

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta strojního inženýrství

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Brno, 2023

Marek Pauk



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV PROCESNÍHO INŽENÝRSTVÍ

INSTITUTE OF PROCESS ENGINEERING

BIOMASA – PERSPEKTIVNÍ ZDROJ ENERGIE

BIOMASS - A PROMISING SOURCE OF ENERGY

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Marek Pauk

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Pavel Skryja, Ph.D.

BRNO 2023

Zadání bakalářské práce

Ústav:	Ústav procesního inženýrství
Student:	Marek Pauk
Studijní program:	Základy strojního inženýrství
Studijní obor:	Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce:	Ing. Pavel Skryja, Ph.D.
Akademický rok:	2022/23

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

Biomasa – perspektivní zdroj energie

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Využití biomasy pro výrobu tepla a elektrické energie je často hodnoceno jako obnovitelné a environmentálně příznivé. Skutečnost se však může lišit v závislosti na konkrétním případě realizace. Proto je důležité provést zhodnocení ekonomických a environmentálních aspektů.

Student se bude ve své práci zabývat problematikou využití biomasy pro energetické účely.

Cíle bakalářské práce:

1. Rešerše technologií využití biomasy
2. Zhodnocení současného stavu spotřeby energií v budovách zřizovaných obcí
3. Analýza potenciálu biomasy v obecních lesích
4. Návrh nejvhodnějšího způsobu využití biomasy
5. Ekologické dopady využití biomasy v obecní kotelně

Seznam doporučené literatury:

PASTOREK, Zdeněk; KÁRA, Jaroslav; JEVIČ, Petr. Biomasa obnovitelný zdroj

energie : obnovitelný zdroj energie. Praha : FCC PUBLIS s.r.o., 2004. ISBN 80-86534-06-5

MALATĚK, Jan a Petr VACULÍK. Biomasa pro výrobu energie. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze, 2008. ISBN 978-80-213-1810-6

QUASCHNING, Volker. Obnovitelné zdroje energií. Praha: Grada, 2010. Stavitel. ISBN 978-80-247-3250-3.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2022/23

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Petr Stehlík, CSc., dr. h. c.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jiří Hlinka, Ph.D.
děkan fakulty

Abstrakt

Práce hodnotí možnosti záměny kotlů na zemní plyn za kotel na biomasu při vytápění obecních budov. Cílem je vypočítat ekonomickou a ekologickou výhodnost spalování biomasy oproti zemnímu plynu. To prokazují poslední dvě kapitoly práce. Nejprve je provedeno hodnocení možností získávání biomasy pro obecní kotelnu a jsou navrženy konkrétní konstrukce kotlů. Poté je biomasa rozdělena, a jsou určeny druhy, které lze využít pro energetické účely, konkrétně pro spalování. Ve výpočtové části je proveden zjednodušený výpočet tepelných ztrát budov. Poté je zavedeno několik koeficientů, díky kterým je možnost na základě dostupných dat vypočítat potřebný příkon kotlů. Dále je na základě toho vypočítán i příkon centrálního kotle. Je navrženo několik možných řešení způsobu vytápění obecních budov. Jednou z možností je centrální kotelna s jedním 500kW kotlem, druhá nabízí dva kotle s výkony 300 kW a 200 kW, poslední je řešení, které počítá s náhradou aktuálních kotlů za kotle na biomasu. Porovnávají se jednotlivá řešení náhrady stávajících kotlů, konkrétně jejich návratnost, která je u centrálních kotelen okolo 7 let, zatímco při náhradě stávajících kotlů až 17 let. Na konec jsou popsány ekologické dopady spalování obou paliv na životní prostředí, kdy je popsáno množství emisí škodlivých plynů při spalování jednotlivých paliv. Je vysvětleno tvrzení o uhlíkově neutrální biomase. Biomasa má několikanásobně vyšší emise v místě produkce při spalování než zemní plyn, ale i přes to je ekologicky výhodnější.

Klíčová slova

Kotle na biomasu, výpočet energetických ztrát budovy, vliv spalování na životní prostředí, těžba dřeva, lesní odpad, přechod na biomasu

Abstract

The thesis deals with possibility of exchanging gas boiler for biomass boiler for heating communal buildings. The goal is to count economic and environmental impacts of combusting biomass compared to combusting natural gas. The last two parts of the thesis proves that. The beginning of the thesis contains introduction of getting biomass for communal boiler room and suggests different boiler constructions. Then it divides types of biomasses and determines which are suitable for energy purposes specifically for combustion. The calculation part solves heating losses and necessary heat output. After that several coefficients are made thanks to which it is possible to calculate the necessary boiler power based on the available data. The heat input of the central boiler is then calculated based on this. Then the thesis suggests possible solutions of heating communal buildings. One of the solutions is communal boiler room with one boiler with 500 kW heat output, second solution is with two boilers with 300kW and 200kW heat outputs, last solution describes just exchange of old boilers for new ones that can combust biomass. Then all the solutions are compared for financial return, which is 7 years for both communal boiler rooms and around 17 years for solution that counts with exchanging boilers. It describes ecological impact of combustion of these two fuels. There it describes amount of emission of harmful substances during their combustion. At the end it explains carbon dioxide neutrality of biomass combustion. Biomass has several times higher emissions at the place

of production during combustion than natural gas, but it is still more environmentally friendly.

Key words

Biomass boilers, calculation of energy losses of building, combustion impact on environment, logging, forest waste, change to biomass

Bibliografická citace

PAUK, Marek. *Biomasa – perspektivní zdroj energie* [online]. Brno, 2023 [cit. 2023-05-13]. Dostupné z: <https://www.vut.cz/studenti/zav-prace/detail/148833>.
Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav procesního inženýrství. Vedoucí práce Pavel Skryja.

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením Ing. Pavla Skryjy, Ph.D. a s použitím informačních zdrojů uvedených v seznamu.

V Brně dne 21. května 2023

.....

Marek Pauk

Poděkování

Rád bych poděkoval vedoucímu bakalářské práce Ing. Pavlu Skryjovi, Ph.D., za vedení bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkovat starostovi obce Čebín za poskytnutá data a Ing. Otakaru Štelcovi za konzultace.

Obsah	
1. Úvod	9
1.1 Kotle na tuhá paliva	9
1.2 Kotle pro spalování kapalných a plyných paliv	9
1.3 Výměníky tepla	10
2. Biomasa	10
2.1 Dělení biomasy	10
2.2 Způsoby využití biomasy k energetickým účelům	11
2.3 Rychlerostoucí dřeviny (r.r.d.)	11
2.4 Zpracování dřevního odpadu a energetických dřevin	12
2.5 Spalování biomasy	13
3. Výpočty	14
3.1 Obálková metoda	16
3.2 Výpočet tepelných ztrát z výkonu	18
3.3 Výpočty koeficientů	18
3.4 Výpočty příkonu jednotlivých kotlů	21
3.5 Návrh centrálního kotle	21
3.6 Návrh samostatných kotlů	24
4. Ekonomická výhodnost	27
4.1 Cena kotlů	27
4.2 Cena paliva	28
4.3 Cena práce	30
4.4 Návrh návratnosti projektu	31
5. Ekologické dopady	32
5.1 Těžba zemního plynu	33
5.2 Produkce biomasy	34
5.3 Spalování biomasy a zemního plynu	34
5.3.1 Oxidy dusíku	35
5.3.2 Oxid uhličitý	36
5.3.3 Oxid siřičitý	36
5.3.4 Oxid uhelnatý	36
Závěr	38
Seznam použitých zkratk a symbolů	39
Použité informační zdroje	40

1. Úvod

Aktuálním způsobem vytápění budov je využití kotlů na tuhá paliva, tepelných čerpadel, elektrokotlů, plynových kotlů a pro vytápění více prostorů na různých místech centrální zdroje tepla. Všechny tyto způsoby, kromě centrálních zdrojů tepla, využívají ohřevu vody a následné distribuce ohřáté vody do vytápěných prostor. Pro centrální zdroje tepla se využívá k přenosu tepla vzduch. V dnešní ekonomicky nestabilní době jsou poptávány nejlevnější zdroje tepelné energie, i přes již existující a funkční způsoby vytápění. To znamená výstavbu nového systému s počátečními investicemi, ale výhodou je snížení provozních nákladů na vytápění. Ovšem neexistuje jistota, že dnešní nejlevnější zdroje budou nejlevnější i do budoucna. Proto je motivací ponechávat staré zdroje funkční, kdy v případě velkého nárůstu provozních výdajů nového zdroje existuje možnost přepnout zpět na zdroj původní.

1.1 Kotle na tuhá paliva

Používají jako palivo kusové dřevo, brikety, uhlí, pelety atd. Dochází v nich ke spalování paliva za přístupu vzduchu. Tím se uvolňuje tepelná energie, která buď ohřívá prostor, ve kterém se kotel nachází, případně se tepelná energie dále distribuuje pomocí média, nejčastěji vody. Nejstarším takovým zařízením je krb, u kterého dochází k přenosu především sáláním, v omezené míře i konvekcí. Krby se dělí na otevřené a uzavřené. U otevřených krbů je nízká účinnost, zhruba 20 %, proto se častěji používají krby uzavřené, u kterých dochází k nárůstu účinnosti až na 70 %. I přes to jsou krby spíše doplňkovým zdrojem tepla. Pro vytápění vícero prostor se využívají teplovodní kotle, u kterých se teplo nešíří sáláním, ale je přenášeno rozváděcím médiem. [5]

Výhodou takových kotlů je zejména snadno dostupné palivo oproti plynovým kotlům, které využívají zemního plynu, který se takřka všude do ČR dováží. Oproti tomu má tuhé palivo nevýhodu v jeho rozmanitosti, kdy má každý druh paliva různé spalovací teploty, tvar a hustotu.

Kotle na tuhá paliva se dále dělí:

- roštové kotle, které se využívají pro spalování kusového paliva,
- fluidní kotle pro spalování širokého rozsahu paliva,
- práškové kotle, v nichž se spaluje rozemletý uhelný prášek. [6]

1.2 Kotle pro spalování kapalných a plynových paliv

Kapalná a plyná paliva mají oproti tuhým palivům vyšší výhřevnost a rozdílné vlastnosti spalin a plamene. Palivo se do takových kotlů plní ve formě jemné disperze. K přenosu tepla dochází konvekcí, který se zlepšuje s vyšší rychlostí spalin. Mají vyšší účinnost díky nižším ztrátám zapříčiněným absencí mechanického nedopalu a nižším komínovým ztrátám vlivem nízkého rosného bodu spalin. Kotle na kapalná paliva dosahují účinnosti 93-95 % a kotle na plyná paliva pak 96-97 %. Nevýhodou je cenově nákladné palivo, zvýšená tvorba NO_x a CO_x a

nutná investice do odsiřovacích zařízení z důvodu vysokého obsahu síry (až 3 % pro těžší topné oleje). Pro spalování se používají hořáky. [6]

Hořáky na kapalná paliva vyžadují schopnost jemného rozprášení (atomizace) paliva, díky čemuž dochází k rychlému a dokonalému promísení palivové mlhoviny se spalovacím vzduchem. Kapalná paliva lze spalovat i v kotlích na tuhá paliva, hořáky v takových kotlích slouží k zapalování a najíždění kotlů a ke stabilizaci procesu hoření tuhých paliv. [6]

Hořáky na plyná paliva se dimenzují tak, aby byla v rovnováze kinetická energie proudu vzduchu a plynu. Podle směšování paliva a vzduchu se dělí na ejektorové hořáky, ve kterých se směs zcela smísí se spalovacím vzduchem, a

vířivé, u kterých dochází pouze k částečnému smíšení. [6]

1.3 Výměníky tepla

Jedná se o zařízení, které průběžně nebo přerušovaně předává tepelnou energii za pomoci teplotního média. Dochází zde k předávání tepla z teplého (ohřívacího) média do média chladnějšího (ohřívávaného).

Výměníky se dělí:

- rekuperační, kdy jsou obě média oddělena nepropustnou stěnou. K přenosu tepla tak dochází prostupem tepla (vedením a prouděním současně),
- regenerační, u kterých dochází k opakovanému vtoku ohřívávaného média se zpožděním za ohřívajícím médiem. Vtéká do prostoru vyplněného pevným, teplo zprostředkujícím elementem, ze kterého přijímá teplo naakumulované předtím procházejícím ohřívajícím médiem,
- kontaktní, kde jsou použita média různých fází, tudíž se po předání tepla od sebe oddělují. Teplosměnná plocha je dána povrchem částic pevné fáze,
- směšovací, které nemají teplosměnné plochy, ale obě média jsou v přímém kontaktu a vytváří homogenní směs. [6]

2. Biomasa

Biomasa je definována jako substance biologického původu (rostliny pěstované v půdě nebo ve vodě, živočichové, organická produkce, organické odpady) [1]. Biomasa je buď záměrně získávána jako výsledek výrobní činnosti, nebo se jedná o využití odpadů ze zemědělské, potravinářské a lesní výroby, z komunálního hospodářství a z údržby krajiny a péče o ní [1].

Biomasa pro spalování je ve většině případů právě odpad nevyužitý v jiných procesech s vyšší prioritou, kterou je předcházení vzniku odpadů, či jejich co nejefektivnější zpracování [2]. Pokud není daná biomasa vhodná ani pro spalování za účelem zisku energie, je odvezena do posledního stupně recyklační hierarchie, a to do spalovny [2]. Dále se biomasa může účelně získávat např. pěstováním rychlerostoucích dřevin (dále r.r.d.). To však nesmí být na úkor životního prostředí, kdy pro pěstování takových rostlin nesmí dojít k zvýšení uhlíkové stopy vlivem zvětšování plochy pro jejich pěstování [3].

Pro energetické účely se nejčastěji používá dřevo, dřevní odpad, bioplyn a tekutá biopaliva [4]. Využívání biomasy je CO₂ neutrální, jelikož veškeré CO₂, které se vyloučí do atmosféry při spalování je maximálně tak velké, jaké bylo množství CO₂ potřebné pro její tvorbu [4]. To ovšem neznamená, že je využívání biomasy bezemisní, jelikož biomasa před spalováním prochází velkým množstvím mechanizovaných procesů, které emise vypouštějí [4].

2.1 Dělení biomasy

Biomasu pro získávání energie dělíme na:

- a) Biomasu záměrně pěstovanou za tímto účelem: cukrová řepa, obilí, brambory atd., olejniny, energetické dřeviny.
- b) Biomasu odpadní:
 - Rostlinné zbytky ze zemědělské prvovýroby a údržby krajiny: kukuřičná a obilná sláma, řepková sláma, zbytky z lučních a pastevních areálů, zbytky po likvidaci křovin a lesních náletů, odpady ze sadů a vinic.
 - Odpady z živočišné výroby: exkrementy z chovů hospodářských zvířat, zbytky krmiv, odpady mléčnic, odpady z přidružených zpracovatelských kapacit.
 - Komunální organické odpady z venkovských sídel: kaly z odpadních vod,

organický podíl tuhých komunálních odpadů, odpadní organické zbytky z údržby zeleně a travnatých ploch.

