlinne-kurove-pelety
[31] Epellet: pelety. [online]. [cit. 2012-03-19]. Dostupné z: http://www.epellet.com/pelety/
[32] Brikopal. [online]. [cit. 2012-03-22]. Dostupné z: http://brikopal.cz/co-jsou-drevene-brikety/
[33] Keliwood: dřevěné brikety. [online]. [cit. 2012-03-22]. Dostupné z: http://www.srubyservis.cz/aktuality-drevene-brikety--drevena-polinka-aneb-cim-topit-v-krbu
[34] Asb: Tepelná čerpadla nejsou jedinou možností. RICHTERMOC, Richard. [online]. 23.07.2009 [cit. 2012-03-28]. Dostupné z: http://www.asb-portal.cz/tzb/energie/tepelna-cerpadla-nejsou-jedinou-moznosti-1351.html
[35] Biom: Možnosti využití biomasy. MURTINGER, Karel. [online]. 2.5.2007 [cit. 2012-03-28]. Dostupné z: http://biom.cz/cz/odborne-clanky/moznosti-vyuziti-biomasy
[36] E-krbovakamna. [online]. [cit. 2012-03-28]. Dostupné z: http://www.e-krbovakamna.cz/krbova-kamna/eshop/0/0/5/165-Krbova-kamna-Galant-11-K
[37] *Gas*: *Krbová vložka KRATKI MILA GILOTINA* [online]. [cit. 2012-03-28]. Dostupné z: http://www.gas.cz/product/krbova-vlozka-kratki-mila-gilotina-16-kw-s-pruhledem-ext-sleva-za-nakup:4584/
[38] Biom: Kamna na pelety. STUPAVSKÝ, Vladimír. [online]. 1.1.2010 [cit. 2012-03-29]. Dostupné z: http://biom.cz/cz/odborne-clanky/kamna-na-pelety-pokojova-peletova-kamna
[39] Centrum pasivního domu: úsporné zdroje energie. [online]. [cit. 2012-03-29]. Dostupné z: http://www.pasivnidomy.cz/pasivni-dum/usporne-zdroje-energie.html?chapter=vhodne-kombinace-zdroju
[40] Krby Ostrava: krbová kamna a krby. [online]. [cit. 2012-03-29]. Dostupné z: http://www.krby-ostrava.cz/nabidka-sluzeb/krbova-kamna-a-krby
[41] Vigas: princip spalování. [online]. [cit. 2012-03-29]. Dostupné z: http://www.vigas.cz/
[42] Biom: Zplynovací kotel na kusové dřevo, polena a dřevěné brikety. STUPAVSKÝ, Vladimír. [online]. 1.1.2010 [cit. 2012-03-29]. Dostupné z: http://biom.cz/cz/odborne-clanky/zplynovaci-kotel-na-kusove-drevo-polena-a-drevene-brikety

[43] Biom: Kotel na pelety. STUPAVSKÝ, Vladimír. [online]. 1.1.2010 [cit. 2012-04-01]. Dostupné z: http://biom.cz/cz/odborne-clanky/kotel-na-pelety-peletovy-kotel-pro-ustredni-vytapeni
[44] Guntamatic: kotel Guntamatic Therm. [online]. [cit. 2012-04-01]. Dostupné z: http://guntamatic.esel.cz/stranka.aspx?idstranka=3719
[45] Nazeleno: vytápění. [online]. [cit. 2012-04-01]. Dostupné z: http://www.nazeleno.cz/vytapeni/moznosti-vytapeni-cim-muzete-topit-a-za-kolik.aspx
[46] Biom: Kotel na dřevní štěpku. STUPAVSKÝ, Vladimír. [online]. 1.1.2010 [cit. 2012-04-01]. Dostupné z: http://biom.cz/cz/odborne-clanky/kotel-na-drevni-stepku
[47] Tzb-info: on-line kalkulačka úspor a dotací Zelená úsporám. REINBERK, Zdeněk, Roman ŠUBRT a Lucie ZELENÁ. [online]. [cit. 2012-04-20]. Dostupné z: http://stavba.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/128-on-line-kalkulacka-uspor-a-dotaci-zelena-usporam
[48] Tzb-info: Potřeba tepla pro vytápění a ohřev teplé vody. REINBERK, Zdeněk. [online]. 14.2.2003 [cit. 2012-04-20]. Dostupné z: http://vytapeni.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/47-potreba-tepla-pro-vytapeni-a-ohrev-teple-vody
[49] ATMOS. [online]. [cit. 2012-04-24]. Dostupné z: http://www.atmos.cz
[50] Tzb-info: Porovnání nákladů na vytápění podle druhu paliva. [online]. duben 2012 [cit. 2012-04-24]. Dostupné z: http://vytapeni.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/269-porovnani-nakladu-na-vytapeni-podle-druhu-paliva?energie_gj=81.2
[51] Kotle-verner: Kotel VERNER V140 EXTRA. [online]. [cit. 2012-04-25]. Dostupné z: http://www.kotle-verner.cz/produkty/kotle-na-kusove-drevo/verner-v140-extra
[52] StavbaEU. [online]. [cit. 2012-04-25]. Dostupné z: http://www.stavbaeu.cz/kotle/s-rucnim-podavanim/drevo/verner/verner-v140-extra-b027-21921-kotel-na-drevo
[53] Kotel Viadrus Hercules U26. [online]. [cit. 2012-05-20]. Dostupné z: http://www.dufakotle.cz/dufa/goods-ZDB10019-6-kotel-viadrus-hercules-u26--3-cl.html

