

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE  
FAKULTA STAVEBNÍ

---



**Mikrokogenerace**

Microcogeneration

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Vedoucí práce: doc. Ing. Bohumír Garlík, CSc.

Jaroslava Svobodová

Praha 2016



## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

studijní program: STAVEBNÍ INŽENÝRSTVÍ  
studijní obor: KONSTRUKCE POZEMNÍCH STAVEB  
akademický rok: 2015/2016


Jméno a příjmení studenta: JAROSLAVA JVOBODOVA  
Zadávatel katedra: KATEDRA TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ BUDOV  
Vedoucí bakalářské práce: DOC. ING. BOHUMÍR GARLÍK, CSc.  
Název bakalářské práce: MIKROKOGENERACE  
Název bakalářské práce  
v anglickém jazyce: MICROKOGENERATION


Rámcový obsah bakalářské práce: TEORETICKÝ ROZBOR KOGENERAČNÍCH  
JEDNOTEK, VÝBĚR KOGENERACE (MIKROKOGENERACE)  
PRO JEJÍ APLIKACE V PROJEKTU RODINNÉHO DOMU,  
PŮSOVENÍ EKONOM. NÁVRATNOSTI A VYTIPOVÁNÍ VÝHOD A  
NEVÝHOD PROTI OSTATNÍM ÚZE.

Datum zadání bakalářské práce: 3.3.2016 Termín odevzdání: 31.5.2016  
(vyplňte poslední den výuky  
příslušného semestru)

Pokud student neodevzdal bakalářskou práci v určeném termínu, tuto skutečnost předem písemně zdůvodnil a omluva byla děkanem uznána, stanoví děkan studentovi náhradní termín odevzdání bakalářské práce. Pokud se však student řádně neomluvil nebo omluva nebyla děkanem uznána, může si student zapsat bakalářskou práci podruhé. Studentovi, který při opakovaném zápisu bakalářskou práci neodevzdal v určeném termínu a tuto skutečnost řádně neomluvil nebo omluva nebyla děkanem uznána, se ukončuje studium podle § 56 zákona o VŠ č. 111/1998. (SZŘ ČVUT čl. 21, odst. 4)

*Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.*

  
vedoucí bakalářské práce

  
vedoucí katedry

Zadání bakalářské práce převzal dne: 3.3.2016

  
student

Formulář nutno vyhotovit ve 3 výtiscích – 1x katedra, 1x student, 1x studijní odd. (zašle katedra)

Nejpozději do konce 2. týdne výuky v semestru odešle katedra 1 kopii zadání BP na studijní oddělení a provede zápis údajů týkajících se BP do databáze KOS.

BP zadává katedra nejpozději 1. týden semestru, v němž má student BP zapsanou.  
(Směrnice děkana pro realizaci studijních programů a SZZ na FSv ČVUT čl. 5, odst. 7)

## **ABSTRAKT**

Hlavním tématem této bakalářské práce je jeden z obnovitelných zdrojů energie - kogenerace. Cílem práce je návrh kogenerační jednotky (KJ) pro rodinný dům a následné zhodnocení ekonomické návratnosti. Práce by se dala rozdělit na dvě hlavní části. První část se zabývá obecným úvodem do problematiky kogenerace, je zde popsán princip kogenerace, výhody a nevýhody jejího využití, možnosti nasazení KJ a typy primárních jednotek KJ. Druhá část obsahuje samotný návrh KJ pro konkrétní rodinný dům zahrnující výpočet tepelných ztrát objektu, následný výpočet potřeby tepla a teplé vody a výpočet potřeby elektrické energie. V závěru druhé části je návrh zhodnocen z hlediska ekonomické návratnosti a na základě toho se rozhoduje, zda se kogenerace vyplatí i pro malé objekty.

**Klíčová slova:** Kogenerace, kogenerační jednotka, mikrokogenerace, obnovitelné zdroje energie

## **ABSTRACT**

The main topic of this bachelor thesis is one of the renewable resources of energy - cogeneration. The target of the thesis is to design a cogeneration unit (CU) for a family house and to make an evaluation of the economic return. This thesis is divided in two main parts. The first part of the thesis deals with the general introduction into the issues of cogeneration. In this part there are described the principals of the cogeneration, the pros and cons of its using, the possibilities of using CUs and the types of primary units of the CU. In the second part there is designed a specific CU for the specific family house. It means the heat losses, heat and hot water demand and electricity demand are there calculated. In the end of the thesis there is an economic evaluation of the designed CU and based on the evaluation it is decided if it is useful to design CUs for small objects.

**Keywords:** Cogeneration, cogeneration unit, microcogeneration, renewable resources of energy

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem předloženou bakalářskou práci vypracovala samostatně pod odborným vedením doc. Ing. Bohumír Garlíka, CSc. s použitím všech uvedených zdrojů, které jsem použila v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

V Praze dne 22.5.2016

.....

Jaroslava Svobodová

## **Poděkování**

Tímto děkuji vedoucímu mé bakalářské práce doc. Ing. Bohumíru Garlíkovi, CSc. za odborné vedení, poskytnutí odborných rad, připomínek a čas strávený při konzultacích, které vedly k tvorbě této práce. Dále děkuji Ing. Marku Procházkovi ze společnosti Viessmann ČR, Ing. Jiřímu Hroudovi ze společnosti Siemens ČR a Ing. Bohumilu Kučerovi ze společnosti JEKU, s.r.o. za poskytnutí studijních podkladů a materiálů a také cenných rad týkajících se této práce. V neposlední řadě děkuji Ing. Danielu Rückovi za laskavé zodpovídání dotazů týkajících se tématu. Za připomínky a rady také děkuji svému otci, Jiřímu Svobodovi a bratru Janu Svobodovi.

Na závěr bych chtěla poděkovat své rodině a přátelům za podporu během celého studia.

## OBSAH

OBSAH.....	7
0 ÚVOD.....	9
1 CÍL PRÁCE.....	10
2 TEORETICKÝ ROZBOR KOGENERACE A KOGENERAČNÍCH JEDNOTEK.....	11
2.1 Princip kogenerace.....	11
2.2 Možnosti využití .....	11
2.3 Kogenerace jako obnovitelný zdroj energie (OZE)? .....	12
2.4 Kogenerační jednotka a její částí .....	13
2.5 Typy kogenerace dle typu primární jednotky .....	13
2.5.1 Parní kogenerace.....	14
2.5.2 Plynová kogenerace .....	15
2.5.3 Paroplynová kogenerace.....	17
2.5.4 Kogenerace využívající palivové články.....	17
2.6 Výhody a nevýhody kogenerace .....	18
2.6.1 Výhody .....	18
2.6.2 Nevýhody .....	20
3 Návrh mikrokogenerace do objektu rodinného domu .....	22
3.1 Popis objektu.....	22
3.1.1 Dispozice jednotlivých podlaží a umístění otopných těles.....	22
3.2 Tepelné ztráty objektu .....	24
3.2.1 Skladby stávajících konstrukcí a stanovení hodnot součinitelů prostupu tepla..	24
3.2.2 Porovnání hodnot součinitelů prostupu tepla s normovými hodnotami .....	27
3.2.3 Výpočet tepelných ztrát objektu .....	28
3.3 Tepelná bilance objektu .....	31
3.3.1 Roční potřeba tepla na vytápění .....	31
3.3.2 Roční potřeba tepla na přípravu teplé užitkové vody (TUV) .....	32
3.3.3 Celková roční potřeba tepla.....	33