- Organické odpady z potravinářských a průmyslových výrob: odpady z provozů na zpracování a skladování rostlinné produkce, odpady z jatek, mlékáren, lihovarů, konzerváren, vinařských provozoven a dřevařských provozoven.
- Lesní odpady (dendromasa): dřevní hmota z lesních probírek, kůra, větve, pařezy, kořeny po těžbě dřeva, palivové dřevo, manipulační odřezky, klest. [1]



Obrázek 2-1 dřevní biomasa [29]

2.2 Způsoby využití biomasy k energetickým účelům

Způsob využití biomasy k energetickým účelům je do značné míry předurčen fyzikálními a chemickými vlastnostmi biomasy. Velmi důležitá je vlhkost, resp. obsah sušiny v biomase. Zhruba 50% sušiny je hranice mezi mokřými a suchými procesy. Způsoby získávání energie z biomasy pro energetické využití se dělí na:

- a) termomechanická přeměna biomasy (suché procesy):
 - spalování,
 - zplyňování,
 - pyrolýza,
- b) biochemická přeměna biomasy (mokrý procesy):
 - alkoholové kvašení,
 - metanové kvašení,
- c) fyzikální a chemická přeměna biomasy:
 - mechanicky (štípání, drcení, lisování, briketování, peletování, mletí apod.),
 - chemicky (esterifikace surových bioolejů),
- d) získávání odpadního tepla při zpracování biomasy (např. při kompostování). [1]

2.3 Rychlerostoucí dřeviny (r.r.d.)

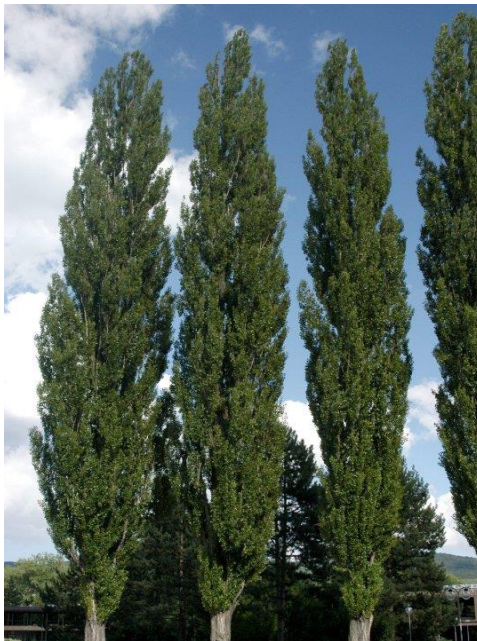
Mezi rychlerostoucí dřeviny se řadí stromky a keře, které splňují tyto požadavky:

- extrémně vysoký vzrůst rostlin v mládí,
- výborná výmladkovost,
- snášenlivost konkurence bez regulovaných zásahů,
- odolnost proti škůdcům a chorobám,
- uzpůsobený pozemek k mechanizačnímu zpracování,
- mocnost ornice a minimální hodnota pH,
- vysoká hladina spodní vody (60 až 120 cm, nesmí klesnout pod 2m). [1]

Pěstování r.r.d. může být účelným způsobem využití přebytečné zemědělské půdy [1]. Zároveň se jedná o velmi rychlý zdroj biomasy, který je schopný při

kvalitním plánování výsadby a těžby tvořit značný podíl v zásobení energetických zdrojů biomasou.

Mezi nejznámější r.r.d. patří topol černý a balzámový, případně další topoly a jejich hybridy [1].



Obrázek 2-2 Topol černý [30]

2.4 Zpracování dřevního odpadu a energetických dřevin

Lesní odpad je zapotřebí zpracovat na velikost a tvar, který je vhodný pro převoz a následné tepelné využití. Možností je zpracovávat odpad až před využitím, ovšem převoz lesního odpadu je mnohdy příliš náročný a nevýhodný, proto se ve většině případů zpracovává přímo v lese po těžbě. Lesní odpad tvoří pařezy, dřevo nevhodné pro jiné využití, větve atd.

Jako dřevní odpad lze pochopit i odpad, který vzniká při zpracování dřeva, které z lesa odjíždí do zpracoven. Jedná se o piliny, odřezky, suky aj., které se následně dají také využít jako palivo pro kotle.

Nejjednodušší způsob zpracování lesního odpadu je za pomoci stříhacího zařízení, které dělí kmeny na kusy dlouhé 25 až 30 cm za pomoci jednoho nože na principu gilotiny [1]. Lze také použít sekačky, které vytváří štěpku. Sekačky se dělí dle sekacího orgánu na:

Diskové: sekacím orgánem je rotující disk, ve kterém se nachází několik nožů (2 až 16), ke kterým se lesní odpad dopravuje po nakloněném žlabu. Výhodou diskových sekaček je nižší potřebný výkon, který se reguluje množstvím materiálu v žlabu. Tyto sekačky jsou vytvořeny tak, aby byly schopné sekát i celé stromy.

Bubnové: sekacím orgánem je válec, na jehož obvodu jsou uloženy nože, které při rotování sekají dopravený materiál. Jejich hlavní výhodou je možnost sekání velmi chaotického materiálu.

Šroubové: sekací orgán je šroubovice se stoupajícím průměrem, díky čemuž se šroubovice postupně zařezává a vtahuje dřevo k většímu průměru. Používají se hlavně pro tenké stromky a kmínky [1].

Dalším způsobem zpracování dřevního odpadu jsou drtiče, které se používají primárně pro drobné, znečištěné (pařezy, stavební odpad) a mimořádně netvárné dřevo (křoviny apod.). Drtiče se dělí na jednoválcové a dvouválcové. Činným orgánem je u drtičů válec, na kterém jsou spirálovitě rozmístěny nože různých tvarů. [1]

Jelikož je štěpkování energeticky náročné, používá se i jiných způsobů. Jedním z nich je paketování, při kterém se lesní odpad lisuje do balíků. Výhodou je snadná manipulace a uskladnění. Nevýhodou však je, že pro spalování nejsou příliš vhodné kvůli jejich nerovnoměrnému hoření. To je zapříčiněno lisováním různých materiálů o různých hustotách do jednoho balíku. Dalším takovým způsobem je briketování a peletování. [1]

Při zpracování energetických dřevin je specifickým jejich sklizeň, protože je technologie odlišná od těžby v lese. Jelikož jsou tyto dřeviny hustě vysázeny, a k tomu do řádků, je k jejich sklizni využito plně mechanických sklízeců. Tyto sklízecce přímo štěpkují čerstvě sklizené stromky řezačkou se šnekovým bubnem zabudovanou hned za řezacím mechanismem, kterým jsou pokáceny. Štěpka je následně odváděna ze sklízecce do návěsu pro převoz štěpky. Buď jsou tyto návěsy na samostatném traktoru jedoucím vedle sklízecce, nebo má sklízec svůj vlastní. Druhou možností je využití sklízecího a snopkovacího stroje, kdy jsou stromky namísto štěpkování svázané do snopů a ponechány na místě těžby pro pozdější odvoz. [1]

2.5 Spalování biomasy

Jedná se o chemickou reakci plynných složek s kyslíkem (exotermická reakce) [1]. Při tomto procesu se uvolňuje teplo, které je následně využito pro vytápění, získání elektrické energie, nebo pro obojí. Při spalování dochází k proměnné intenzitě uvolňování prchavé hořlaviny, kdy při určité teplotě dosahuje ostrého maxima, na které je třeba kotle připravit, jinak dojde k nedostatečnému promíchání se spalovacím vzduchem a k energetickým ztrátám vlivem nedokonalého spalování (chemický nedopal) [1]. Z toho důvodu je také nutné přivádět sekundární spalovací vzduch, který však nesmí přesáhnout takový poměr, aby bylo možné dosáhnout minimální požadované teploty plamene 900 °C. Při spalování dřevních odpadů může být obtížný odvod tuhých zbytků po spalování. Dřevní odpad má malý obsah popelovin, ale i nízkou teplotu měknutí, tavení a tečení popelovin [1]. Tyto natavené popeloviny poté difundují do vyzdívky předtopeniště a odlupují se. Celý tento efekt je závislý na teplotě nechlazeného plamene, obsahu vody ve spalovaném dřevě a na přebytku spalovacího vzduchu [1]. U suchého dřevního odpadu (nebo slámy) dále může nastat problém, kdy popeloviny mohou zalepovat ohniště a teplosměnné plochy sklovitými nánosy. To se dá ovlivnit snížením teploty nechlazeného plamene (zvýšením přebytku spalovacího vzduchu), ovšem tím se zároveň zvýší objem spalin odcházejících do komínu a tím vzniká komínová ztráta kotle [1]. V takovém případě se přistupuje k zplaňování dřevní hmoty a spalování dřevního plynu [1].

Biomasa se také může přidávat v hmotnostním podílu 20-30 % do konkrétních typů uhelných elektráren na hnědé uhlí (kospalování) [1]. Ideálním podílem je však 5-15 % hmotnostního podílu biomasy. Co se týče energetického podílu, ten je značně menší než hmotnostní. Dále je zapotřebí dobře promyslet možnosti skladování, jelikož má biomasa značně nižší hustotu než právě uhlí, tudíž je třeba větších prostor.

Při spalování dřeva dochází ke čtyřem fázím. První je sušení, při kterém se odpařuje voda z paliva. Další je pyrolýza, kdy se uvolňují plynné složky paliva. Dále se spalují plynné složky paliva a poté dochází ke spalování pevných látek (primárně uhlíku). Spalovací proces probíhá tak, že při dosažení potřebné teploty se vznítí plyn uvolněný při ohřevu právě na tuto teplotu (při tomto ohřevu se zároveň první vypařuje voda). Vzniklé teplo lze ovlivnit vlhkostí zbytků dřeva a uvolnit tím další spalitelný plyn. Spalovací proces se udržuje pokud není dříví

příliš vlhké a je-li přiváděn dostatek kyslíku. Při rovnoměrném přívodu paliva a dostatečném přívodu kyslíku probíhají všechny čtyři fáze spalovacího procesu zároveň. [1]

Do kotle je pro spalování nutné přivádět kyslík. Pod rošt se přivádí primární vzduch, kterého je pouze menší část. Okysličuje totiž pevné zbytky paliva na roštu. Větší množství je vzduchu sekundárního, který se přivádí do proudu unikajících plynů za rošt. Prostor bezprostředně nad rostem nesmí být konstruován jako výměník, ale jako prostor udržující žár (se šamotovou vyzdívkou), jehož úkolem je udržet plyny a přiváděný kyslík na potřebné – zápalné – teplotě [1].

Palivo je do kotlů přiváděno zespod, kam se dopravuje šnekovými dopravníky a podávacím zařízením. Pod nakloněné posuvné rošty (náklon 15 až 18°), na kterých hoří palivo, je vháněn primární vzduch. Rošty jsou instalovány tak, že se jednotlivé stupně opírají o povrch stupně následujícího. Pohybuje se buď každý stupeň, nebo jen liché stupně. Při přesunu mezi stupni se palivo převrací a promíchává s ještě nevzníceným palivem, dále se také rozpadá škvára, která je vytlačována palivem do výsypek pro ně určených.

Lze užít i pásových a řetězových roštů, které tvoří nekonečný pás, jehož horní strana funguje jako rošt. U řetězových roštů tvoří povrch mohutné Gallovy řetězy. Ke spalování dochází pouze na horní straně, spodní strana pásu se chladí spalovacím vzduchem, díky čemuž pásové rošty snesou palivo s vyšší výhřevností. To znamená, že je na nich možné spalovat i suchý dřevní odpad. [1]

3. Výpočty

Pro výpočet výkonu kotle se použije různých výpočtů tepelných ztrát budovy, které se následně porovnají s daty, jež jsou k dispozici (poskytnuté vedením obce) pro několik budov, z čehož se následně odhadne chyba použité metody. Tato vypočtená a zkorigovaná hodnota se nakonec použije při výpočtech zbývajících budov, pro které nejsou tato data dostupná. Nejprve je ovšem vhodné představit si počítané budovy.

Představení počítaných budov

ZŠ Čebín 2. stupeň (č.p. 20) má vzniknout rekonstrukcí již existující budovy, v aktuální moment ubytovny. Její stavba je naplánována na rok 2024, proto pro tuto budovu nejsou vedeny žádné historické záznamy spotřeby a její výpočty vycházejí čistě z teorie. Jedná o malou školu. Na mapě katastru nemovitostí je tato budova vyznačena tmavě červenou barvou.

Obecní úřad (č.p. 21) je administrativní budovou. Na mapě katastru nemovitostí je vyznačen modrou barvou.

Rodinný dům (č.p. 41) je dvoupodlažní rodinný domek, který je permanentně osídlen. Na mapě katastru nemovitostí je tato budova vyznačena fialovou barvou.

Ubytovna (č.p. 42) též využívána k venkovním kulturním událostem je dvoupodlažní obytný objekt. Na mapě katastru nemovitostí je tato budova vyznačena žlutou barvou.

Hasičská zbrojnice (č.p. 150), která se považuje za malou provozní budovu je na mapě katastru nemovitostí vyznačena světle červenou barvou.

Školka (č.p. 409), považována za malou školu je na mapě katastru nemovitostí tato budova vyznačena růžovou barvou.

Zdravotní středisko (č.p. 575) je provozní budovou do 5000 m³. Na mapě katastru nemovitostí je tato budova vyznačena oranžovou barvou.

Nové centrum včetně sportovní haly (č.p. 409) spadá do kategorie velkých budov. Tato budova nebude vytápěna permanentně, proto jsou její výpočty

doprovázeny výpočetní chybou, která se odvíjí od její obsazenosti v průběhu topného období. Tato budova je budoucím projektem plánovaným na rok 2024, proto pro tuto budovu nejsou vedeny žádné historické záznamy spotřeby a její výpočty vycházejí čistě z teorie. Na mapě katastru nemovitostí je tato budova vyznačena růžovou barvou s černým šrafováním, jelikož má vzniknout přestavbou nevyužívané části budovy školky.

Jelikož jsou dostupné různé údaje pro různé budovy, je třeba tyto budovy rozdělit na dvě části, aby bylo dosaženo co největší přesnosti výpočtů.