# 13. Seznam obrázků

Obr. 1 Schéma fotosyntézy [3] …….. 9
Obr. 2 Graf závislosti výhřevnosti na vlhkosti biomasy [16]……. 15
Obr. 3 Schéma kotle Verner [22]……... 17
Obr. 4 Kusové dřevo [25]……... 18
Obr. 5 Dřevní štěpka [28]…….. 20
Obr. 6 Pelety [29]……... 20
Obr. 7 Dřevěné brikety [32]……... 21
Obr. 8 Rašelinové brikety [33]……... 22
Obr. 9 Porovnání nákladů na vytápění pro různé druhy paliva [34]…….. 22
Obr. 10 Kamna GALANT 11 K [36]……... 23
Obr. 11 Krbová vložka KRATKI MILA GILOTINA [37]…….. 24
Obr. 12 Schéma kamen na pelety [39]……..... 24
Obr. 13 Kamna Edilkamin ……... 25
Obr. 14 Zplynovací kotel na dřevo Hoval Agrolyt [42]…….. 25
Obr. 15 Schéma s nástěnným kotlem na pelety [44]…… 27
Obr. 16 Schéma s nástěnným kotlem na pelety [44]…… 27
Obr. 17 Schéma propojení automatického kotle na biomasu, systém Verner [43].. 27
Obr. 18 Schéma Automatického kotle [44]…….. 28
Obr. 19 Plnící otvor zásobníku na pelety na stěně domu [45]…….. 26
Obr. 20 Automatický kotel na dřevní štěpku Guntamatic Powerchip [46]…….. 29
Obr. 21 Modelový dům…… 30
Obr. 22 Energetický štítek obálky budovy [47]……... 32
Obr. 23 Tepelné ztráty jednotlivými konstrukcemi [47]…….. 32
Obr. 24 Celková roční potřeba energie na vytápění a ohřev teplé vody [48]…….. 33
Obr. 25 Atmos D14P [49]…… 34
Obr. 26 Příklad instalace kotelny na pelety [49]…….. 34
Obr. 27 Kotel Verner V140 EXTRA [51]…… 35
Obr. 28 Viadrus Hercules U26 [53]…… 37

# 14. Seznam tabulek

Tab. 1 Využití biomasy k energetickým účelům [14]…… 13
Tab. 2 Vliv vlhkosti biomasy na výhřevnost a objemovou hmotnost [13]…… 14
Tab. 3 Výhřevnost různých druhů biomasy [18]…… 16
Tab. 4 Obsah prchavé hořlaviny pro různé druhy paliva [16]…… 17
Tab. 5 Vysychání dřeva [24]…….. 18
Tab. 6 Přepočtová tabulka pro různé metry dřeva [1]…… 18
Tab. 7 Vstupní hodnoty v závislosti na poloze objektu [47]…… 31
Tab. 8 Charakteristiky objektu [47]……... 31
Tab. 9 Ochlazované konstrukce objektu / zateplení, okna [47]…… 31
Tab. 10 Tepelné ztráty [47]…….. 32
Tab. 11 Srovnání pořizovacích a investičních nákladů…… 38

# 15. Seznam použitých zkratek a symbolů

| Značka | Jednotka | Popis |
|---|---|---|
| $A$ | [$m^2$] | Celková plocha |
| $A_c$ | [$m^2$] | Celková podlahová plocha |
| $A / V$ | [$m^{-1}$] | Objemový faktor tvaru budovy |
| $B_i$ | [-] | Činitel teplotní redukce |
| $C_{PEL}$ | [Kg] | Náklady na 1 kg pelet |
| $C_{DŘ}$ | [Kg] | Náklady na 1 kg dřeva |
| $d$ | [rok] | Délka otopného období |
| $H+$ | [W] | Trvalý tepelný zisk |
| $H_s+$ | [kWh / rok] | Solární tepelné zisky |
| $H_{Ti}$ | [W/K] | Měrná ztráta prostupem tepla |
| $H_U$ | [MJ/kg] | Skutečná výhřevnost paliva |
| $H_{UWF}$ | [MJ/kg] | Výhřevnost sušiny |
| $M_{DŘ}$ | [Kg] | Množství dřeva, potřebné na jeden rok |
| $M_{PEL}$ | [Kg] | Množství pelet, potřebné na jeden rok |
| $N_{DŘ}$ | [Kč] | Celkové roční náklady na provoz zplynovacího kotle na dřevo |
| $N_{PEL}$ | [Kč] | Celkové roční náklady na provoz kotle na pelety |
| $N_{TČ}$ | [Kč] | Celkové roční náklady na provoz tepelného čerpadla |
| $P_{NČ}$ | [Kč] | Celková pořizovací cena tepelného čerpadla |
| $P_{NKD}$ | [Kč] | Celková pořizovací cena zplynovacího kotle na dřevo |
| $P_{NKP}$ | [Kč] | Celková pořizovací cena kotle na pelety |
| $Q_c$ | [W] | Tepelná ztráta objektu |
| $Q_{CELK}$ | [MJ] | Celková roční potřeba energie |
| $Q_{DŘ}$ | [MJ / Kg] | Výhřevnost dřeva |
| $Q_{PEL}$ | [MJ / Kg] | Výhřevnost pelet |
| $r$ | [MJ] | Teplo potřebné k odpaření 1 kg vody |
| $T_N$ | [rok] | Doba návratnosti |
| $TUV$ | [-] | Teplá užitková voda |
| $U_i$ | [$W/m^2K$] | Součinitel prostupu tepla |
| $V$ | [$m^3$] | Objem budovy |
| $w$ | [%] | Obsah vody v palivu |
| $\eta$ | [%] | Účinnost kotle při spalování |
| $\Theta_e$ | [°C] | Venkovní návrhová teplota v zimním období |
| $\Theta_{em}$ | [°C] | Průměrná venkovní teplota v otopném období |
| $\Theta_{im}$ | [°C] | Převažující vnitřní teplota v otopném období |