3.4	Roční potřeba elektrické energie .....	33
3.5	Navržená mikrokogenerační jednotka - Vitotwin 300-W.....	35
3.5.1	Obecný popis .....	35
3.5.2	Technické parametry zařízení Vitotwin 300-W .....	36
3.5.3	Princip výroby energií .....	37
3.5.4	Provoz zařízení Vitotwin 300-W.....	38
3.5.5	Distribuce vyprodukované energie.....	40
3.5.6	Instalace a připojení zařízení Vitotwin 300-W .....	41
3.5.7	Roční spotřeba paliva .....	43
3.6	Ekonomické zhodnocení - výpočet návratnosti .....	44
4	Závěr.....	47
	<b>SEZNAM PŘÍLOH .....</b>	<b>49</b>



## 0 ÚVOD

V posledních letech spolu s průmyslovým a ekonomickým rozvojem jednotlivých zemí světa roste i spotřeba energie, přičemž se přirozeně zvyšuje i spotřeba paliv, což má za následek výrazné změny klimatu. Je třeba se zamýšlet nad řešením tohoto problému ve dvou rovinách; první rovina představuje provoz budov, druhá rovina spotřebu energie pro průmysl a dopravu. Vedle snahy snížit spotřebu provozní energie pomocí výstavby energeticky úsporných budov, ideálně pasivních či aktivních, je stěžejní hledat ekologičtější způsoby výroby energie. Kogenerace nám v tomto ohledu může nabídnout řešení. Zahrnuje v sobě kombinovanou výrobu tepelné a elektrické energie a díky vysoké účinnosti tohoto systému lze při použití daného množství paliva dosáhnout až dvojnásobnému zisku energií. Dalším velmi důležitým faktorem je závislost států na transportu energií z míst, kde se nachází centrální producent. Díky kogeneraci lze snížit transportní vzdálenost na minimum či ji zcela eliminovat a díky tomu tak neztratit značnou část energie při transportu k odběrateli.

Díky evropským dotacím se zdá být výhled do budoucna v české energetice pro-ekologický. V České republice vedle dalších obnovitelných zdrojů energie nachází i kogenerace pomalu své využití, avšak využívá se zatím nejčastěji pro větší objekty. Další výzvou do budoucna se stává nyní pojem mikrokogenerace, čili využití menších kogeneračních jednotek do objektů s nižšími požadavky na tepelnou a elektrickou energii.

## **1 CÍL PRÁCE**

Cílem předložené bakalářské práce je zjistit, zda se z ekonomického hlediska vyplatí navrhovat mikrokogenerační jednotky i pro malé objekty jako jsou například rodinné domy.

## **2 TEORETICKÝ ROZBOR KOGENERACE A KOGENERAČNÍCH JEDNOTEK**

### **2.1 Princip kogenerace**

Pojmem kogenerace se obecně označuje současná výroba dvou druhů energie za užití jednoho primárního zdroje, nejčastěji se jedná o kombinovanou výrobu elektrické a tepelné energie (KVET). Principem kogenerace je využití odpadního tepla při výrobě elektrické energie k pokrytí potřeb tepelné energie daných objektů.

Z hlediska dopravní vzdálenosti se KVET může uskutečňovat buď centrálně nebo lokálně (decentralizovaně). Centralizované systémy (CS) jsou takové systémy, kde KVET probíhá ve velkém objemu v energetických centrálách a poté je zajištěna doprava do konkrétních míst spotřeby energie. CS mají oproti decentralizovaným systémům (DS) vzhledem k objemu produkce elektrické a tepelné energie nižší celkové náklady na výrobu. Další předností je možnost umístění systému do bezprostřední blízkosti k primárnímu zdroji energie, díky čemuž odpadají ztráty při přenosu a s tím spojené další finanční náklady. DS jsou takové systémy, které jsou umístěny přímo do míst přímé spotřeby energie a tudíž se zde podstatně zmenšuje či úplně odpadá transportní vzdálenost. DS bývají provozovány buď samotnými spotřebiteli nebo drobnými energetickými výrobci. Nevýhodou DS jsou menší objemy vyrobené energie a tím pádem větší celkové náklady a delší ekonomická návratnost systému, dále je také nutné zajistit dopravu primárního zdroje energie na místo výroby.

### **2.2 Možnosti využití**

Obecně lze říci, že kogenerace se dá využít ve všech místech, kde je určitá spotřeba tepla a elektrické energie. Důležité hledisko při využití kogenerace je plná spotřeba vyprodukovaného tepla, neboť v případě nevyužití elektrické energie v místě výroby existuje povinnost ze strany provozovatele distribuční sítě vykoupit nadbytečnou elektrickou energii vyrobenou kogeneračním zdroji, pokud jsou zajištěny technické podmínky udávané Energetickým regulačním úřadem (ERÚ). V ohledu využití tepelné energie je třeba, aby byl zajištěn celoroční odběr tepla, neboť pro dosažení nejvyšší účinnosti systému je ideální nepřetržitý provoz. S nevyužitou produkovanou tepelnou energií vzniká problém. Oproti elektrické energii má teplo podstatně vyšší nároky na přepravu a tudíž by bylo velmi nákladné stavět dálkové teplovody sloužící k přepravě nevyužitého tepla. Veškerého využití tepelné energie lze snadno dosáhnout v CS KVET, kde probíhá stálý odběr do spotřebitelských sítí. Co se týče DS, kogenerace nachází své využití v místech s trvalým odběrem tepla jako

například městských teplárnách či průmyslových závodech. Kogeneraci je možné však uplatnit i u menších provozoven, jako jsou nemocnice, školy, bazény či bytové objekty nebo hotely. Zde jsou požadavky na produkovanou energii nižší, mluvíme o tzv. mikrokogeneraci. Pojmem mikrokogenerace označujeme proces kogenerace, kdy produkovaný výkon nepřesahuje  $50 \text{ kW}_{el.}$  [1] Využití mikrokogenerace v malých objektech, konkrétně v rodinných domech, začíná být v České republice stále více diskutované téma, neboť zde stále zůstává otázka, zda se KVET i pro tyto malé objekty vyplatí. Je proto třeba vzít v úvahu potřebu tepla a elektrické energie domácnosti a z toho plynoucí celkové náklady na pořízení a provoz jednotky. Neméně důležitým rozhodujícím faktorem je připojení zdroje energie do sítě a také požadavky na technické podmínky zahrnující nároky na prostor či hluk. Nicméně právě malé objekty, jejichž roční potřeba energií je zdánlivě malá a tudíž spotřebují v globálním měřítku relativně malé množství paliva, mají v celkovém součtu značný vliv na životní prostředí a tudíž do budoucna se zdá být mikrokogenerace vhodným řešením pokrytí energetických potřeb, neboť díky využívání jednoho primárního zdroje dochází k výraznému snížení emisí. Díky těmto ekologickým faktům je možné získat dotace na zařízení kogeneračních systémů z evropských fondů, čímž je možné částečně redukovat pořizovací náklady.

### **2.3 Kogenerace jako obnovitelný zdroj energie (OZE)?**

Kogenerace bývá automaticky řazena mezi obnovitelné zdroje energie (OZE). OZE jsou takové zdroje energie, které mají schopnost se částečně nebo zcela obnovovat. [2] Mezi nejčastěji využívané OZE v České republice patří energie sluneční, vodní či větrná a dále energie z biomasy. Další zdroje využívané mimo území ČR mohou být například z geotermální energie nebo z energie z oceánů a moří.

Díky tomu, že ve většině případů kogenerace je využito zemního plynu jakožto primárního zdroje, neměla by se kogenerace řadit mezi OZE, neboť zemní plyn se mezi obnovitelné zdroje neřadí. Na druhou stranu zemní plyn není jediné palivo, které se využívá pro kogeneraci. Teoreticky by se dala kogenerace rozdělit na kogeneraci využívající obnovitelné zdroje energie (využívající například bioplyn, kalový plyn či biomasu) a na kogeneraci využívající neobnovitelné zdroje energie (využívající již zmíněný zemní plyn).