První skupina budov je složena z již existujících budov, pro které existují historické záznamy spotřeby a ceny zemního plynu. K těmto budovám vedení obce poskytlo faktury pro spotřebu plynu. Jedná se pouze o jednorozměrný vzorek z volatelného období mezi roky 2021 a 2022, proto je nutné případné vývoje cen aproximovat. Tyto faktury si vedení obce nepřálo zveřejňovat, proto se v práci nachází pouze stručný výtah potřebných informací. Tato skupina bude využita pro výpočet ekonomické výhodnosti přechodu ze zemního plynu na biomasu.

Druhá skupina budov počítá i s nadcházejícími projekty, které ovlivní výkon kotle. K budoucím objektům je dostupné PENB, pro další jsou dostupné faktury, ze kterých lze vyčíst spotřebu a pro zbylé budovy je nutné využít obálkovou metodu, pro výpočet tepelných ztrát. Tato skupina budov bude použita k výpočtu a návrhu centrálního kotle.

Skupina 1

Ubytovna (č.p. 20)

Obecní úřad (č.p. 21)

Rodinný dům (č.p. 41)

Ubytovna (č.p. 42)

Hasičská zbrojnice (č.p. 150)

Školka (č.p. 409)

Zdravotní středisko (č.p. 575)

Skupina 2

ZŠ Čebín 2. stupeň (č.p. 20)

Obecní úřad (č.p. 21)

Rodinný dům (č.p. 41)

Ubytovna (č.p. 42)

Hasičská zbrojnice (č.p. 150)

Školka (č.p. 409)

Nové centrum včetně sportovní haly (č.p. 409)

Zdravotní středisko (č.p. 575)



Obr. 3-1 mapa katastru nemovitostí Čebín, upraveno dle [42]

Dostupnost informací

Tato tabulka pojednává o dostupnosti dokumentů ke konkrétním budovám. Budovy v závorce jsou aktuální stavy, které se budou transformovat do budov před závorkou. Tudiž pro budovy v závorce platí pouze faktury.

Tabulka 3-1 Dostupnost informací

	Faktury	PENB	Výkresy
ZŠ Čebín 2. stupeň (ubytovna)			
Obecní úřad			
Rodinný dům			
Ubytovna			
Hasičská zbrojnice			
Školka (centrum včetně sportovní haly)			
Zdravotní středisko			

3.1 Obálková metoda

Obálková metoda se používá pro rychlé předběžné návrhy tepelných ztrát budov na základě jejich objemu a využití. Popisuje ji norma ČSN 06 0210, které byla 1.9.2008 ukončena platnost. Tato metoda bude porovnána s vypočítanými hodnotami tepelných ztrát budov z výkonu získaného z PENB. K budovám, pro které není známa energetická účinnost se vytvoří koeficient k_{ov} vytvořený z průměru odchylek dané metody od dostupných hodnot energetické účinnosti pro budovy, kde je tato informace dostupná.

Při této metodě vypočítáme objem objektu a vynásobíme vhodnými tepelnými ztrátami dle stáří a účelu budovy viz. tab. 3-2. Pro Čebín se počítá venkovní výpočtová teplota jako pro Brno, kde platí výpočtová teplota -12 °C [7]. Každý typ budovy dle tab. 3-2 bude mít svůj vlastní korekční koeficient, aby se tak snížila chyba výpočtu.

Výpočty jsou dostupné v příloze.

Tabulka 3-2 přehled koeficientů měrných ztrát objektů [31]

Měrné tepelné ztráty objektů $q[W/m^3]$

Typ	Druh a velikost objektu s vnitřní teplotou $t_i = 20\text{ °C}$	t_e [°C]	Objekt volně stojící					Objekt vestavěn				
			Období výstavby					Období výstavby				
			A	B	C	D	E	A	B	C	D	E
			1960	1978	1992	1994	>2000	1960	1978	1992	1994	>2000
1.	Jednopodlažní podsklepený, bez půdy, lehký materiál do 1000 m ³	-12	50	48	38	35	32,5	43	41	33	31	28
		-15	57	54	43	40	37	50	48	38	35	32,5
		-18	65	62	49	46	42	57	54	43	40	37
2.	Dvoupodlažní rodinný domek. Dělnský provoz z keram. materiálu do 1000 m ³	-12	43	41	33	31	28	38	36	29	27	25
		-15	50	48	38	35	32,5	44	42	33	31	27
		-18	57	54	43	40	37	50	48	38	35	32,5
3.	Dvou až čtyřpodlažní obytný objekt. Malé školy, provozní budovy do 5000 m ³	-12	38	36	29	27	25	34	32,5	26	24	22
		-15	44	42	33	31	27	40	38	30	28	26
		-18	50	48	38	35	32,5	45	43	34	32	29
4.	Dvou až třípodlažní obytný objekt. Malé školy, administrativní a velké budovy	-12	34	32,5	26	24	22	30	28	22	21	20
		-15	40	38	30	28	26	35	33	27	25	23
		-18	45	43	34	32	29	40	38	30	28	26
5.	Tři až čtyřpodlažní sídlištní objekty. Velké školy, obchodní budovy do 5000 m ³	-12	30	28	22	21	20	25,5	24	19	18	16,5
		-15	36	34	26	25	23	30	28	22	21	20
		-18	40	38	30	28	26	35	33	25	24,5	23
6.	Čtyř a vícepodlažní sídlištní bloky. Adm. budovy. Obchodní domy od 5000 m ³ do 100 000 m ³ a více	-12	28	27	21	20	18	22,5	21	17	16,5	15
		-15	32,5	31	25	23	21	27	26	20,5	19	18
		-18	37	35	27	26	17	31	29,5	24	22	20

Poznámky:

- Předpokládá se dvojitě (zdvojené) zasklení
- Denní teplota kolísá mezi 18 °C až 20 °C
- Období výstavby značí platnost tepelně-technických norem a směrnic. Součinitel prostupu tepla k v jednotlivých obdobích:
A - 1960 - $k = 1,45\text{ W/m}^2\text{K}$
B - 1978 - $k = 0,89\text{ W/m}^2\text{K}$
C - 1992 - $k = 0,46\text{ W/m}^2\text{K}$
D - 1994 - $k = 0,33\text{ W/m}^2\text{K}$
E - 2000 - $k = 0,33\text{ W/m}^2\text{K}$ (okna $k_o = 1,50\text{ W/m}^2\text{K}$)
- Ve všech případech je infiltrace počítána pro výměnu vzduchu 0,5/hod.
- Okenní plocha tvoří 45 % obvodové stěny.

Pro výpočet tepelných ztrát obálkovou metodou je dostatečné množství dat pouze pro čtyři budovy. Jedná se o ZŠ 2. stupeň (budoucí stavbu), zdravotní centrum, nové centrum včetně sportovní haly (budoucí stavbu) a rodinný dům. Pro tyto budovy jsou v tabulce 3-3 vypočítány tepelné ztráty obálkovou metodou. Následující výpočet je uveden pro ZŠ 2. stupeň a stejný postup je použit i pro další tři budovy.

Výpočet tepelných ztrát obálkovou metodou pro ZŠ Čebín 2. stupeň. Jedná se o volně stojící objekt s rokem výstavby ≥ 2000 . Třída budovy 4 s výpočtovou teplotou -12 °C . Pomocí těchto informací se určí měrné tepelné ztráty objektu – $q = 22\text{ W/m}^3$.

Objem budovy získaný z výkresů – $V = 6397,9\text{ m}^3$. Vynásobením počtem dnů v roce a vydělením 1000 získáme tepelné ztráty za rok v kWh.

$$(1) \quad Q_o = \frac{365 \cdot q \cdot V}{1000} = \frac{365 \cdot 22 \cdot 6397,9}{1000} = 51375\text{ kWh/rok}$$

Tabulka 3-3 výpočet tepelných ztrát obálkovou metodou

Informace o budovách	Objem budovy [m ³]	Třída budovy	Rok výstavby (Plánovaný rok výstavby)	Tabulkové měrné tepelné ztráty [W/m ³]	Tepelné ztráty budovy za rok [kWh]
Ubytovna (ZŠ 2. stupeň)	6397,9	4	(2024)	22	51375
Zdravotní centrum	1864,9	3	2020	25	17017
Nové centrum vč. Sportovní	10104,2	4	(2024)	22	81137
Rodinný dům	2685,3	2	2015	28	27444

3.2 Výpočet tepelných ztrát z výkonu

Druhou metodou, jak vypočítat tepelné ztráty budovy je použít vypočítaný výkon na vytápění z PENB, který se vztahuje na energeticky vztažnou plochu budovy. Tento výpočet je proveden opět pro stejné čtyři budovy, jako v kapitole 3.1, jelikož pro ně byl poskytnut PENB.

Následující výpočet je uveden pro ZŠ 2. stupeň a stejný postup je použit i pro zbývající tři budovy. Z PENB se získá hodnota vypočítaného výkonu na vytápění – $P = 37 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{rok})$. Dále se z PENB získá i celková energeticky vztažná plocha – $S = 1707,1 \text{ m}^2$. Vynásobením těchto dvou hodnot vyjdou tepelné ztráty budovy za rok.

$$(2) \quad Q_v = P \cdot S = 37 \cdot 1707,1 = 63163 \text{ kWh/rok}$$

Tabulka 3-4 výpočet tepelných ztrát z vypočítaného výkonu

Informace o budovách	Vypočítaný výkon na vytápění [kWh/m ² rok]	Celková energeticky vztažná plocha [m ²]	Tepelné ztráty z výkonu [kWh]
Ubytovna (ZŠ 2. stupeň)	37	1707,1	63163
Zdravotní centrum	55	471,4	25927
Nové centrum vč. Sportovní	54	1894,4	102298
Rodinný dům	83	804,4	66765

3.3 Výpočty koeficientů

Z důvodu malého vzorku dat, které jsou navíc nekonzistentní, se vytvoří 3 různé koeficienty, které se následně použijí pro přepočtení dat tak, aby vyšel příkon kotle.

Koeficienty kov_x

Prvním typem koeficientů jsou koeficienty kov_x představené v kapitole 3.1, tyto koeficienty lze použít pro přepočtení tepelných ztrát budov třídy x vypočtených obálkovou metodou, na tepelné ztráty vypočtené z výkonu z PENB a naopak. Tyto koeficienty jsou vytvořeny podělením tepelných ztrát získaných z obálkové metody tepelnými ztrátami vypočtenými z výkonu. Proto je při přepočtu nutné dbát na správnou matematickou operaci. Výpočet koeficientu je uveden pro kov_4 , tedy pro budovy 4. třídy.

Pro budovu ZŠ 2. stupeň je koeficient vypočítán následovně

$$(3) \quad kov_{4,1} = \frac{Q_v}{Q_o} = \frac{63163}{51375} = 1,2294$$

Pro nové centrum včetně sportovní haly pak

$$(4) \quad kov_{4,2} = \frac{Q_v}{Q_o} = \frac{102298}{81137} = 1,2608$$

Tabulka 3-5 vypočtené koeficienty $kov_{x,y}$

Informace o budovách	Koeficient přepočtu mezi obálkovou metodou a přepočtem z výkonu - kov [-]
Ubytovna (ZŠ 2. stupeň)	1,2294
Zdravotní centrum	1,5236
Nové centrum vč. Sportovní haly	1,2608
Rodinný dům	2,4328

Výsledné koeficienty jsou pak aritmetickým průměrem všech koeficientů ze stejné třídy budov. Příklad je opět uveden pro výpočet koeficientu kov_4 , neboli aritmetický průměr koeficientů z příkladů (3) a (4).

$$(5) \quad kov_4 = \frac{kov_{4,1} + kov_{4,2}}{2} = \frac{1,2294 + 1,2608}{2} = 1,2451$$

Tabulka 3-6 vypočítané koeficienty kov_x

Koeficienty kov	
kov_2	2,4328
kov_3	1,5236
kov_4	1,2451

Koeficienty kdv_x

Koeficient kdv_x vyjadřuje souvislost mezi dodanou energií získanou z PENB a příkonem kotle na základě podobnostního kritéria. Je vypočítán pro budovy, u kterých je známý příkon kotle. Ve výpočtech se pak použije k vyjádření příkonu kotle z reálné spotřeby. Tento koeficient je potřebný zejména pro třídu budov 4, jelikož se v této třídě nacházejí dvě budoucí budovy, díky čemuž nelze uvažovat reálnou spotřebu, ale je nutné počítat s predikcí z PENB.

Opět jsou koeficienty rozděleny dle tříd budov z tabulky 3-2. Některé koeficienty nejsou pro další výpočty potřebné, jelikož jsou vypočítány pro třídu budov, pro kterou jsou všechny budovy s kompletními informacemi, či ho nelze použít pro relevantní přepočet. Vypočteny jsou proto všechny koeficienty čistě pro úplnost dat, avšak některé nebudou mít dále v práci využití.

Použití tohoto koeficientu je podstatné čistě pro třídu budov 4, jelikož se jedná o budovy ZŠ 2. stupeň a nové centrum včetně sportovní haly, které jsou budoucími projekty. Pro ZŠ 2. stupeň jsou dostupné akorát faktury stávající budovy, která je nyní vedena jako ubytovna, tudíž nelze tato data porovnávat. Pro nové centrum pak nejsou data o spotřebě dostupná vůbec. Proto nelze použít spotřebu uvedenou ve fakturách. To vede k zavedení koeficientu kdv_x , který se vypočítá z informace o příkonu kotle a dodané energie z PENB. Tento koeficient lze vypočítat opět pouze pro stejné čtyři budovy jako v předchozích kapitolách 3.1 a 3.2.

Výpočet pro ZŠ 2. stupeň, kdy je z PENB známá dodaná energie – $E_{d,1} = 108670$ kWh/rok. Dále lze získat z PENB informaci o navrhovaném kotli, který má mít příkon – $P_{k,1} = 90$ kW. Pro bezrozměrnost koeficientu je nutné vydělit počtem hodin v roce, tedy 8760 h.

$$(6) \quad kdv_{4,1} = \frac{E_{d,1}}{8760 \cdot P_{k,1}} = \frac{108670}{8760 \cdot 90} = 0,1378$$

Pro nové centrum je pak dodaná energie – $E_{d,2} = 138860$ kWh/rok. Příkon kotle je pak podle PENB plánovaný na – $P_{k,2} = 103,8$ kW.

$$(7) \quad kdv_{4,2} = \frac{E_{d,2}}{8760 \cdot P_{k,2}} = \frac{138860}{8760 \cdot 103,8} = 0,1527$$

Tabulka 3-7 potřebné informace a koeficienty $kdv_{x,y}$

Informace o budovách	Dodaná energie z PENB [kWh/rok]	Příkon kotle [kW]	Třída budovy	Koeficient přepočtu mezi dodanou energií a výkonem kotle - kdv [-]
Ubytovna (ZŠ 2. stupeň)	108670	90,0	4	0,1378
Zdravotní centrum	23254	21,0	3	0,1264
Nové centrum vč. Sportovní haly	138860	103,8	4	0,1527
Rodinný dům	57457	45,0	2	0,1458

Koeficient kdv_4 se pak vypočítá aritmetickým průměrem koeficientů z rovnic (6) a (7).

$$(8) \quad kdv_4 = \frac{kdv_{4,1} + kdv_{4,2}}{2} = \frac{0,1378 + 0,1527}{2} = 0,1453$$

Tento koeficient se použije pro přepočet budov stejné třídy, pro které je známa spotřeba. Vnáší se tím do výpočtu nepřesnost, ovšem vzhledem k dostupnosti dat spotřeby budov 4. třídy se tento postup jeví nejpřesnější.

Tabulka 3-8 vypočítané koeficienty kdv_x

Koeficienty kdv	
kdv_2	0,1458
kdv_3	0,1264
kdv_4	0,1453

Koeficienty ksv_x

Koeficient ksv je vytvořen na základě závislosti reálné spotřeby na příkonu kotle na základě podobnostního kritéria. Jelikož je však informace o spotřebě dostupná pro všechny budovy, jedná se tak o důležitý koeficient, kterým je možnost přibližně zjistit požadovaný příkon kotlů u budov, u kterých není dostupná jiná informace než právě spotřeba energie na vytápění.

Výpočet koeficientu ksv je uveden pouze pro třídu budov 3, jelikož jsou zbylé budovy, pro které nelze zjistit příkon kotle jiným způsobem, právě v této třídě. Přepisy z faktur jsou uvedeny v příloze. Pro jedinou budovu třídy 2 je totiž příkon kotle známý, a pro zbylé dvě budovy, které jsou ve 4. třídě, se známým příkonem kotle nejsou známy spotřeby, jelikož se jedná o projekty budoucí, a faktury jsou doloženy pouze pro aktuálně existující budovy.

Příklad výpočtu koeficientu ksv je uveden pro budovu zdravotní centrum, pro kterou je uvedena roční spotřeba energie – $E_{s,3} = 24763,9$ kWh/rok a příkon kotle $P_{k,3} = 21$ kW. Pro bezrozměrnost koeficientu je nutné vydělit počtem hodin v roce, tedy 8760 h.

$$(9) \quad ksv_3 = \frac{E_{s,3}}{P_{k,3}} = \frac{24763,9}{21 \cdot 8760} = 0,1346$$

Tento koeficient se následně použije v kombinaci s doloženou spotřebou budov stejné třídy, pro které není znám příkon kotle a je pro ně dostupná pouze spotřeba energie na vytápění.

3.4 Výpočty příkonu jednotlivých kotlů

Nyní, když jsou vypočítané koeficienty z minulé kapitoly, tak je možné dopočítat nominální příkon kotlů pro všechny budovy. To bude potřebné zejména pro řešení, které počítá s nahrazením existujících kotlů samostatnými kotli v každé budově.

Pro poslední zbývající budovu třídy 4, obecního úřadu, bude využit koeficient kdv_4 , a to z důvodu nedostupnosti spotřeby pro vzorové budovy třídy 4. Vypočítaným koeficientem kdv_4 se v tomto případě podělí dodaná energie z PENB. Tím vzniká dodatečná nepřesnost, jelikož se porovnávají reálná data s teoretickými. Pro správné použití koeficientu je nutné vydělit počtem hodin v roce, tedy 8760 h.

Pro obecní úřad je dostupná spotřeba energie na vytápění – $E_{s,4} = 113049,8$ kWh/rok.

$$(10) P_{k,4} = \frac{E_{s,4}}{8760 \cdot kdv_4} = \frac{113049,8}{8760 \cdot 0,1453} = 88,8 \text{ kW}$$

Pro budovu obecního úřadu je tak vhodné vybrat kotel s příkonem nad 88,8 kW, tudíž jako vhodná varianta se jeví kotel o příkonu 90 kW.

Pro ostatní budovy (školka, hasičská zbrojnice, ubytovna), je použit koeficient ksv_3 . Tím je vydělena spotřeba dodaná fakturami a vychází tak přibližný příkon kotle.

Výpočet je uveden pro školku, která má spotřebu – $E_{s,5} = 72858,7$ kWh/rok. Výsledek je nutné vydělit počtem hodin v roce, tedy 8760.

$$(11) P_{k,5} = \frac{E_{s,5}}{ksv_3} = \frac{72858,7}{0,1346 \cdot 8760} = 61,8 \text{ kW}$$

Tabulka 3-9 příkony kotlů

Informace o budovách	Příkon kotle [kW]
Ubytovna (ZŠ 2. stupeň)	90,0
Zdravotní centrum	21,0
Nové centrum vč. Sportovní	103,8
Rodinný dům	45,0
Obecní úřad	88,8
Školka	61,8
Hasičská zbrojnice	7,6
Ubytovna	24,5
Celkový potřebný příkon	442,6

3.5 Návrh centrálního kotle

Pro celý komplex bude zapotřebí výkon adekvátní součtu jmenovitých výkonů kotlů, jelikož aktuální řešení vytápění je zařízeno vlastní spalovací jednotkou v každé budově. Navrhované řešení počítá s centrální jednotkou. Výpočty jsou vedeny pro celkový potřebný výkon všech budov, ale při reálné realizaci by bylo vhodné do výkonu centrální kotelny nezapočítat rodinný dům, který je příliš vzdálený od ostatních budov. Proto je výhodnější pro rodinný dům pořídit samostatný kotel.

Účinnost jednotlivých kotlů

Pro podložení výpočtem je nutné vědět účinnost stávajících kotlů a kotle nového. Proto předběžně určíme kotel s nejbližším vyšším výkonem, kterým je SMART 450 kW a zjistíme pro něj účinnost.

Pro celkovou účinnost budou brána data o účinnosti stávajících kotlů pouze u 4 budov, pro které jsou známé kotle i s účinností. Z nich se vytvoří vážený průměr a použije se pro celkový tepelný výkon.

Tabulka 3-10 účinnosti jednotlivých plynových kotlů

Informace o budovách	Účinnost kotle [%]	Příkon kotle [kW]
Ubytovna (ZŠ 2. stupeň)	95,0	90,0
Zdravotní centrum	94,0	21,0
Nové centrum vč. Sportovní haly	103,0	103,8
Rodinný dům	92,0	45,0
Průměrná účinnost kotle/ celkový příkon kotlů	97,6	259,8

Účinnost navrhovaného centrálního kotle je $\eta_{ck} = 95 \% [8]$,
Průměrná účinnost stávajících kotlů z tabulky 3-10 je $\eta_p = 97,6 \%$,
Celkový potřebný příkon z kapitoly 3.4 vychází $P_{celk} = 442,6 \text{ kW}$,
Celkový výkon původních kotlů tak zjistíme vynásobením účinností těchto kotlů.

$$(12) P_{k,celk} = P_{celk} \cdot \eta_{ck} = 442,6 \cdot 0,976 = 432,0 \text{ kW}$$

Potřebný příkon pro centrální kotel pak získáme z účinnosti navrhovaného kotle a celkového výkonu původních kotlů.

$$(13) P_{ck} = \frac{P_{c,celk}}{\eta_{ck}} = \frac{432}{0,95} = 454,7 \text{ kW}$$

Pro centrální kotel se navrhuje nominální příkon 500 kW, který poskytuje velkou rezervu ve výkonu.

Pokud ovšem nebude možné vystavět teplovod v obci, bude zapotřebí vypočítat i možnost, při které má každá budova svůj vlastní kotel. Tato možnost ovšem značně komplikuje příkládání kvůli velkému množství kotlů na různých místech, proto je primárně počítáno s možností centrálního kotle.

Jelikož je kotel o jmenovitém tepelném výkonu 500 kW náročnější na rozjezd, tak se nabízí řešení, při kterém se využije dvou kotlů o výkonech 300 kW a 200 kW. Výhodou takového řešení je méně náročný rozjezd a tím i nižší náklady na něj v období, kdy není potřeba využívat celý výkon kotle, tudíž se namísto toho využije pouze jeden z kotlů. Zároveň toto provedení dává prostor pro odstavení jednoho z kotlů při akutní nutnosti opravy a při tom je stále zachována možnost alespoň částečného vytápění. Další výhodou je lepší regulace.

Požadavkem na kotel je typ paliva, kterým je biomasa, tudíž se uvažuje kotel na tuhá paliva. Dle požadovaného výkonu je nejvýhodnější volbou roštový kotel, které se vyrábí ve výkonovém rozsahu 0,025 MW až 150 MW [6]. Dále je tedy nutné vybrat správný rošt a také zpracování biomasy. Pro biomasu spalovanou na roštu se musí dodržet maximální teplota v ohništi 1000-1300°C [6].

Jelikož biomasou pro spalování je myšlený lesní a další dřevní odpad, bude tak mít toto palivo vysokou vlhkost, tudíž se bude snižovat výkon kotle, protože je zapotřebí zvětšit plochu kotle, na které dochází k vysoušení paliva. Pro snížení obsahu vody v palivu je možné předsušení paliva, které je však časově i energeticky náročné. Další možností je zvýšení teploty spalovacího vzduchu, čímž se sníží živostnost roštnic. Poslední možností je využití pohazovacího zařízení, které umožňuje částečné vysoušení paliva v letu před jeho dopadem na rošt. [6]

Při výběru roštu je potřeba brát v potaz správnou konstrukci, kdy se pro spalování biomasy, která má vysoký podíl prchavé hořlaviny, využívají ohniště se dvěma ohnisky hoření. U této konstrukce dochází ke spalování na roštu i v prostoru nad roštem. Vrstva paliva hoří dlouhým plamenem a tato ohniště bývají seškracená, aby bylo při delším plamenu zajištěno promíchání prchavé hořlaviny se vzduchem. Dále je do ohniště nad rošt zaváděn sekundární vzduch, jehož podíl se zvětšuje se zvětšujícím se podílem prchavé hořlaviny. [6]

Dalším důležitým parametrem je typ roštu, u kterého je na výběr ze tří možností. Nabízí se rošty s nehybnou vrstvou paliva (pevné rošty), které se vyznačují současným sušením paliva, vypařováním vody, odplyňováním a hořením pevného uhlíku. Další možností je použití rošty s občasným přemísťováním paliva (rošty stupňové a přesuvné), kdy se díky přesuvu paliva rozrušuje spečená škvára, promíchává a posouvá se palivo a odvádí se popel z ohniště. Poslední možností je využití roštů s trvalým přemísťováním paliva (rošty pásové a řetězové), které jsou tvořeny nekonečným pásem. Tvoří je články masivního Gallova řetězu. Výhodou je, že je rošt tepelně namáhán pouze v horní části, avšak ve spodní je chlazen, proto je možnost tento rošt použít pro výhřevnější paliva, aniž by docházelo k opalu. [6]

Automatické kotle
na biomasu

SMART 500 kW



CSN-EN 303.5/2013
ISO 9001:2009

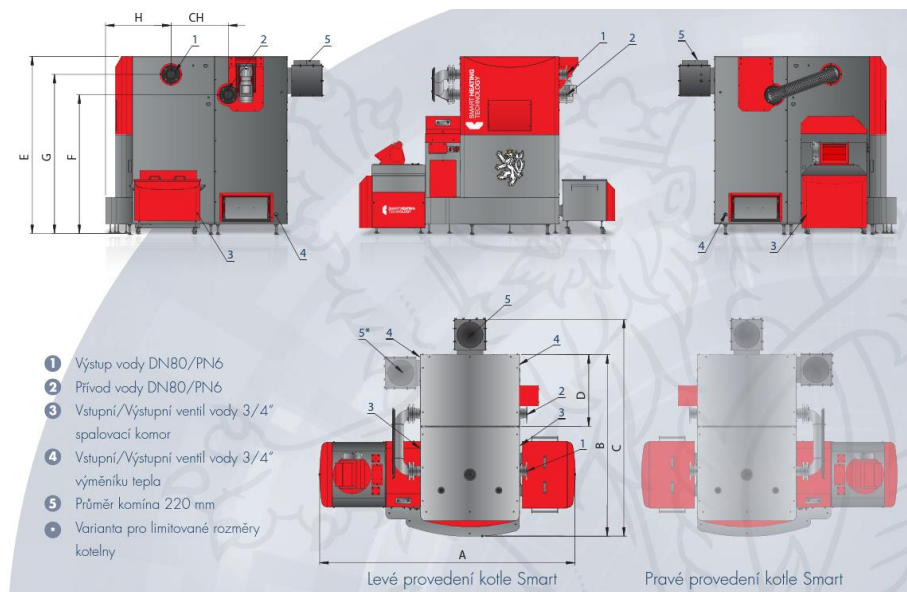
Ve spolupráci s:
SIEMENS



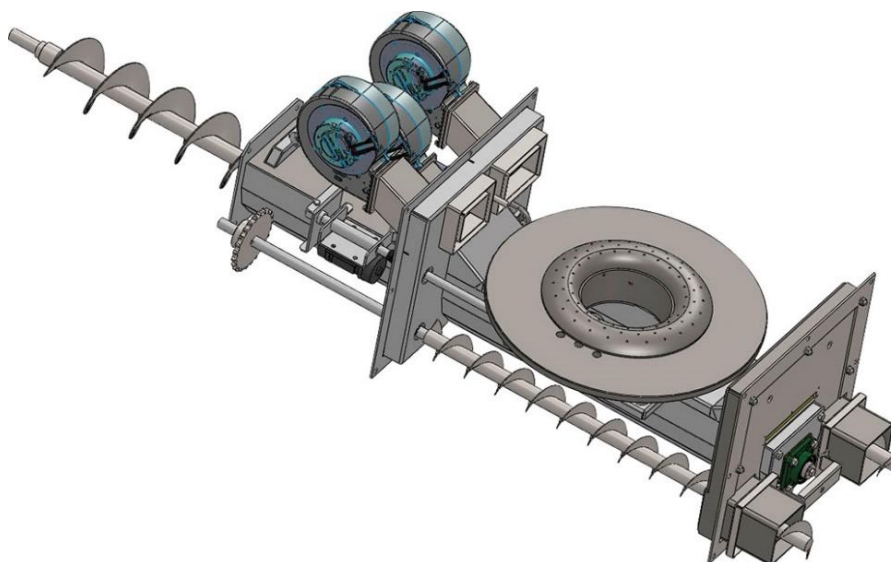
* S podmínkou Zkoušení Paliva a Chemického Rozboru!

Obrázek 3-2 navrhovaný centrální kotel SMART 500kW [8]

Navrhovaný kotel SMART 500kW má litinový vibrační rošt, který se řadí do skupiny roštů s občasným přemísťováním paliva [8]. Rozdílný oproti ostatním roštům z této skupiny je tím, že má lepší účinnost spalování uhlíkatých sloučenin, méně náročnou údržbu díky nižšímu počtu pohyblivých součástí [6]. Je vhodný pro spalování paliv s nízkým podílem popelem jako biomasa [6]. Účinnost tohoto kotle udávaná výrobcem je 95 % [8].