Hlavním důvodem, abychom kogeneraci obecně zařadili mezi OZE, je dle mého názoru to, že díky kogeneraci můžeme dosáhnout stejných cílů v environmentální oblasti jako při využití jiných systémů výroby energie z obnovitelných zdrojů. Vezměme v úvahu například již zmíněnou vysokou účinnost provozu kogeneračních zařízení, kdy při stejném objemu paliva lze díky kogeneraci vyrobit až dvojnásobné množství energie. Z toho přirozeně plynou úspory

nejen finanční ale v tomto ohledu hlavně úspory emisní. Kogenerace se dle mého názoru snaží o efektivitu využití primárního zdroje a tím přispívá k cílům týkajícím se energetiky a životního prostředí, které si stanovila Česká republika v rámci celosvětových smluv (např. Kjótský protokol).

## **2.4 Kogenerační jednotka a její části**

KJ je základní zařízení sloužící pro KVET. Princip KJ je založený na využití vysoké teploty produkované tepelné energie pro výrobu elektrické energie a poté další přeměny vysokoteplotní energie pro účely pokrytí potřeb tepla daného objektu. [3] Díky tomuto principu se systém KVET vyznačuje vysokou účinností oproti oddělené výrobě energie.

KJ sestává ze dvou hlavních základních částí a poté z dalších přídatných.

První hlavní částí KJ je primární jednotka, tou bývá nejčastěji spalovací motor, který spotřebovává palivo (jak již bylo řečeno v předchozích řádcích, nejčastějším palivem bývá zemní plyn, v poslední době také bioplyn, skládkový plyn či další alternativní paliva). V případě vyšších požadovaných výkonů bývá spalovací motor nahrazen turbínou (spalovací či parní) nebo palivovým článkem.

Druhou hlavní částí KJ je elektrický generátor poháněný motorem, který zajišťuje přeměnu mechanické energie ze spalovacího motoru na energii elektrickou. U typových KJ je generátor přizpůsoben k jednoduchému napojení na veřejnou elektrickou síť pro odvod nevyužité elektrické energie. V případě, kdy KJ není zapojena do sítě, je nutné na generátor instalovat regulační jednotku.

Dalšími částmi KJ jsou pak rekuperační výměníky sloužící k transformaci vzniklé tepelné energie do vhodné podoby s požadovanými parametry spotřebitele. Nejčastěji je energie transformována pro parametry nízkoteplotních otopných systémů, neméně však také pro vysokoteplotní otopné systémy či pro využití ve vzduchotechnice ve formě vodní páry či teplého vzduchu. Ke KJ dále náleží rozvaděč a řídicí systém sloužící k ovládní celé KJ. Ke KJ může být též nainstalována akumulární nádrž pro shromažďování tepla pro jeho pozdější využití a tím spotřebování veškeré vyprodukované tepelné energie.

## **2.5 Typy kogenerace dle typu primární jednotky**

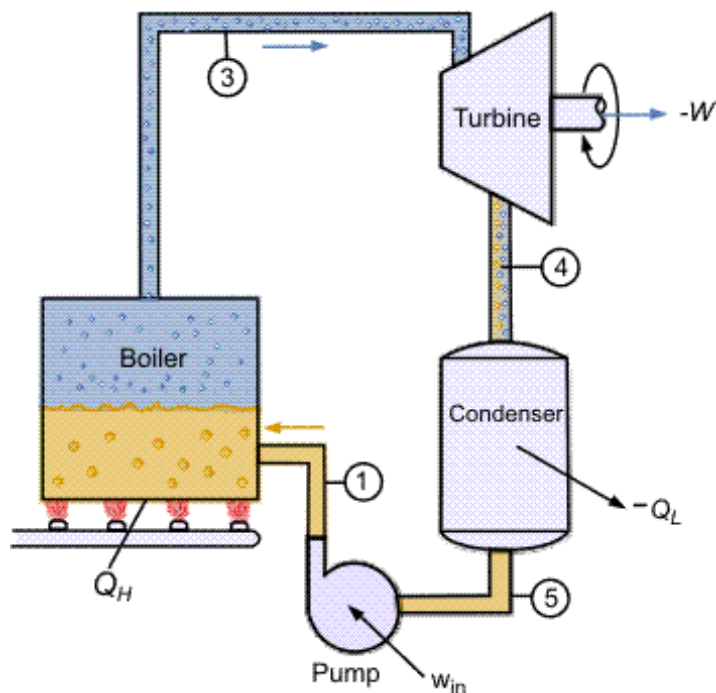
Kogeneraci lze uskutečnit za pomoci čtyř typů zařízení, která se liší ve způsobu přeměny a účinnosti využití primárního paliva. Z tohoto hlediska rozlišujeme kogeneraci plynovou, parní, paroplynovou a kogeneraci pomocí palivových článků. [4]

### 2.5.1 Parní kogenerace

Parní kogenerace je takový systém KVET, který využívá tzv. Rankinův cyklus. Palivo ve formě plynné, kapalné či pevné je spalováno ve spalovacím kotli a dochází k výrobě páry. Pára je přiváděna do sestav s protitlakými neb kondenzačními parními turbínami, které pohánějí přímo či přes převodovku alternátor a ten přeměňuje mechanickou energii horké páry na elektrickou energii. Zbylé využitelné teplo je po expanzi pod nižším tlakem v podobě páry je odváděno do kondenzátoru a poté využito v podobě tepelné energie ve spotřebitelském okruhu. Požadovaného výkonu dosáhneme pomocí regulačního ventilu na přívodu páry do turbíny.

Celková účinnost využití primárního paliva se pohybuje v rozmezí 77 - 87 %, přičemž podíl účinnosti výroby elektrické energie ku tepelné energii je zhruba 1:5, neboť účinnost výroby elektrické energie je přibližně 8 - 15 % a účinnost výroby tepelné energie 62 - 76 %.[4]

Jeden z důvodů, proč je využívána parní kogenerace, je možnost spalování levného a obnovitelného paliva (uhlí nebo biomasy). Parní kogenerace se využívá jak v průmyslových tak komunálních zdrojích energie.



**Obr. 2.5.1** - Schéma Rankinova cyklu[5]

### 2.5.2 Plynová kogenerace

V případě plynové kogenerace mluvíme o KJET prostřednictvím přímého spalování plynného paliva ve spalovacím motoru či ve spalovací turbíně a pohánění alternátoru přeměňujícího odpadní teplo v podobě mechanické energie na energii elektrickou.

Celková účinnost využití primárního paliva činí okolo 68 - 90 %. V případě plynové kogenerace dosahuje elektrická energie větší účinnosti než v případě parní kogenerace, neboť její účinnost se pohybuje v rozmezí okolo 23 - 41 % a u tepelné energie zhruba 35 - 57 %. [6]

Avšak za cenu efektivnější výroby elektrické energie je nevýhodou plynové kogenerace je nutnost spalování plynného paliva. Nejčastěji se používá zemní plyn, který je výrazně dražší oproti palivům používaným pro parní kogeneraci. Jako palivo pro plynovou kogeneraci se dají využít i levnější paliva, například bioplyn, kalový plyn nebo skládkový plyn. Tato paliva však disponují nižší výhřevností a tudíž i nižší elektrickou účinností. Před používáním těchto druhů paliv je také nutná transformace motoru, resp. turbíny.

#### 2.5.2.1 Kogenerační jednotky se spalovacími motory

Kogenerační jednotka se spalovacím motorem vyrábí společně teplo a elektrickou energii tím, že spaluje palivo v zážehovém spalovacím motoru, který pohání alternátor vyrábějící elektrickou energii. Zároveň je odtud pomocí dvou výměníků na dvou teplotních úrovních odváděno odpadní teplo vzniklé při výrobě elektrické energie. První výměník odvádí teplo, které se pohybuje okolo 80 - 90 °C a pochází z bloku motoru a z oleje, druhý výměník pracuje s výfukovými spalinami o teplotě dosahujících 400 - 500 °C. [7] Ve výměnících probíhá úprava tepelné energie na požadované parametry spotřebitele, obvykle se jedná o dodávku tepla do teplovodních systémů nejčastěji na teplotu 90 / 70 °C, méně potom 110 / 85 °C. Zpáteční voda teplovodního systému (70 či 85 °C) se přehřeje v prvním výměníku a poté je vedena do druhého výměníku, kde se dohřeje na konečnou teplotu (90 či 110 °C). KJ může být vybavena nouzovým chladičem, který slouží k odvodu tepla z KJ a tím tak dává možnost přechodného provozu KJ bez využití vyrobeného tepla nebo jeho pouze částečného využití.

Při provozu KJ není třeba speciálního tlakového připojení na síť zemního plynu, neboť směs plynu a spalovacího vzduchu je do válců dodávána pod tlakem pomocí kompresoru, který je poháněn spalinami. KJ lze tedy připojit na běžnou rozvodnou plynovou síť s redukováným tlakem.

KJ se spalovacím motorem se běžně vyrábí pro velkou škálu výkonů, hodnoty produkovaných elektrických výkonů se dají zvolit od 3 do 5000  $kW_{el}$ . Díky tomu mohou být tyto typy KJ používané také pro rodinné domy či jiné malé objekty s nižšími energetickými potřebami.

Účinnost výroby elektrické energie je dána nominálním výkonem KJ a při regulaci výroby se její účinnost již nezmění, tj. při snížení výkonu není zaznamenán výrazný pokles elektrické účinnosti.

#### **2.5.2.2 Kogenerační jednotky se spalovacími turbínami**

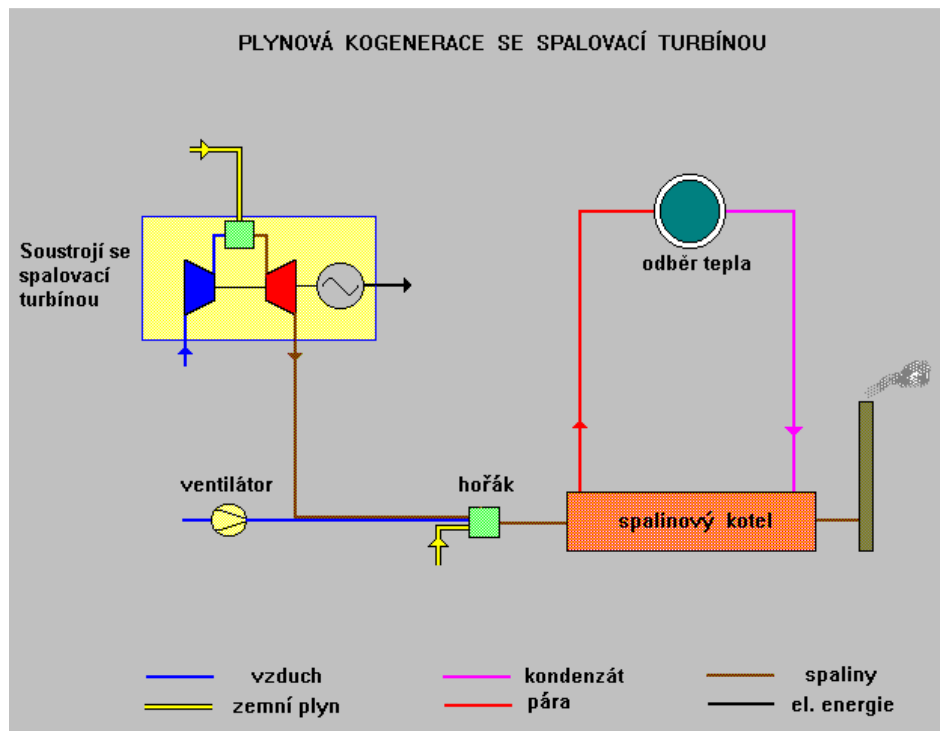
Alternativu ke spalovacímu motoru nabízí v oblasti plynové kogenerace spalovací turbína. Na obrázku 3 lze vidět princip tohoto druhu kogenerace. Dvěma hlavními částmi KJ je v tomto případě soustrojí spalovací turbína-alternátor produkujícího elektrickou energii a spalínový kotel, do něhož jsou přiváděny spaliny ze soustrojí o teplotě 450 - 600 °C, které jsou dále využity k výrobě tepla ve formě teplé nebo horké vody či jako páry. [6] Volba finální podoby tepelné energie se jeví jako značná výhoda oproti ostatním systémům kogenerace. Při nižší spotřebě tepla je možno spaliny vypouštět do ovzduší pomocí uzavíratelného výfuku instalovaného na spalínové potrubí mezi spalovací kotel a turbínu.

Pro dosažení dostatečné elektrické účinnosti je požadován vyšší tlak zemního plynu buď skrze dodávku zemního plynu ze sítě či skrze instalaci posilovacího kompresoru, který je však finančně nákladný a má jistý elektrický příkon, čímž snižuje účinnost systému.

Elektrická účinnost KJ je ovlivněna teplotou spalin za spalovací komorou, která je však omezena z hlediska teplotní odolnosti materiálu lopatek turbíny. Oproti KJ se spalovacím motorem je elektrická účinnost závislá na výkonu; při jeho snížení klesá i elektrická účinnost.

V současné době se vyrábí KJ se spalovacími turbínami o elektrickém výkonu v rozsahu od 1 do 200  $MW_{el}$ . Neboť jak plyne z předchozích odstavců, instalace tohoto druhu KJ je složitější, finančně náročnější a elektrický výkon je podstatně menší při nižších výkonech turbíny, a proto vyplatí do průmyslových či komunálních zdrojů o vyšších požadavcích na produkovaný výkon.





*Obr. 2.5.2 - Schéma plynové kogenerace se spalovací turbínou[8]*

### 2.5.3 Paroplynová kogenerace

Hlavním cílem paroplynové kogenerace je dosažení maximálního podílu vyrobené elektrické energie na celkové výrobě tím, že využívá výhodných energetických vlastností jak spalovací tak parní kogenerace. Ke KJ se spalovací turbínou je navíc přidána parní turbína, která je poháněna párou vyrobenou ve spalínovém kotli využitím tepla ze spalin spalovací turbíny. Z poměru dodávky paliva do spalovací komory turbíny a spalínového kotle plyne poměr výkonu spalovací a parní turbíny. Poměr výkonů parní a spalovací turbíny je u většiny případů 3:1 až 4:1. [9]

Účinnost přeměny primárního paliva na elektrickou energii dosahuje v případě paroplynové kogenerace až 44 %. Systém funguje se stejnými podmínkami jako při plynové kogeneraci.

Paroplynová kogenerace je vzhledem ke kombinaci dvou systémů složitější a pracuje s tepelnými výkony v řádech desítek až stovek MW, proto ji uplatňujeme v pouze v průmyslových a komunálních oblastech s vysokými požadavky na odběr energií.