Obrázek 3-3 schéma kotle [8]



Obrázek 3-4 vibrační rošt [8]

3.6 Návrh samostatných kotlů

Samostatné kotle do každé budovy by byly obdobou aktuálně fungujícího systému. Jejich výhodou je možnost přizpůsobit individuální potřeby budov, díky čemuž se sníží energie potřebná k rozjezdu kotle. Dále se v obdobích, kdy je nutnost vytápet pouze v některých budovách naskýtá výhoda. Tou je, že není třeba rozjíždět centrální kotel, který je nutné zásobit alespoň minimálním množstvím paliva, které přesahuje nutnou spotřebu. Nevýhoda takového řešení ovšem spočívá ve vyšší logistické zátěži, jelikož je nutnost přikládat do kotlů individuálně, což dělá tento systém náročný na obsluhu. Dále je nutné vzít v potaz, že je tento způsob vytápění vhodný pouze pro menší budovy či pro bytové jednotky.

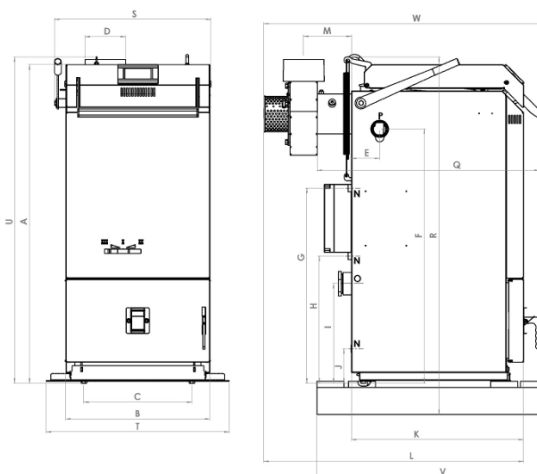
Blaze PRAKTIK

Navrhovaným kotlem pro toto řešení je například zplynovací kotel BLAZE PRAKTIK, jehož účinnost je dle výrobce až 94 %. Zároveň má výbornou regulaci výkonu 30 – 100 %. Jeho primární výhodou je systém vypnutí ventilátoru při poklesu objemu paliva v příkladací komoře. To má za následek zastavení procesu hoření, díky čemuž se ve spalovací komoře udrží stáložárná vrstva několik hodin, čímž se sníží počet roztápění v kotli. Dále je výhodou, že v případě, kdy se nepřiloží palivo včas, tak zůstane v kotli vrstva nespálených uhlíků vhodných pro další roztápění. Do 24h od přiložení lze navíc pouze přiložit palivo a zapnout ventilátor bez zapalování. Tato výhoda má sekundární efekt, kdy se díky tomuto efektu nemusí kotel čistit od popela, proto je vhodný i po stránce údržby. [9]



Obrázek 3-5 navrhovaný kotel BLAZE PRAKTIK [9]

	BP25	BP40
A	1200	1200
B	530	714
C	400	585
D	Ø149	Ø149
E	104	104
F	940	940
G	719	719
H	469	469
I	368	368
J	128	128
K	634	634
L	955	955
M	176	176
N	G1/2"	G1/2"
O	G2 1/2"	G2 1/2"
P	G 6/4"	G 6/4"
Q	818	818
R	1317	1317
S	576	760
T	684	868
U	1202	1202
V	850	850
W	1038	1038



*vstup studené vody do kotle redukovaný redukcí na 6/4"

**maximální přepravní rozměr po sundání ventilátoru

BLAZE HARMONY s.r.o.

2
TECHNICKÝ LIST KOTLE: BLAZE PRAKTIK

www.blazeharmony.com

Obrázek 3-6 technický list kotle [9]

Atmos DC

Alternativou k tomuto kotli je zplyňovací kotel na dřevo Atmos DC 50 GD, který má speciální topeniště vyložené keramickými tvarovkami z obou stran a ve spodní části je opatřené otvory pro přívod předehřátého primárního vzduchu. Dále nabízí zadní spalínový kanál s trubkovým výměníkem. Díky tomu poskytuje kotel možnost ideálního vyhoření všech spalitelných látek. Spalovací proces a dodání vzduchu do kotle je řízeno odtahovým ventilátorem, proto je možné kotel velice rychle roztopit. Celkově kotel umožňuje prakticky dokonalé spalování s minimem vyloučených škodlivých látek. Kotle se vyrábí s výkony 18, 25, 30, 40 a 50 kW a jejich účinnost spalování se pohybuje od 90,3 % do 92 %, v závislosti na výkonu kotle. Čím vyšší výkon, tím větší je účinnost spalování. [38]



Obrázek 3-7 navrhovaný kotel Atmos DC 50 GD [38]

ECO-HK

Pro nové centrum se sportovní halou je pak vhodný kotel ECO-HK 110 kW, jelikož by při výkonu kotlů uvedených výše bylo zapotřebí minimálně tří kotlů. To je nevýhodné zejména z hlediska ekonomického, z hlediska náročnosti obsluhy i z hlediska zapojování. Tento kotel dosahuje účinnosti až 93 % jak při plném, tak při částečném zatížení. Regulace výkonu je možná v rozmezí 30-100 %. Má dvojitý otočný vibrační rošt, který je vhodný pro spalování dřevní štěpky. Díky odsávání popele je dle výrobce interval údržby až jeden rok. Vyrábí se ve výkonnostních řadách 70, 90, 100, 110 a 120 kW. [39]



Obrázek 3-8 navrhovaný kotel ECO-HK 110 kW [39]

4. Ekonomická výhodnost

Důležitým aspektem výběru je také ekonomická stránka celého nákupu a výměny. Nejde však pouze o pořizovací náklady, ale i o cenu provozu a případně další vzniklé výdaje s tím spojené. Náklady na práci a cena teplovodu je ve výpočtech zanedbána. To znamená, že případná návratnost bude v horizontu delším, než je uvedený.

4.1 Cena kotlů

Jedná se o pořizovací cenu s montáží, která tvoří zásadní podíl na době návratnosti daného projektu. Do toho také zásadně zasáhne cena teplovodu u řešení s centrálními kotli, zatímco u řešení s jednotlivými kotli se jedná o finální cenu.

Ceny kotlů jsou získány na základě nabídky firmy FICHEMA s.r.o. a zahrnují i montáž kotlů.

Cena 500kW kotle

$$C_{500} = 1\,800\,000 \text{ Kč}$$

Cena kombinace 300kW a 200kW kotlů

$$C_{\text{kom}} = 1\,550\,000 \text{ Kč}$$

U kotlů BLAZE PRAKTIK je nutné vypočítat jejich počet a výkony. Potřebné výkony kotlů se převezmou z tabulky 3-9. Tyto kotle se vyrábí s výkonem 25 kW nebo 40 kW. Při nabízené ceně 136 000 Kč za instalaci jednoho kotle.

Pro kotle ATMOS DC je pak cena 165 000 Kč za kotel s instalací.

Nyní se vypíšou počty kotlů rozdělené dle výrobce. Poté bude provedena optimalizace tak, aby v jednom domě byly kotle pouze od jednoho výrobce a jejich počet nepřesahoval 2.

Tabulka 4-1 cena kotlů BLAZE PRAKTIK

Informace o budovách	Příkon kotle [kW]	Počet kotlů BLAZE PRAKTIK 40 kW	Počet kotlů BLAZE PRAKTIK 25 kW	Celková cena
Ubytovna (ZŠ 2. stupeň)	90,0	1	2	408000
Zdravotní centrum	21,0	0	1	136000
Nové centrum vč. Sportovní haly	103,8	2	1	408000
Rodinný dům	45,0	0	2	272000
Obecní úřad	88,8	1	2	408000
Školka	61,8	1	1	272000
Hasičská zbrojnice	7,6	0	1	136000
Ubytovna	24,5	0	1	136000
Cena celkem				2176000

Cena kotlů BLAZE PRAKTIK celkem $C_{j, BP} = 2\,176\,000 \text{ Kč}$

Tabulka 4-2 cena kotlů ATMOS DC

Informace o budovách	Příkon kotle [kW]	Počet kotlů Atmos DC 30 DG	Počet kotlů Atmos DC 40 DG	Počet kotlů Atmos DC 50 DG	Celková cena
Ubytovna (ZŠ 2. stupeň)	90,0	0	1	1	330000
Zdravotní centrum	21,0	1	0	0	165000
Nové centrum vč. Sportovní	103,8	1	2	0	495000
Rodinný dům	45,0	0	0	1	165000
Obecní úřad	88,8	0	1	1	330000
Školka	61,8	1	1	0	330000
Hasičská zbrojnice	7,6	1	0	0	165000
Ubytovna	24,5	1	0	0	165000
Cena celkem					2145000

Cena kotlů ATMOS DC celkem $C_{j,A} = 2\,145\,000$ Kč

Kotel ECO-HK 110 kW je navrhován pouze pro budovu nového městského centra se sportovní halou, jelikož pro tuto budovu nebyla u zbývajících kotlů možnost konfigurace tak, aby byl maximální počet kotlů 2.

Cena kotle ECO-HK $C_{j,E} = 260\,000$ Kč

Tabulka 4-3 výsledné konfigurace kotlů pro jednotlivé budovy

Informace o budovách	1. kotel	2. kotel	Celková cena
Ubytovna (ZŠ 2. stupeň)	ATMOS DC 40 DG	ATMOS DC 50 DG	330000
Zdravotní centrum	BLAZE PRAKTIK 25 kW	/	136000
Nové centrum vč. Sportovní haly	ECO-HK 110 kW	/	260000
Rodinný dům	ATMOS DC 40 DG	/	165000
Obecní úřad	ATMOS DC 40 DG	ATMOS DC 50 DG	330000
Školka	BLAZE PRAKTIK 25 kW	BLAZE PRAKTIK 40 kW	272000
Hasičská zbrojnice	BLAZE PRAKTIK 25 kW	/	136000
Ubytovna	BLAZE PRAKTIK 25 kW	/	136000
Cena celkem			1765000

4.2 Cena paliva

Cena (průměrná) pro zemní plyn ze srpna roku 2023 je 1,581 Kč/kWh [10]. Tato hodnota je uvedena pouze pro srovnání s realitou, pro výpočty je uvedena cena zemního plynu z faktur počítaná váženým průměrem. Cena z faktur je uvedena v období mezi srpnem roku 2021 a 2022. Je nutné podotknout, že se nejedná o spotřebu pro budoucí objekty, ale pro stávající. Tudíž je spotřeba i cena teoretická a slouží pouze pro porovnání mezi cenou za zemní plyn a cenou za biomasu. Při spotřebě 313476,1 kWh za rok zjištěné z faktur zaokrouhlené na 320 MWh pro výpočet. Pro dřevní štěpku je pak cena v okolí obce Čebín 601 Kč/m³ při odběru nad 1 m³ [11]. To je zapotřebí přepočítat na cenu za kWh, kdy se počítá s výhřevností dřevní štěpky z kapitoly 5.3 o hodnotě 4,061 kWh/kg.

Nominální výkon obou kotlů je 500 kW. Pro výpočet spotřeby paliv se použije celková vypočítaná spotřeba energie.

Celková spotřeba energie $E_{celk} = 320000$ kWh
 Objemová hmotnost dřevní štěpky o vlhkosti 55 % $\rho_{dš} = 300$ kg/m³ [14]
 Výhřevnost dřeva $x_{dš,j} = 14,62$ MJ/kg [22]
 Cena dřevní štěpky za objem $c_{dš,o} = 601$ Kč/m³
 Cena zemního plynu z faktur $C_p = 0,943$ Kč/kWh

Přepočítání výhřevnosti dřeva na kWh

$$(14) x_{dš,w} = \frac{x_{dš,j}}{3600} = \frac{14620}{3600} = 4,061 \text{ kWh/kg}$$

Přepočítání ceny dřevní štěpky na hmotnost

$$(15) c_{dš,h} = \frac{c_{dš,o}}{\rho_{dš}} = \frac{601}{300} = 2,003 \text{ Kč/kg}$$

Přepočítání ceny dřevní štěpky na kWh

$$(16) C_{dš,w} = \frac{c_{dš,h}}{x_{dš,w}} = \frac{2,003}{4,061} = 0,493 \text{ Kč/kWh}$$

Cena zemního plynu je tvořena váženým průměrem z dostupných faktur. Faktury jsou celkem 4 pro 7 budov. Celkem je budov 8, což je způsobeno tím, že faktury jsou vedeny pro stávající objekty, ale některé z nich se mají přestavovat, rozšiřovat, či teprve stavět. První faktura je vedena pro obecní úřad, hasičskou zbrojnicí a školku. Druhá je vedena pro ubytovnu č.p. 42 a rodinný dům. Třetí faktura je pro ubytovnu č.p. 20 a poslední faktura uvádí spotřebu zdravotního střediska.

Tabulka 4-4 nasmlouvané ceny plynu z období 8/2021 až 8/2022

Dodaných kWh	Cena za kWh
195067	0,698
77712	0,862
16151	1,385
25665	2,777
Průměrná cena za kWh	0,943

Cena paliv za rok

Cena dřevní štěpky za rok

$$(17) C_{dš,r} = E_{celk} \cdot C_{dš,w} = 320000 \cdot 0,493 = 157760 \text{ Kč/rok}$$

Cena zemního plynu za rok

$$(18) C_{p,r} = E_{celk} \cdot C_p = 320000 \cdot 0,943 = 301760 \text{ Kč/rok}$$

Tabulka 4-5 ceny paliv pro období 8/2023

	Zemní plyn	Dřevní štěpka
Cena paliva [kč/kWh]	0,943	0,493
Cena paliva za rok [kč]	301 760	157 760

Z ekonomického hlediska se vyplácí spalování dřevní štěpky oproti zemnímu plynu.

Úspora těžbou

Do výpočtu lze také zahrnout možnost odběru lesního odpadu z obecního lesa, který má rozlohu 70 ha (700 000 m²). Ze zprávy o stavu lesa 2021 vyplývá, že podíl technicky dostupného lesního paliva je v rozmezí 55-60 % [12]. Toto číslo se však může lišit na základě mnoha faktorů a podmínek jako jsou evropské a národní zákony a nařízení, dostupnost biomasy či sociální a ekonomické faktory [12].

Z toho lze odhadnout množství lesního odpadu a tím i množství paliva, za které bude moci obec ušetřit. Ve výpočtech se uvádí nižší hodnota 55 %. Průměrné množství dřeva v lese je v České republice 263 m³/ha [13].