### 2.5.4 Kogenerace využívající palivové články

U tohoto typu kogenerace se jedná o přímou výrobu elektrické energie přeměnou chemické energie paliva, čímž se liší od ostatních výše uvedených principů. Díky odpadnutí nutnosti

tepelného oběhu docílíme vyšší účinnosti využití primárního paliva (teoreticky může dosáhnout až 100 %) a menší emisní zátěže.

Princip přeměny paliva na elektrickou energii je založen na oxidačně-redukční reakci, která probíhá v elektrolytu, v němž jsou vloženy dvě elektrody. Na elektrodách je produkována energie, přičemž k anodě je přiváděno palivo a ke katodě vzduch. V soustavě se nachází také výměníky, které využijí odpadní teplo pro výrobu teplé či horké vody, případně páry.

Elektrická účinnost se pohybuje v rozmezí 40 - 65 % a je možné tento typ kogenerace využít i pro menší výkony, což se jeví jako výhoda. V současné době však v České republice není plánovaná realizace tohoto typu kogenerace, neboť se jedná z finančního hlediska o vysokou investici.

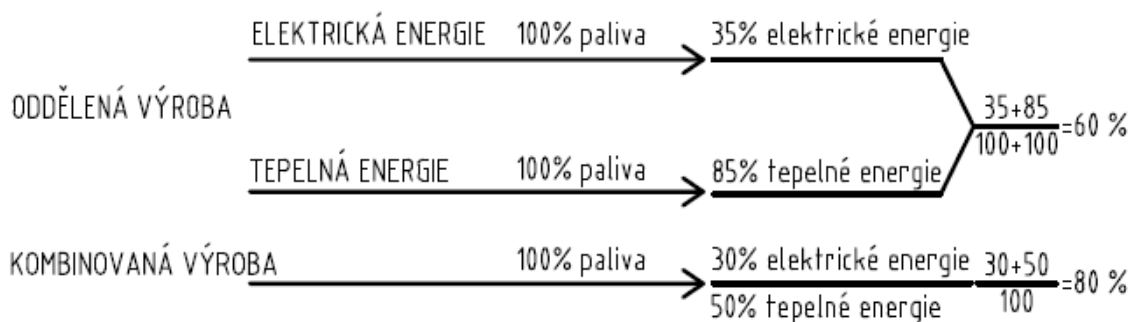
## 2.6 Výhody a nevýhody kogenerace

Informace předložené v předchozích odstavcích nám již částečně nastínilly výhody a nevýhody kogenerace. V této kapitole se nachází jejich shrnutí a podrobnější rozvedení, přičemž je vidět, že výhody převyšují nevýhody.

### 2.6.1 Výhody

#### 2.6.1.1 Vyšší účinnost systému

Díky tomu, že kogenerace efektivně využívá odpadní teplo při výrobě elektrické energie, zvyšuje se účinnost celého systému. Z obrázku 1 lze vyčíst, že při oddělené výrobě celková účinnost dosahuje 60 %, neboť pro výrobu elektrické energie je využito pouze 35 % primárního paliva a zbylé palivo proměněné v teplo je odváděno bez jakéhokoliv dalšího využití. Při samostatné výrobě tepelné energie je účinnost využití primárního paliva 85 % a tedy v průměru dostáváme hodnotu 60 %. Naproti tomu při KJET účinnost systému se běžně pohybuje okolo 80 %, přičemž v poslední době se na trhu objevují takové KJ, které pracují s účinnostmi až 95 %.



### ***Obr. 2.6.1.1 - Schéma využití primárního zdroje pro výrobu energie***

#### ***2.6.1.2 Menší spotřeba paliva a snížení nákladů vynaložených za palivo***

Vyšší účinnost využití primárního paliva a nízké výrobní ztráty mají samozřejmě vliv spotřebu paliva. Na jednotku vyrobené energie připadne menší množství paliva, pokud kombinujeme výrobu elektrické a tepelné energie. Z toho také plyne, že při KVET se zmenšují náklady vynaložené na nákup paliva v daném období (například za jeden rok).

#### ***2.6.1.3 Snížení emisí a ekologičtější výroba***

S menší spotřebou paliva lze docílit výrazného snížení celkových emisí - především se jedná o CO<sub>2</sub>, dále také SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>. Na každou vyrobenou MWh elektrické energie připadne úspora v řádech několika tun škodlivin, srovnáme-li KVET s běžnou výrobou elektřiny z fosilních paliv. Dalším faktem také je, že v dnešní době mnoho menších objektů, které vyrábí tepelnou energii lokálně, používá jako zdroj energie uhlí a tím výrazně přispívá ke znečištění ovzduší. Zavedení kogenerace v těchto zařízeních by tedy mělo velký význam i přes značné investiční náklady.

#### ***2.6.1.4 Možnost decentralizované výroby energie a minimalizace přenosových ztrát***

Ačkoliv jsme mluvili o tom, že tepelnou a elektrickou energii je možné kombinovaně vyrábět buď centrálně (CS) nebo lokálně (DS), kogenerace nám nabízí možnost i v rámci centralizované výroby efektivnější řešení založené na výpočtu potřeb energií v dané lokalitě. V porovnání s oddělenými centrálními zdroji je výroba za pomoci kogenerace svým způsobem stále decentralizovaná, neboť centrální kogenerace se využívá pro menší úseky oproti oddělenému systému výroby energií. Z této skutečnosti plyne značná redukce (pro CS) či úplná eliminace (pro DS) ztrát vzniklých při přenosu energie.

#### ***2.6.1.5 Nezávislost na centrálním zdroji***

Vzhledem k faktu, že celosvětová spotřeba energie roste, bude v budoucnu velmi důležité snížit svoji závislost na dovozu. Řešením by mohla být produkce energie za pomoci kogenerace, neboť díky ní by se dalo vytvořit prostředí většího množství menších výroben energií, které budou vzájemně nezávislé a tím dát vzniknout přirozené konkurenci na domácím trhu.

V ohledu DS KVET je velkou výhodou, že v případě výpadku centrální sítě objekty s lokálními kogeneračními systémy nejsou zasaženy. Lokální kogenerační systém může sloužit i jako záložní zdroj energie pro provoz, které vyžadují nepřetržitý provoz (což je velmi výhodné například ve zdravotnických zařízeních).

## 2.6.2 Nevýhody

### 2.6.2.1 Vysoké investiční náklady a otázka ekonomické návratnosti

Hlavní nevýhodou kogenerace jsou poměrně vysoké investiční náklady na pořízení samotné kogenerační jednotky (KJ), přičemž další značné náklady se mohou vyskytnout v místech, kde je nutno zbudovat připojení na stávající energetické sítě. Návratnost investice je závislá na konkrétním využití tepelné a elektrické energie v daném objektu. V zásadě je třeba, aby byl zajištěn plynulý provoz systému a aby veškerá produkovaná tepelná energie byla spotřebována v místě výroby. V otázce vyrobené elektrické energie není tolik klíčové spotřebovat všechnu vyrobenou energii, neboť ze strany státu existuje povinnost nadbytečnou energii vykupovat, protože ztráty při přenosu nejsou tak značné jako v případě tepelné energie.

Dalšími výdaji, které mají značný vliv na ekonomickou návratnost instalace KJ, jsou povinné revize motoru KJ. Tyto pravidelné revize se liší v závislosti na výkonu jednotky a počtu vytočených hodin provozu motoru a jsou udávány výrobcí KJ.