Rozloha lesa	$S_l = 70$ ha
Hustota lesa	$\rho_l = 263$ m ³ /ha
Objemová hmotnost dřevní štěrky o vlhkosti 55 %	$\rho_{dš} = 300$ kg/m ³ [14]
Podíl lesního odpadu	$p_o = 0,55$
Mýtní období	$t_{mo} = 100$ let
Možné zisky dřeva za rok	

$$(19) \quad z = \frac{S_l \cdot \rho_l}{t_{mo}} = \frac{70 \cdot 263}{100} = 184,1 \text{ m}^3/\text{rok}$$

Možné množství lesního odpadu za rok

$$(20) \quad o_l = z \cdot p_o = 184,1 \cdot 0,55 = 101,3 \text{ m}^3$$

Hmotnost lesního odpadu za rok

$$(21) \quad m_{lo} = o_l \cdot \rho_{dš} = 101,3 \cdot 300 = 30390 \text{ kg}$$

Potencionální zisk za rok

$$(22) \quad f = m_{lo} \cdot c_{dš} = 30390 \cdot 2,003 = 60871 \text{ Kč}$$

Při těžbě 100 % plochy lesa je možnost získat 3037,5 tun paliva, což může ve finále ušetřit kolem 5 mil. Kč. Výpočet je pro mýtní období 100 let, tudíž 0,7 ha/rok, což může znamenat úsporu kolem 60 000 Kč/rok. Jedná se o 30,4 tun paliva za rok, což nedosahuje potřebného množství, tudíž je zapotřebí dokupovat dřevní štěrku. Finální částka se může silně odchylovat vlivem nepřesností, jako je množství dřeva a podíl lesního odpadu, jelikož se jedná o průměrné hodnoty. Další odchylku na ušetřené částce může vytvořit neaktuálnost informací, či inflace. To je způsobeno tím, že je těžba takto velké plochy lesa záležitostí mnoha let, kdy se mohou dané proměnné silně odchýlit od uvedených hodnot.

4.3 Cena práce

Jelikož jsou počítány náklady pro tři možnosti, tak je důležité připočítat cenu za obsluhu kotlů, které budou přibližně podobné pro centrální řešení, avšak pro jednotlivé kotle v každé budově se bude výrazně lišit.

Pro práci se započítá minimální mzda zaokrouhlená na bližší vyšší desítku, tím se částečně pokryje potenciální nárůst minimální mzdy nad tuto hodnotu. Doba obsluhy je orientační.

Topná sezóna pro okolí Brna z kapitoly 4.2 je dlouhá 273 dní [23].

Minimální mzda	$m_m = 103,8$ Kč/h [15]
Výpočetní mzda	$m_v = 300$ Kč/h (náklady pro zaměstnavatele)
Doba obsluhy 500kW kotle	$t_{500} = 1$ h/den
Doba obsluhy kombinace kotlů	$t_{kom} = 1,5$ h/den
Doba obsluhy jednotlivých kotlů	$t_j = 3$ h/den

Cena za obsluhu za topnou sezónu:

500kW kotle

$$(23) \quad f_{500} = 273 \cdot t_{500} \cdot m_v = 273 \cdot 1 \cdot 300 = 81900 \text{ Kč}$$

Kombinace kotlů

$$(24) \quad f_{kom} = 273 \cdot t_{kom} \cdot m_v = 273 \cdot 1,5 \cdot 300 = 122850 \text{ Kč}$$

Jednotlivých kotlů

$$(25) \quad f_j = 273 \cdot t_j \cdot m_v = 273 \cdot 3 \cdot 300 = 245700 \text{ Kč}$$

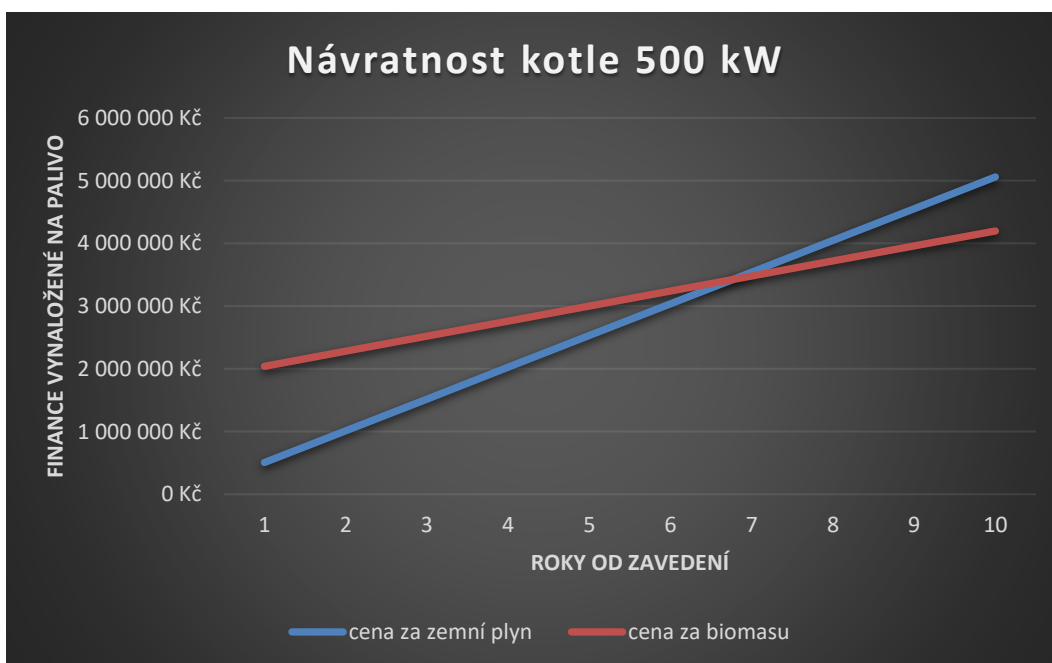
Cena za obsluhu původního řešení je počítána jako nulová, jelikož původní plynové kotle nevyžadují téměř žádnou obsluhu.

4.4 Návratnost projektu

Návratnost projektu popisuje dobu, za kterou se navrátí náklady na pořízení daných provedení vzhledem k aktuálnímu řešení kotlů na zemní plyn. Do výpočtu je zařazena pořizovací cena kotlů, cena za provoz i cena za obsluhu. Do grafů není započítána inflace ani možný výkyv cen paliv. Dále není brána v potaz cena výstavby teplovodů pro první dvě řešení s centrálními kotli. To znamená, že návratnost bude spíše opožděna. Toto opoždění může ještě umocnit cena zemního plynu, jelikož je tato práce vypracována v období poklesu cen paliv po extrémním nárůstu. Tento pokles ceny (na burze) zaznamenal zejména zemní plyn, který poklesl za období mezi 21.5. 2022 a 21.5. 2023 o 70,6 % [16]. To znamená, že v případě pokračujícího trendu zlevňování zemního plynu bude opoždění návratnosti ještě větší.

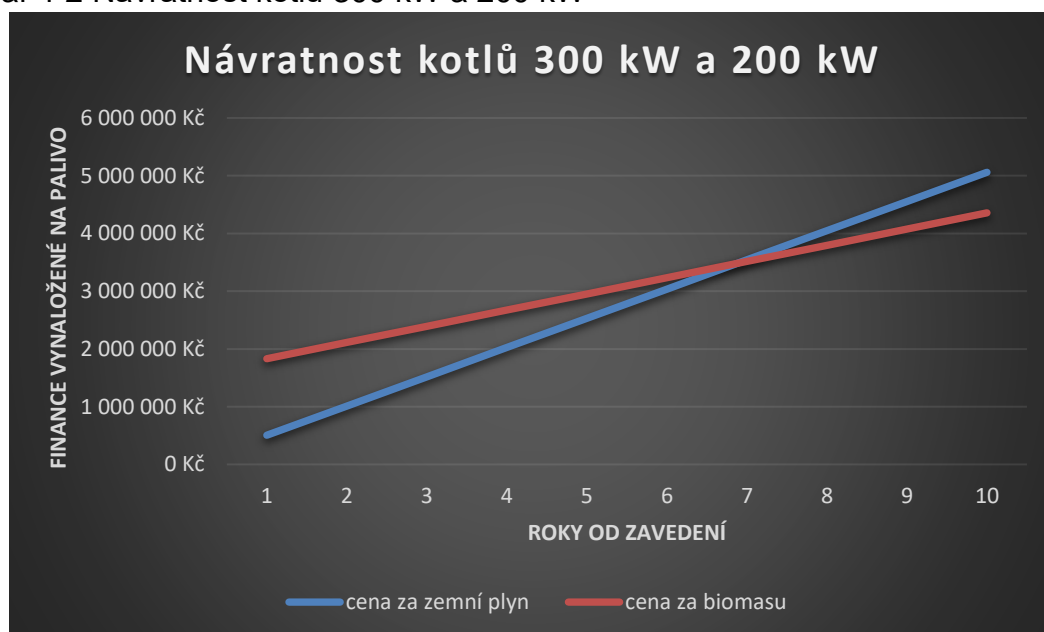
V případě řešení s jedním kotlem o výkonu 500 kW s pořizovací cenou 1 800 000 Kč a cenou za roční obsluhu 81 900 Kč za sezónu je návratnost možná již za 7 let.

Graf 4-1 Návratnost kotle 500 kW



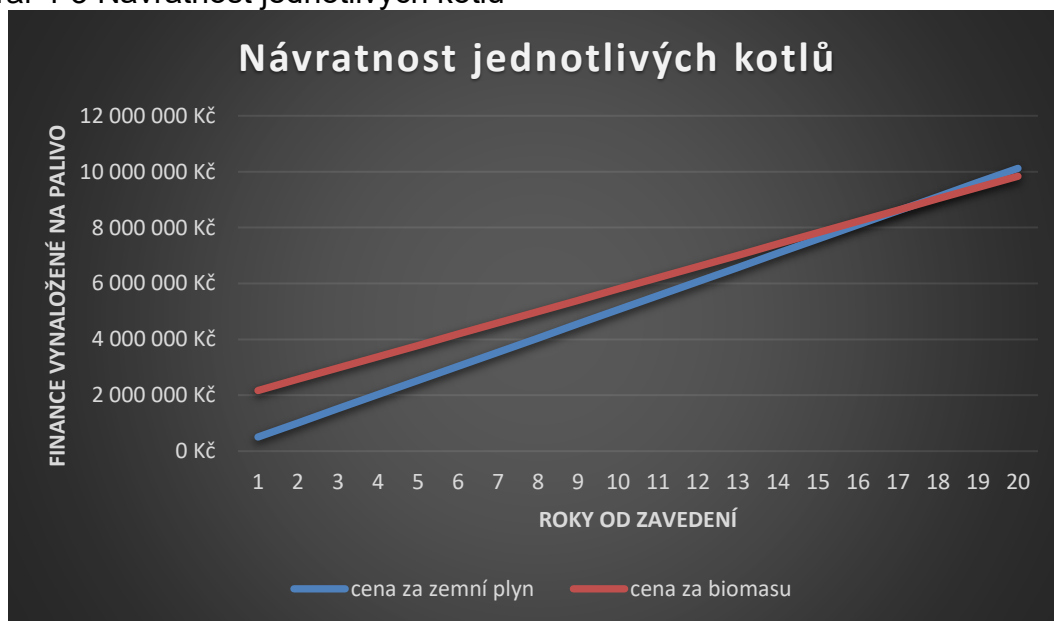
Řešení se dvěma kotli o výkonech 300 kW a 200 kW s pořizovací cenou 1 550 000 Kč a cenou za obsluhu 122 850 Kč za sezónu má návratnost možnou opět za zhruba 7 let.

Graf 4-2 Návratnost kotlů 300 kW a 200 kW



Možnost jednotlivých kotlů pro každou budovu dle konfigurace z tabulky 4-3 s pořizovací cenou 1 765 000 Kč (dohromady 11 kotlů) a cenou za sezónní obsluhu 245 700 Kč má návratnost za zhruba 17 let.

Graf 4-3 Návratnost jednotlivých kotlů



Provedení s nejrychlejší návratností je tedy řešení s centrální kotelnou, konkrétně s jedním kotlem o výkonu 500 kW. Jelikož je však návratnost velmi podobná návratnosti řešení s kotli o výkonech 300 kW a 200kW, kdy ušetří na svůj nákup a provoz také po zhruba 6 letech, které k tomu nabízí i další značné výhody popsané v kapitole 3.5, jeví se tak jako ideálním řešením jak po konstrukční, tak po ekonomické stránce.

5. Ekologické dopady

Produkce každého paliva má své výhody a svá úskalí. Velký ekologický dopad má způsob získávání energie z daných paliv. Z každého paliva se totiž získává energie jiným způsobem a tyto způsoby mají i rozdílný dopad na ekologii. Způsob

získávání energie z paliv ovšem není jediným ekologickým aspektem, na který bychom měli hledět. Nezanedbatelný vliv má i samotné získávání paliv, které může být natolik rizikové, že se přechází k méně efektivním, ale ekologičtějším palivům.

5.1 Těžba zemního plynu

Stávající řešení vytápění plynem přináší jistou zátěž pro životní prostředí. Zemní plyn se nachází buď v samostatných kapsách, nebo s ropou či černým uhlím [17]. Dle toho, s čím se v kapsách nachází, se zemní plyn dělí na naftový a karbonský [18]. To znamená, že je možná těžba více nerostných surovin naráz, což částečně snižuje ekologické dopady. Ložiska zemního plynu se nacházejí jak na pevnině, tak pod mořským dnem. [18]. Zemní plyn se těží pomocí sond [17]. Vrtý pro těžbu plynu jsou několik stovek až tisíců metrů hluboké [17].

Jedním z druhů zemního plynu je tzv. břidlicový plyn. Je to zemní plyn nahromaděný v břidlici. Jeho těžba probíhá hydraulickým frakováním. Hydraulické frakování, též hydraulické štěpení, probíhá vtlačováním směsi vody, písku a dalších chemikálií do slabě zpevněných usazených hornin, čímž vznikají umělé trhliny, kterými se následně přemísťují tekutiny (ropa, zemní plyn či další). Frakování vyvolává obavy z kontaminace spodních vod, ovlivnění kvality ovzduší a následků případné havárie. Stejně tak nebezpečné může být i špatné zacházení s odpady vzniklými při tomto procesu [19]. Dále je s frakováním spojená zvýšená seismická aktivita [19]. Možnost kontaminace spodních vod přitom nevzniká při samotném frakování, pokud se provádí v dostatečných hloubkách [19]. Problém nastává, pokud se frakování používá pro mělké vrtý, kdy mohou umělé trhliny zasáhnout do mělkých vrstev, ve kterých se nachází pitná voda [19]. Dalším problémem frakování je snížení stability podloží a zvýšení hrozby propadu, a to jak při těžbě, tak po ní [19]. Samotná technologie je navíc energeticky náročná [19].