### 2.6.2.2 Otázka omezení provozu KJ z hlediska minimálního výkonu

V poslední době se začíná rozšiřovat navrhování mikrokogenerace, která se využije buď v místech, kde není technicky možné umístit jednu větší KJ (proto umístíme do objektu více malých KJ) nebo v objektech s malou potřebou tepelné a elektrické energie (například v rodinných domech apod.). Díky vzrůstající poptávce lze dnes již na trhu najít i takové mikrokogenerační jednotky, které se vyznačují stejnou účinností systému a tepelným výkonem mezi 4 a 26  $kW_{tep}$ , nabízí například firma Viessmann, která je schopna dodat zařízení o výkonu 0,6 - 1  $kW_{el}$  a 3,6 - 6  $kW_{tep}$ . Omezení z hlediska výkonu KJ tedy přestává být nevýhodou kogenerace.

### 2.6.2.3 Hluk a vibrace

Nedílnou součástí kogenerace je hluk vydávaný jak samotnou KJ tak proudícími spalinami. Legislativa udává nařízení, která se týkají protihlukové ochrany a tato nařízení je pro úspěšné zkolaudování nutno dodržet. Velmi záleží na umístění stavby, v níž provozujeme kogeneraci., neboť limitní parametry hluku se odvíjí od hustoty zástavby a typu využití sousedních ploch. V současné době se na trhu vyskytují KJ s protihlukovým krytem (nabízí například firma TEDOM, Viessmann), které lze umístit přímo do samotného objektu bez jakýchkoliv dalších stavebních úprav. Dovnitř objektu je možné též instalovat KJ bez protihlukového krytu, avšak je nutné její umístění do odhlučněné strojovny. Další možností, jak řešit hluk vzniklý

provozem KJ, je umístění KJ v kontejneru mimo objekt. Je třeba však také brát v úvahu hluk vzniklý výfukem spalin, který může činit potíže častěji než samotný motor KJ. Při překročení hygienických limitů hluku lze instalovat do výfuků KJ tlumiče, které mohou vzniklý hluk ztlumit až na polovinu. Pokud bychom řešili problém hluku v chráněném venkovním prostoru, je možná instalace oken se zvýšenou laboratorní neprůzvučností.

Během provozu KJ by mohly vzniknout také problémy s vibracemi a to především v objektech, ve kterých se vyskytují specializované přístroje citlivé na okolní prostředí (například některá oddělení nemocnic, výzkumná centra, atd.). Může se stát, že pro daný objekt nebude z tohoto důvodu vhodné využít KJ jako zdroj energie.

### **3 NÁVRH MIKROKOGENERACE DO OBJEKTU RODINNÉHO DOMU**

#### **3.1 Popis objektu**

Jedná se o objekt dvoupatrového rodinného domu postavený ve dvacátých letech minulého století v Liberci, který prošel v roce 1999 rekonstrukcí. Stávající obvodové stěny z plných cihel byly zatepleny pomocí kontaktního zateplovacího systému včetně zateplení soklů a dále proběhla pokládka nové střešní krytiny včetně jejího zateplení nad obytnými částmi objektu. Okna i dveře byla ponechána dřevěná. Rodinný dům je částečně podsklepený, přičemž podsklepená část není vytápěná. Střecha domu je sedlová a podkrovní část není obytná a není vytápěná, slouží jako půda.

Současným zdrojem tepla je plynový kotel umístěný v suterénu, který zajišťuje vytápění a ohřev užitkové vody. Příprava teplé vody je zajištěna v zásobníku teplé vody o objemu 80 l. Plynový kotel i zásobník se v objektu nachází od doby rekonstrukce a obě zařízení jsou již ve špatném stavu a je proto nutno provést v nejbližší době jejich výměnu.

Do objektu bude navržen nový tepelný zdroj a zásobník teplé vody, neboť starý zásobník nepokrývá optimálně potřeby domácnosti a je ve špatném stavu.. Na přání investora nebude objekt zateplován ani neproběhne výměna dřevěných oken a proto lze očekávat poměrně velké tepelné ztráty. Z tohoto důvodu by mohlo být vhodné instalovat do objektu mikrokogenerační jednotku, která pokryje potřebu tepelné i elektrické energie.

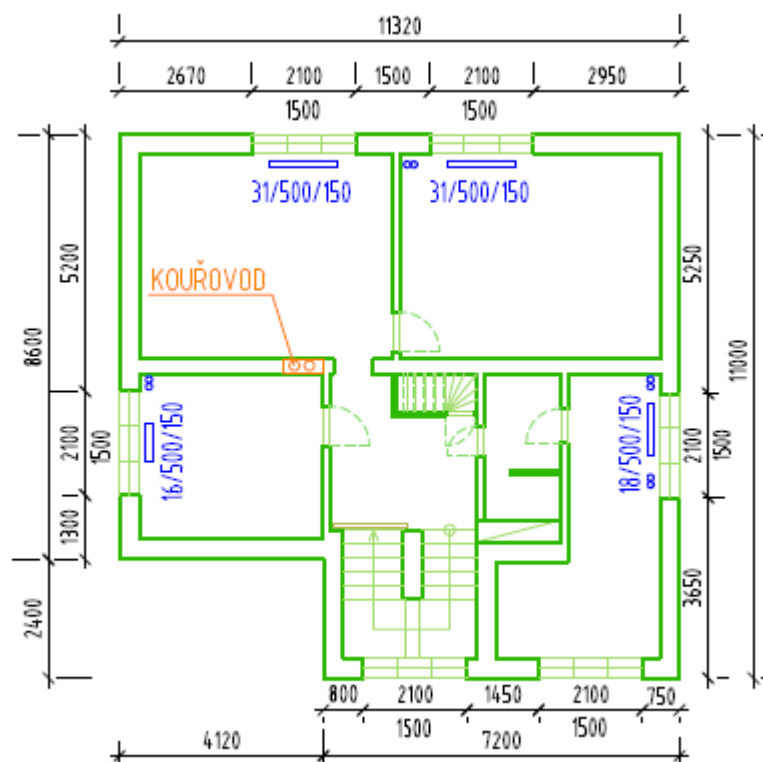
V objektu se nachází stávající ocelová otopná tělesa s ocelovým trubním systémem rozvodů. Otopná tělesa mají rozměry 500 / 150 (výška / šířka) s různými počty článků a jsou umístěná většinou pod okny (viz Obr. 3.1.1.1, 3.1.1.2, 3.1.1.3). Otopná soustava se též nebude rekonstruovat, pouze bude provedena celková revize soustavy včetně kontroly tepelných izolací trubní soustavy.

##### **3.1.1 Dispozice jednotlivých podlaží a umístění otopných těles**

Na následujících obrázcích (viz Obr. 3.1.1.1, 3.1.1.2, 3.1.1.3) jsou pro přehlednost využity různé barvy čar. Černě jsou vyznačeny základní rozměry objektu a jeho částí, které posléze poslouží při výpočtu tepelných ztrát. Dále modrou barvou jsou schematicky zakresleny tepelné rozvody včetně otopných těles, u nichž se nachází popis označující počet článků / výška / šířka (např. 18 / 500 / 150). Stávající zdroj tepla včetně napojení na kouřovod a zásobníku teplé vody jsou nakresleny hnědě. Zeleně je potom samotná konstrukce objektu včetně otvorů.



### 3.1.1.3 Dispozice druhého nadzemního podlaží (2. NP)



Obr. 3.1.1.3 - Schématický půdorys 2. NP

## 3.2 Tepelné ztráty objektu

Pro návrh nového tepelného zdroje (v tomto případě mikrokogenerační jednotky) je třeba stanovit tepelné ztráty objektu.

Ke stanovení tepelných ztrát je nutno znát skladby konstrukcí, které oddělují vytápěný prostor od vnějšího (venkovního) prostředí a od nevytápěných prostor. Ze známých skladeb poté lze vypočítat součinitele prostupu tepla  $U$  [ $W/(m^2 \cdot K)$ ].

### 3.2.1 Skladby stávajících konstrukcí a stanovení hodnot součinitelů prostupu tepla

Pro jednotlivé skladby konstrukcí daného objektu je u každé konstrukce, která odděluje vytápěný prostor od venkovního či nevytápěného prostoru stanoven součinitel prostupu tepla  $U$  [ $W/(m^2 \cdot K)$ ] dle ČSN EN ISO 6946 za použití vzorce:

$$U = \frac{1}{R_{si} + R + R_{se}} [W/(m^2 K)]$$

kde:

$$R = \text{celkový tepelný odpor konstrukce } [m^2 K/W] = \sum (d / \lambda)$$

$d$  .. tloušťka dané vrstvy [ $m$ ]



$\lambda$  .. součinitel tepelné vodivosti dané vrstvy [W/m.K]

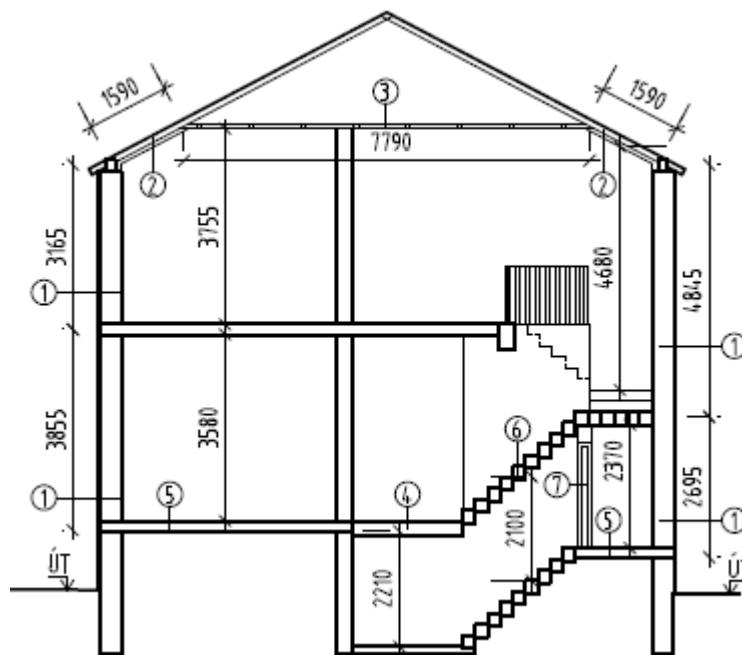
$R_{si}$  = tepelný odpor při přestupu tepla z vnitřního prostředí do konstrukce [ $m^2K/W$ ]

$R_{se}$  = tepelný odpor při přestupu tepla z konstrukce do vnějšího prostředí [ $m^2K/W$ ]

Odpor	Směr tepelného toku		
	nahoru	vodorovně	dolů
$R_{si}$	0,10	0,13	0,17
$R_{se}$	0,04	0,04	0,04

**Tab. 3.2.1** - Hodnoty tepelných odporů pro různé směry tepelných toků[10]

Pro dobrou představu skladeb konstrukcí přikládám schematický příčný řez objektem (Obr. 3.2.1). V řezu se nachází čísla jednotlivých skladeb, které budou popsány níže (číslo skladby a v řezu je posledním číslem podkapitoly - tzn. 4.1.2.a).



**Obr. 3.2.1** - Schematický příčný řez objektem

### 3.2.1.1 Obvodový plášť

- vnitřní sádrová omítka hrubá + jemná tl. 20 mm
- zdivo z plných cihel tl. 450 mm
- tepelná izolace Isover EPS 70 tl. 50 mm
- vápenocementová štuková omítka tl. 10 mm

Součinitel prostupu tepla obvodového pláště je 0,503[W/( $m^2K$ )].

### Střešní plášť zateplený

- banský šindel tl. 3,3 mm
- krokve / škvárový zásyp tl. 120 mm
- tepelná izolace minerální vata Dekwool tl. 80 mm
- sádrokartonová deska Rigips RF tl. 18 mm

*Součinitel prostupu tepla střešního pláště je  $0,367[W/(m^2K)]$ .*

### Strop v kontaktu s nevytápěnou půdou (strop 2.NP)

- dřevěná prkna tl. 20mm
- dřevěné trámy / tep. izolace min. vata Dekwool tl. 100 mm
- sádrokartonová deska Rigips RF tl. 18 mm

*Součinitel prostupu tepla střešního pláště je  $0,407[W/(m^2K)]$ .*

#### **3.2.1.2 Podlaha nad podsklepenou částí**

- zděná klenba tl.150 mm
- násyp ze zeminy (hlína) tl. 200 - 500 mm
- betonová mazanina tl. 150 mm
- cement. potěr tl. 10 mm
- původní dlažba tl. 8 mm
- stěrkové lepidlo tl. 10 mm
- keramická dlažba tl. 10 mm

*Součinitel prostupu tepla podlahy nad podsklepenou částí je  $1,300 [W/(m^2K)]$*

#### **3.2.1.3 Podlaha v prvním nadzemním podlaží na zemině**

- betonová mazanina tl. 150 mm
- cement. potěr tl. 10 mm
- původní dlažba tl. 8 mm
- stěrkové lepidlo tl. 10 mm
- keramická dlažba tl. 10 mm

*Součinitel prostupu tepla podlahy v prvním nadzemním podlaží je  $3,200[W/(m^2K)]$ .*

#### **3.2.1.4 Skladba schodiště**

- žulový blok tl. 250 mm

- stěrkové lepidlo tl. 10 mm
- keramická dlažba tl. 15 mm

*Součinitel prostupu tepla skladby schodiště je 4,530[W/(m<sup>2</sup>K)].*

### **3.2.1.5 Skladba stěny v 1.NP tl. 150 mm**

- zdivo z plných cihel tl. 150 mm
- vnitřní omítka sádrová hrubá + jemná tl. 20 mm

*Součinitel prostupu tepla skladby stěny je 2,326[W/(m<sup>2</sup>K)].*

### **3.2.1.6 Skladba stěny v 1.NP tl. 450 mm**

- zdivo z plných cihel tl. 450 mm
- vnitřní omítka sádrová hrubá + jemná tl. 20 mm

*Součinitel prostupu tepla stěny je 1,052[W/(m<sup>2</sup>K)].*

### **3.2.1.7 Součinitel prostupu tepla otvorů**

- okna dřevěná zdvojená se dvěma skly
- dle ČSN 73 0540-3, přílohy č.C.1

*Součinitel prostupu tepla oken uvažují výpočtovou hodnotu 2,800 [W/(m<sup>2</sup>K)].*

- dveře domovní dřevěné bez skleněné výplně
- dle ČSN 73 0540-3, přílohy č.C.1

*Součinitel prostupu tepla dveří uvažují výpočtovou hodnotu 2,600[W/(m<sup>2</sup>K)].*

## **3.2.2 Porovnání hodnot součinitelů prostupu tepla s normovými hodnotami**

Protože výměna tepelného zdroje nevyžaduje stavební povolení ze strany příslušného stavebního úřadu, není třeba, aby hodnoty součinitele prostupu tepla ( $U$ ) vyhovovaly hodnotám uvedeným v ČSN 73 0540-2, které platí pro objekty s převažující vnitřní teplotou 20 °C.