Nejvíce viditelným problémem těžby zemního plynu je ovšem poškození krajiny. K tomu dochází nejen samotnou těžbou, ale i logistikou okolo těžby. Řeč je o poškození krajiny zvýšením frekvence nákladní dopravy. Tím dochází k rozdělování (fragmentaci) a plošnému úbytku jednotlivých ekosystémů. Tím také může dojít k narušení biodiverzity. Dále je při hydraulickém frakování zvýšený požadavek na odběr vody, který má negativní dopady na vodní ekosystémy. Zvýšený odběr vody má za následek i chybějící vodu v jiných lokalitách. [19]



Obrázek 5-1 dopady frakování na krajinu [32]

5.2 Produkce biomasy

Oproti tomu je získávání energetické biomasy značně méně destruktivní. Energetickou biomasu lze získávat buď cíleně, kdy se pěstují r.r.d. či se kácení staré lesy, ať už za účelem likvidace pro získání stavební plochy, či za účelem právě získání biomasy. Tento způsob získání biomasy ničí krajinu, avšak je nutné podotknout, že po těžbě lesa je možné dále využívat půdu, jelikož nedochází k její kontaminaci. Další výhodou je možnost využívat biomasu pro několik účelů. Například lze využít část rostliny například pro gastronomický průmysl, jinou část pro farmaceutický průmysl a až zbylý odpad spalovat. Biomasa vznikající jako vedlejší produkt jiné produkce je například lesní odpad, který vzniká právě při těžbě stromů. Tento odpad, stejně jako odpad z následujících produkcí jako je například odpad z pil, obroben atd. nebo také odpad z živočišné produkce a biologicky rozložitelný komunální odpad, lze také využít jako biomasu pro spalování.

Samotný proces spalování je navíc také do jisté míry ekologickým, jelikož je uhlíkově neutrální. To znamená, že množství uhlíku vzniklého při spalování je téměř rovné množství uhlíku spotřebovaného pro růst rostliny [20]. Další výhodou biomasy je také fakt, že se jedná o obnovitelný zdroj energie.



Obrázek 5-2 těžba lesa a její dopady na krajinu [33]

5.3 Spalování zemního plynu a biomasy

Jednou z nejvíce diskutovaných hodnot při spalování paliv je množství CO_2 , SO_2 a NO_x vypuštěných do ovzduší. Samotný přepočítání mezi jednotlivými palivy je náročný, jelikož je nutné brát v potaz výhřevnost jednotlivých paliv nebo například proměnnou hustotu dřevní štěpky, proto jsou v tabulce 5-1 uvedeny emise pro zemní plyn a pro dřevo v různých jednotkách.

Množství emisí CO_2 pro dřevo $e_{\text{CO}_2,0} = 850 \text{ kg (emisí)/m}^3$ [41]

Objemová hmotnost dřevní štěpky o vlhkosti 55 % $\rho_{dš} = 300 \text{ kg/m}^3$ [14]

Přepočítání emisí CO_2 dřeva na kg/t spáleného paliva

$$(26) \quad e_{\text{CO}_2,h} = \frac{1000 \cdot e_{\text{CO}_2,0}}{\rho_{dš}} = \frac{1000 \cdot 850}{300} = 2833,333 \text{ kg/t (spáleného paliva)}$$

Tabulka 5-1 emise při spalování jednotlivých paliv, upraveno dle [34] a [37]

Emise [kg/t spáleného paliva]	SO_2	NO_x	CO	CO_2
Zemní plyn	0,014	2,743	0,457	2657,143
Dřevo	1,000	3,000	1,000	2833,333

Jak je uvedeno v kapitole 5.2, dřevo je dle některých zdrojů uváděno jako uhlíkově neutrální zdroj energie. Toto tvrzení je ovšem velmi zjednodušené, jelikož tento pohled na věc bere v potaz pouze růst dřeviny a její spalování. V tomto procesu ale figurují další fáze, které už uhlíkově neutrální nejsou. Mezi tyto fáze patří samotná těžba dřeva, zpracování nebo třeba převoz [21]. Těžká technika v lese, pily, přeprava do dřevozpracujících závodů kamiony, nebo třeba výroba pelet tak dělá z celého uhlíkově neutrálního zdroje energie jen zbožné přání [21]. Samotné spalování je možné vyhodnotit jako uhlíkově neutrální.

Výhřevnost dřeva (obecně dřevo, nikoliv dřevní štěpka) je uvedena jako 14,62 MJ/kg [22]. Pro zemní plyn je pak uváděna výhřevnost 33,48 MJ/m³ [22]. Po přepočtení na kWh se vypočítá spotřeba jednotlivých paliv a následně se tato spotřeba vynásobí ve správných jednotkách s koeficienty uvedenými v tabulce 5-1.

Množství škodlivých látek vypuštěné do ovzduší

Množství paliva je bráno z výpočtů z kapitoly 4.2.

Výhřevnost paliv

Hustota zemního plynu $\rho_z = 0,7 \text{ kg/m}^3$

Výhřevnost dřeva $x_{dš} = 14,62 \text{ MJ/kg} = 4061 \text{ kWh/tun}$

Výhřevnost zemního plynu $x_p = 33,48 \text{ MJ/m}^3 = 9,3 \text{ kWh/m}^3$

Spotřeba paliv v 500kW kotli

Spotřeba dřeva za rok

$$(27) m_{dš} = \frac{P}{x_{dš}} = \frac{320000}{4,061} = 78798,3 \text{ kg}$$

Spotřeba zemního plynu za rok

$$(28) V_p = \frac{P}{x_p} = \frac{320000}{9,3} = 34408,6 \text{ m}^3$$

Spotřeba zemního plynu za rok v kilogramech

$$(29) m_p = V_p \cdot \rho = 34408,6 \cdot 0,7 = 24086,0 \text{ kg}$$

Následující tabulka uvádí hodnoty emisí škodlivých látek při nominálním výkonu kotle 500 kW s hodnotami emisí z tabulky 5-1.

Tabulka 5-2 množství škodlivých látek vypuštěných do ovzduší

Škodlivé látky vypuštěné do ovzduší v kg	Dřevo [t]	Zemní plyn [t]
Množství paliva	78,80	24,09
SO ₂	78,80	0,33
NO _x	236,39	66,06
CO	78,80	11,01
CO ₂	223261,82	63999,94

Výrazně větší emise SO₂ dřeva jsou způsobeny tím, že se ve dřevu nachází síra. Zemní plyn naopak neobsahuje téměř žádnou síru, proto jsou její emise minimální [40]. Ze zbylých dat vyplývá, že zemní plyn je palivo šetrnější pro spalování za energetickými účely. Emise, po přepočtu na tepelnou jednotku jsou čtyřnásobně větší v případě spalování biomasy než u zemního plynu. Při spalování biomasy dochází k emisi CO u nedokonalého spalování [1]. V případě dostatečné teploty spalování a dostatečného množství spalovacího vzduchu je CO oxidován na CO₂ a jeho emise jsou minimální [1].

5.3.1 Oxidy dusíku

Mluvíme-li o oxidech dusíku označovaných NO_x, máme na mysli směs především dvou druhů oxidu dusíku, a to oxid dusnatý NO a oxid dusičitý NO₂ [25]. Souhrnně jsou tím však myšleny všechny oxidy dusíku [24]. Jejich hlavní negativní dopad je na ovzduší [25]. Tyto oxidy vznikají při spalování fosilních paliv

oxidací chemicky vázaného dusíku v palivu a molekulárního dusíku ve vzduchu účastnícího se spalovacího procesu [25]. Do ovzduší se dostávají jako součást spalin [24].

Dělení NO_x ze spalování zemního plynu dle vzniku:

- palivové,
- vysokoteplotní, termické,
- promptní. [24]

Palivové NO_x vznikají přímou oxidací dusíku chemicky vázaného na spalované palivo. Dusík je během hoření (oxidace) měněn na oxidy dusíku. Termické NO_x vznikají z dusíku obsaženého v přiváděném spalovacím vzduchu. Molekuly dusíku se při vyšších teplotách štěpí a následně reagují s kyslíkem. Jejich množství je závislé na spalovací teplotě a na době, kterou stráví ve spalovacím prostoru. Tato složka je zásadní příčinou obsahu emisí NO_x ve spalinách zemního plynu. Promptní složka obvykle tvoří malý podíl a její vznik je provázán složitějším chemickým procesem. [24]

5.3.2 Oxid uhličitý

Oxid uhličitý je hlavním skleníkovým plynem, které mají za následek skleníkový efekt a tím i oteplování Země [26,27]. Jeho podíl na klimatických změnách je výrazný a jeho podíl, i s ostatními skleníkovými plyny (např. metan, oxid dusný atd.), v atmosféře roste především díky spalování fosilních paliv a také následkem úbytku velkých lesních ploch [26]. Běžné koncentrace oxidu uhličitého v ovzduší (zhruba 0,04 %) jsou neškodné, avšak jeho zvýšená koncentrace v ovzduší může mít za následek zdravotní obtíže, otravu či dokonce smrt [27]. Zdravotní potíže jsou přitom spojeny i s oxidem uhličitým v ostatních skupenstvích.

Oxid uhličitý má však i své praktické využití, kdy se využívá v pevném skupenství jako tzv. suchý led. Vzniká při ochlazení oxidu uhličitého na teplotu -78 °C. Ten se následně využívá např. v potravinářství jako chladiivo. Dalším využitím oxidu uhličitého je také výroba šumivých nápojů. Další využití nachází v kapalném skupenství jako rozpouštědlo. Díky jeho vlastnostem, zejména pak nehořlavosti našel také využití jako hasicí médium v hasicích přístrojích. Tyto a mnohé další využití oxidu uhličitého z něj dělají cíl mnohých výzkumů, které se snaží najít další možnosti jeho využití. [27]

5.3.3 Oxid siřičitý

Vzniká především spalováním síry. V přírodě se vyskytuje v sopečných plynech a rozpuštěný jako kyselina siřičitá v podzemních vodách ve vulkanicky aktivních oblastech. Používá se pro výrobu kyseliny sírové, která se následně používá pro dezinfekční a bělicí účinky nebo v malé míře jako konzervační činidlo. I přes využití v potravinářství se stále jedná o toxický plyn. Jeho přítomnost v menším množství může způsobit záněty průdušek či astma. Dlouhodobé vystavení této látce negativně ovlivňuje krevetvorbu, trvale poškozuje plíce a také může poškodit srdeční sval. Co se týče ekologického působení, tak je silně toxický pro rostliny, jelikož reaguje s chlorofylem a narušuje fotosyntézu. V ovzduší poté pozvolně oxiduje vzdušným kyslíkem za přítomnosti vody na kyselinu sírovou, která má s kyselinou siřičitou za následek kyselou dešť. [28]

5.3.4 Oxid uhelnatý

Jeho zdrojem je spalování uhlí, dřeva, zemního plynu, benzínu a dalších paliv. Vzniká nedokonalým spalováním. Do těla se dostává inhalací a otrava jím se dělí do tří skupin. Lehká otrava se projevuje bolestmi hlavy, bušením krve v hlavě, tlakem na prsou a závratěmi. Dostavuje se nevolnost a případně zvracení. Při

těžší otravě dochází k mdlobám, slabosti a zvýšení tělesné teploty. Může dojít i k dezorientaci a upadnutí do bezvědomí. Při silném vystavení se oxidu uhelnatému dochází k okamžité, či prodlené smrti. To vše je způsobeno omezeným či znemožněným přenosem kyslíku z plic do tkání, kvůli navázání se oxidu uhelnatého na železo v krvi. [35]

Jeho škodlivost je zejména v tom, že se v konečném důsledku mění na oxid uhličitý, tudíž ho lze nepřímo označovat za skleníkový plyn. [36]

Závěr

Využití biomasy je velmi široké a energetické využití tvoří jen malou část z jejího potenciálu. Výhodou energetického využívání je však možnost spalování odpadních částí biomasy z jiných odvětví.

Stávající řešení vytápění obecních budov je řešeno kotli na zemní plyn v každé jednotlivé budově. Díky tomu je nasmlouvaných několik cen zemního plynu s velkým rozpětím. Výhodou tohoto řešení je však jednoduchá údržba a dále odpadá nutnost manuálního doplňování paliva.

Potenciál obecního lesa obce Čebín je až 30,3 tun odpadní biomasy za rok, a celkově tak může tvořit významnou finanční úsporu a částečnou soběstačnost.

Biomasu lze pěstovat za účelem energetického zisku, kdy se využívají zejména rychlerostoucí dřeviny na přebytečné zemědělské půdě. Zdrojem biomasy pro energetické účely je také odpad z prvovýroby. K tomuto využití však nejprve musí projít až na předposlední stupeň recyklační hierarchie, jelikož se prvně zabránuje vzniku odpadu, a až teprve odpad, který není vhodný pro žádné jiné využití, je schválen k energetickému použití. Pokud ani to není možné, pak daná kontaminovaná biomasa postupuje do posledního stupně hierarchie, kde je zlikvidována např. ve spalovně odpadů.

Enviromentální vliv získávání biomasy je oproti vlivu těžby zemního plynu minimální. Co se týče ekologického hlediska spalování jednotlivých paliv, tak jsou emise při spalování biomasy několikanásobně vyšší, avšak část těchto emisí je kompenzována spotřebou jednotlivých prvků při růstu rostliny. Z ekologického hlediska je tedy výhodnější vytápění biomasou.

Biomasa, jakožto přírodní zdroj paliva je oproti zemnímu plynu ekonomicky výhodnější a udržitelnější. Ze tří navrhovaných řešení kotlů je z konstrukčního hlediska nejlepší centrální kotelna se dvěma kotli o výkonech 300 kW a 200 kW. Z ekonomického hlediska je tato možnost, s návratností za 7 let, téměř stejně výhodná, jako centrální kotelna s jedním kotlem o výkonu 500 kW. Závěrem se tedy z ekonomického hlediska doporučuje nahradit plynové kotle za centrální kotelnu na biomasu s kotli o výkonech 300 kW a 200 kW. Při výstavbě teplovodu je ovšem vhodnější výstavba centrální kotelny o poměrově nižším výkonu, kde nebude ve výpočtu zahrnuta budova rodinného domu, která je příliš daleko od ostatních budov pro výstavbu teplovodu. Pro tuto budovu je výhodnější pořídit samostatný kotel na biomasu. Je však nutné zohlednit trvalou obsluhu kotlů na biomasu.

Seznam použitých zkratk a symbolů

Zkratky:

EHP	evropský hospodářský prostor
r.r.d.	rychlerostoucí dřeviny
CO ₂	oxid uhličitý
CO	oxid uhelnatý
NO _x	oxidy dusíku
SO ₂	oxid siřičitý
tzv.	takzvaně
např.	například
PENB	průkaz energetické náročnosti budovy

Symboly:

q	měrné tepelné ztráty objektu
V	objem budovy
Q _o	tepelné ztráty za rok z obálkové metody
P	výkon potřebný na vytápění
S	energeticky vztažná plocha
Q _v	tepelné ztráty za rok výkonu
kov _x	koeficient převodu tepelných ztrát z obálkové metody na metodu výpočtu z výkonu pro třídu x
kov _{x,y}	koeficient převodu tepelných ztrát z obálkové metody na metodu výpočtu z výkonu pro třídu x budovy y
E _{d,x}	dodaná energie podle PENB pro budovu x
P _{k,x}	příkon kotle budovy x
kdv _x	koeficient přepočtu mezi dodanou energií a výkonem kotle pro třídu x
kdv _{x,y}	koeficient přepočtu mezi dodanou energií a výkonem kotle pro tříd x budovy y
E _{s,x}	spotřebovaná energie budovy x
ksv _x	koeficient převodu mezi spotřebou a výkonem kotle třídy x
η _{ck}	účinnost navrhovaného centrálního kotle
η _p	průměrná účinnost stávajících kotlů
P _{celk}	celkový potřebný příkon
P _{k,celk}	celkový výkon původních kotlů
P _{ck}	potřebný příkon centrálního kotle
C ₅₀₀	cena 500kW kotle (s montáží)
C _{kom}	cena 300kW a 200kW kotlů (s montáží)
C _{j,BP}	cena kotlů BLAZE PRAKTIK celkem (s montáží)
C _{j,A}	cena kotlů ATMOS DC celkem (s montáží)
C _{j,E}	cena kotle ECO-HK 110 kW (s montáží)
E _{celk}	celková spotřeba energie
ρ _{dš}	hustota dřevní štěpky
X _{dš,j}	výhřevnost dřevní štěpky v joulech
C _{dš,o}	cena dřevní štěpky za objem
C _p	cena zemního plynu z faktur
X _{dš,w}	výhřevnost dřevní štěpky ve wattech
C _{dš,h}	cena dřevní štěpky na hmotnost
C _{dš,w}	cena dřevní štěpky na kW
C _{dš,r}	cena dřevní štěpky za rok
C _{p,r}	cena zemního plynu za rok
S _l	plocha lesa

ρ_l	hustota lesa
ρ_o	podíl lesního odpadu
t_{mo}	délka mýtního období
z	možné zisky dřeva
o_l	možné zisky lesního odpadu
m_{lo}	hmotnost lesního odpadu
f	potencionální zisk
m_m	minimální mzda
m_v	výpočtová mzda
t_{500}	doba obsluhy 500kW kotle na den
t_{kom}	doba obsluhy kombinace kotlů na den
t_j	doba obsluhy jednotlivých kotlů na den
f_{500}	cena obsluhy 500kW kotle na den
f_{kom}	cena obsluhy kombinace kotlů na den
f_j	cena obsluhy jednotlivých kotlů na den
$e_{CO_2,o}$	emise CO ₂ na objem dřeva
$e_{CO_2,h}$	emise CO ₂ na hmotnost dřeva
ρ_z	hustota zemního plynu
x_p	výhřevnost zemního plynu
$m_{dš}$	hmotnostní spotřeba dřeva za rok
V_p	objemová spotřeba zemního plynu za rok
m_p	hmotnostní spotřeba zemního plynu za rok

Použité informační zdroje

- [1] PASTOREK, Zdeněk, Jaroslav KÁRA a Petr JEVIČ. *Biomasa: obnovitelný zdroj energie*. Praha: FCC Public, 2004. ISBN 80-86534-06-5.
- [2] Směrnice Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 98/2008 ze dne 19. listopadu 2008 o odpadech a o zrušení některých směrnic (Text s významem pro EHP)
- [3] Směrnice evropského parlamentu a rady (EU) 2018/2001 ze dne 11. prosince 2018 o podpoře využívání energie z obnovitelných zdrojů (přepracované znění) (Text s významem pro EHP)
- [4] Biomasa. *Oze.tzb-info.cz* [online]. Praha: TZB-info, c2001-2023 [cit. 2023-03-16]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/biomasa>
- [5] ŠMEJKAL, Petr. *Kotle na tuhá paliva*. Brno, 2011. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Vedoucí práce Marek Baláš.
- [6] BALÁŠ, Marek. *Kotle a výměníky tepla*. Vydání čtvrté. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2022. ISBN 978-80-214-6093-5.
- [7] Venkovní výpočtové teploty a otopná období dle lokalit. *Vytapeni.tzb-info.cz* [online]. Praha: TZB-info, c2001-2023 [cit. 2023-03-19]. Dostupné z: <https://vytapeni.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/25-venkovni-vypoctove-teploty-a-otopna-obdobi-dle-lokalit>
- [8] Smart Heating Technology s.r.o. Brožura kotle. Ostrava: Smart Heating Technology s.r.o. Dostupné také z: <https://www.smartheating.cz/smart-500-kw/>
- [9] BLAZE HARMONY s.r.o. BLAZE HARMONVY katalog kotle na dřevo a pelety. Lipník nad Bečvou BLAZE HARMONY s.r.o., 2023. Dostupné také z: <https://www.blazeharmony.com/cs/www/kotle-na-drevo/zplynovaci-kotel-blaze-praktik>
- [10] Kalkulačka ceny plynu. *Kurzy.cz* [online]. Praha: Kurzy.cz, spol. s r.o., c2000-2023 [cit. 2023-08-02]. Dostupné z: <https://www.kurzy.cz/plyn/kalkulacka-cen>
- [11] Dřevní štěpka. *Prosmat.cz* [online]. Kočí: PROSMAT, c2023 [cit. 2023-08-25]. Dostupné z: <http://www.prosmat.cz/produkt-detail/items/10.html>
- [12] CZ Biom – České sdružení pro biomasu: Příručka zpracování lesních zbytků. Praha: CZ Biom, 2009. Dostupné také z: https://www.mpo-efekt.cz/upload/7799f3fd595eeee1fa66875530f33e8a/Prirucka_zpracovani_lesnich_zbytku.pdf
- [13] O dřevě. *Lesycr.cz* [online]. Hradec Králové: Lesy České republiky, s. p., c2023 [cit. 2023-04-01]. Dostupné z: <https://lesycr.cz/drevo/>
- [14] Dřevní štěpka - zelená, hnědá, bílá. *Biom.cz* [online]. Praha: CZ Biom, 2010 [cit. 2023-04-02]. Dostupné z: <https://biom.cz/cz/odborne-clanky/drevni-stepka-zelena-hneda-bila>
- [15] Minimální mzda. *Mpsv.cz* [online]. Praha: Ministerstvo práce a sociálních věcí, 2023 [cit. 2023-05-22]. Dostupné z: <https://www.mpsv.cz/minimalni-mzda>
- [16] Zemní plyn - ceny a grafy zemního plynu, vývoj ceny zemního plynu 1 MMBtu - 1 rok - měna USD. *Kurzy.cz* [online]. Praha: Kurzy.cz, spol. s r.o., c2000-2023 [cit. 2023-04-20]. Dostupné z: <https://www.kurzy.cz/komodity/zemni-plyn-graf-vyvoje-ceny/>
- [17] Těžba zemního plynu. *Muzeumropy.cz* [online]. Hodonín: Muzeum naftového dobývání a geologie [cit. 2023-03-19]. Dostupné z: <http://muzeumropy.cz/tezba-zemniho-plynu/>
- [18] Zemní plyn - těžba, vlastnosti a rozdělení. *Oenergetice.cz* [online]. Třebíč: OM Solutions, 2015 [cit. 2023-03-20]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/plyn/zemni-plyn-tezba-vlastnosti-a-rozdeleni>

- [19] Břidlicový plyn – Ekologické dopady. *Vytapeni.tzb-info.cz* [online]. Praha: TZB-info, 2015 [cit. 2023-03-20]. Dostupné z: <https://vytapeni.tzb-info.cz/vytapime-plynem/12718-bridlicovy-plyn-ekologicke-dopady>
- [20] Biomasa - využití, zpracování, výhody a nevýhody, energetické využití v ČR. *Oenergetice.cz* [online]. Třebíč: OM Solutions, 2017 [cit. 2023-03-21]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/obnovitelne-zdroje/biomasa-vyuziti-zpracovani-vyhody-a-nevyhody>
- [21] Je dřevo opravu uhlíkově neutrálním zdrojem?. *Www.drevostavitel.cz* [online]. Brno: Dřevostavitel, 2018 [cit. 2023-03-23]. Dostupné z: <https://www.drevostavitel.cz/clanek/je-drevo-opravdu-uhlikove-neutralni-palivo>
- [22] Výhřevnosti paliv. *Vytapeni.tzb-info.cz* [online]. Praha: TZB-info [cit. 2023-03-23]. Dostupné z: <https://vytapeni.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/11-vyhrevnosti-paliv>
- [23] Časté dotazy. *Teplarny.cz* [online]. Brno: Teplárny Brno, c2020 [cit. 2023-04-01]. Dostupné z: <https://www.teplarny.cz/cs/caste-dotazy>
- [24] Přepočítání emisí oxidů dusíku NOx ze spalování zemního plynu na zvolenou jednotku. *Vytapeni.tzb-info.cz* [online]. Praha: TZB-info, 2018 [cit. 2023-03-24]. Dostupné z: <https://vytapeni.tzb-info.cz/vytapime-plynem/17338-prepocet-emisi-oxidu-dusiku-nox-ze-spalovani-zemniho-plynu-na-zvolenou-jednotku>
- [25] SNIŽOVÁNÍ EMISÍ NOx. *Cez.cz* [online]. Praha: ČEZ, 1999 [cit. 2023-03-25]. Dostupné z: https://www.cez.cz/edee/content/file/static/encyklopedie/encyklopedie-energetiky/02/snizovem_5.html
- [26] Emise skleníkových plynů. *Faktaoklimatu.cz* [online]. Brno: Otevřená data o klimatu, z. ú., 2023 [cit. 2023-03-25]. Dostupné z: <https://faktaoklimatu.cz/temata/emise>
- [27] Oxid uhličitý: K čemu se používá a kdy je nebezpečný. *Bola.cz* [online]. Jinočany: BOLA spol, 2023 [cit. 2023-03-25]. Dostupné z: <https://www.bola.cz/poradna/oxid-uhlicity-k-cemu-se-pouziva-a-kdy-je-nebezpecny>
- [28] Oxidy síry. *Arnika.org* [online]. Praha: Arnika, 2010 [cit. 2023-03-25]. Dostupné z: <https://arnika.org/toxicke-latky/databaze-latek/oxidy-siry>
- [29] O biomase. *Biomasa-almea.cz* [online]. Březnice: Almea, c2014-2023 [cit. 2023-04-05]. Dostupné z: <https://www.biomasa-almea.cz/cz/o-biomase>
- [30] Populus nigra 'Italica'. *Vdberk.cz/stromy* [online]. Sint-Oedenrode: Boomkwekerij Gebr. Van den Berk B.V., [2023] [cit. 2023-04-05]. Dostupné z: <https://www.vdberk.cz/stromy/populus-nigra-italica/>
- [31] Měrné tepelné ztráty objektů q[W/m³]. *Vytapeni.tzb-info.cz* [online]. Praha: TZB-info, c2001-2023 [cit. 2023-03-03]. Dostupné z: <https://vytapeni.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/40-merne-tepelne-zraty-objektu-q-w-m3>
- [32] Břidlicový plyn – Ekologické dopady. *Vytapeni.tzb-info.cz* [online]. Praha: TZB-info, c2001-2023 [cit. 2023-04-07]. Dostupné z: <https://vytapeni.tzb-info.cz/vytapime-plynem/12718-bridlicovy-plyn-ekologicke-dopady>
- [33] Nezastavitelné odlesňování má hrozný dopad na každého. Proč nám mizí před očima jeden les za druhým a kdy to skončí?. *Vedazive.cz* [online]. Praha: abcMedia Network, s.r.o, c2016-2023 [cit. 2023-04-07]. Dostupné z: <https://vedazive.cz/planeta-zeme/dusledky-kaceni-lesu/>
- [34] Emise z kotelen a ochrana ovzduší (III). *Vytapeni.tzb-info.cz* [online]. Praha: TZB-info, c2001-2023 [cit. 2023-03-24]. Dostupné z: <https://vytapeni.tzb-info.cz/2309-emise-z-kotelen-a-ochrana-ovzdusi-iii>
- [35] Oxid uhelnatý. *Szu.cz* [online]. Praha: Státní zdravotní ústav, c2023 [cit. 2023-08-10]. Dostupné z: <https://szu.cz/tema/zivotni->

[prostredi/ovzdusi/vnitri/oxid-uhelnaty/](#)

[36] Oxid uhelnatý (CO). *Irz.cz* [online]. Praha: Ministerstvo životního prostředí, c2021 [cit. 2023-08-12]. Dostupné z: <https://www.irz.cz/latky-v-irz/oxid-uhelnaty-co>

[37] Výpočet úspor emisí oxidu uhličitého (CO₂). *Mpo.cz* [online]. Praha: Ministerstvo průmyslu a obchodu, c2005-2023 [cit. 2023-08-17]. Dostupné z: <https://www.mpo.cz/dokument6794.html>

[38] Atmos DC 50 GD - Zplynovací kotel na dřevo - KOTLÍKOVÁ DOTACE. *Centrumvytapani.cz* [online]. Tábor: RJ Trading, c2023 [cit. 2023-08-18]. Dostupné z: <https://www.centrumvytapani.cz/atmos-dc-50-gd-zplynovaci-kotel-na-drevo-kotlikova-dotace/>

[39] ECO-HK 70 – 120 kW. *Drevoprodukt.cz* [online]. Znojmo: DŘEVO – PRODUKT SV, [2020] [cit. 2023-08-20]. Dostupné z: <https://www.drevoprodukt.cz/eco-hk-70-120-kw/>

[40] Plyn ve vytápění (I). *Tzb-info.cz* [online]. Praha: TZB-info, 2002 [cit. 2023-08-21]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/vytapime-plynem/1163-plyn-ve-vytapani-i>

[41] Jak je to se spalováním dřeva a CO₂? *Krby-necadil.cz* [online]. Plzeň: KRBY - Rychtařík, 2016 [cit. 2023-08-24]. Dostupné z: <https://www.krby-necadil.cz/rady-a-tipy/jak-je-to-se-spalovanim-dreva-a-co2.html>

[42] Katastrální mapa kú Čebín, 618764. *Regiony.kurzy.cz* [online]. Praha: Kurzy.cz, spol. s r.o., c2000-2023 [cit. 2023-09-01]. Dostupné z: <https://regiony.kurzy.cz/katastr/ku/618764/mapa/>