Pro zajímavost přikládám tabulku 3.2.2, kde jsou porovnány hodnoty součinitele prostupu tepla ( $U$ ) s normovými hodnotami, přičemž  $U_N$  představuje požadovanou normovou hodnotu a  $U_{Ndop}$  hodnotu doporučenou normou.

označení konstrukce	typ konstrukce	vypočtená hodnota $U[W/(m^2.K)]$	požadovaná hodnota $U_N[W/(m^2.K)]$	doporučená hodnota $U_{Ndop}[W/(m^2.K)]$
S1	obvodový plášť zateplený	0,50	0,3	0,2
S2	střešní plášť zateplený	0,37	0,24	0,16
S3	strop v kontaktu s nevyt. půdou (2.NP)	0,41	0,6	0,4
S4	podlaha v 1.NP kontakt se sklepem	1,30	0,6	0,4
S5	podlaha v 1.NP kontakt se zeminou	3,20	0,6	0,4
S6	schodiště v kontaktu se sklepem	4,53	0,6	0,4
S7	vnitř. stěna v kontaktu se sklepem (150mm)	2,33	0,6	0,4
S8	vnitř. stěna v kontaktu se sklepem (450mm)	1,05	0,6	0,4
S9	původní dřevěná okna s dvojsklem	2,80	2,0	1,2
S10	původní dřevěné dveře	2,60	2,0	1,2

**Tab. 3.2.2** - Porovnání hodnot součinitele prostupu tepla  $U$  [ $W/(m^2.K)$ ]

Z tab. 3.2.2 plyne, že ani jedna z uvedených konstrukcí nevyhovuje současným normovým požadavkům, neboť není splněna ani podmínka  $U \leq U_N$  ani  $U \leq U_{Ndop}$ . Jak již bylo řečeno, v tomto případě není třeba dodržení normových hodnot a tak jediný důsledek, který z vypočtených součinitelů prostupu tepla plyne, je předpoklad velkých tepelných ztrát.

### 3.2.3 Výpočet tepelných ztrát objektu

Na základě výpočtu hodnoty součinitele prostupu tepla jednotlivých konstrukcí a stanovení jeho hodnoty pro otvory v konstrukcích lze vypočítat tepelné ztráty objektu dle ČSN EN 12831 - Tepelné soustavy v budovách - Výpočet tepelného výkonu. Pro přehlednější a snazší výpočet jsem zvolila program Microsoft Office Excel (verze 2007).

Vstupní data:

- uvažovaná výpočtová vnitřní teplota  $\theta_i = 20$  °C
- uvažovaná výpočtová venkovní teplota  $\theta_e = -18$  °C (Liberec)
- hodnoty součinitelů prostupu tepla  $U$  - viz kapitola 3.2.1

Výpočet ploch jednotlivých konstrukcí plynou z výkresové dokumentace jednotlivých podlaží objektu (viz Obr. 3.1.1.1, 3.1.1.2, 3.1.1.3). Ke každému součiniteli prostupu tepla  $U$  připadne daná plocha; tzn. např. obvodová stěna má plochu rovnu délka x výška - plocha otvorů.

Stanovené hodnoty ploch jsou zapsány v tabulce programu Microsoft Office Excel a doplněny výpočtem součinitele tepelných ztrát prostupem  $H_T$ , který spočteme za pomocí vztahu:

$$H_T = A \times (U + \Delta U) \times b [WK^{-1}]$$

kde:

$A$  = celková plocha dané konstrukce [ $m^2$ ]

$U$  = součinitel prostupu tepla dané konstrukce [ $W/(m^2 \cdot K)$ ]

$\Delta U$  = součinitel prostupu tepla dané konstrukce zahrnující vliv tepelných vazeb a mostů [ $W/(m^2 \cdot K)$ ]; pro tento objekt uvažují  $\Delta U = 0,1 [W/(m^2 \cdot K)]$  pro dříve standardní úroveň provedení (dnes považováno za nízkou)

$b$  = návrhová hodnota činitele teplotní redukce (zohledňuje rozdíl teplot nevytápěného prostoru vůči venkovním prostoru) - hodnota odečtena z tab. F.2. ve dříve platné normě ČSN 73 0540-3

Pro výpočet tepelných ztrát prostupem  $\Phi_T$  využijí vypočtené hodnoty součinitele tepelných ztrát prostupem  $H_T$  a daných výpočtových teplot:

$$\Phi_T = H_T \times (\theta_i - \theta_e) [W]$$

kde:

$H_T$  = součinitel tepelných ztrát prostupem [ $WK^{-1}$ ]

$\theta_i$  = výpočtová vnitřní teplota [ $^{\circ}C$ ]

$\theta_e$  = výpočtová vnější teplota [ $^{\circ}C$ ]

Kromě tepelných ztrát prostupem  $\Phi_T$  je nutno uvažovat tepelné ztráty větráním  $\Phi_V$ , které v tomto případě, kdy v objektu není instalováno žádné zařízení zajišťující nucené větrání, vypočteme ze vztahu:

$$\Phi_V = H_V \times (\theta_i - \theta_e) [W]$$

kde:

$H_V$  = součinitel tepelných ztrát větráním [ $WK^{-1}$ ]

$\theta_i$  = výpočtová vnitřní teplota [ $^{\circ}C$ ]

$\theta_e$  = výpočtová vnější teplota [ $^{\circ}C$ ]

Součinitel tepelných ztrát větráním spočteme jako:

$$H_V = V_i \times c_p \times \rho [WK^{-1}]$$

kde:

$V_i =$  výměna vzduchu ve vytápěném prostoru [ $m^3 / h$ ] =  $n \times V_m$

$n$  ... požadovaná výměna vzduchu =  $0,5 / h$

$V_m$  ... objem vytápěného prostoru [ $m^3$ ]

Po sečtení tepelných ztrát prostupem  $\Phi_T$  a větráním  $\Phi_V$  dostaneme celkovou hodnotu tepelné ztráty objektu  $\Phi$ :

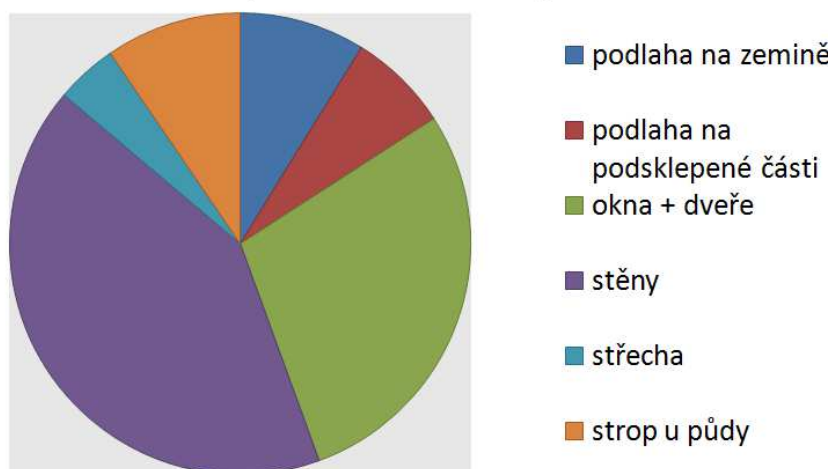
$$\Phi = \Phi_T + \Phi_V [W]$$

V příloze 1 a 2 se nachází tabulka programu Microsoft Office Excel s dosazením všech konkrétních hodnot do výše uvedených vzorců. Z tohoto výstupu plyne:

*Celkové tepelné ztráty  $Q_z$  v případě řešeného objektu dosahují hodnoty 18,28 kW.*

Na přiloženém grafu 3.2.3 lze vidět podíl jednotlivých typů konstrukcí na celkové tepelné ztrátě budovy. Z grafu plyne, že největší tepelnou ztrátu zaznamenáváme u stěn a u otvorů, přičemž když vezmeme v úvahu poměr ploch těchto dvou typů konstrukcí, je jasné, že otvory mají největší vliv na tepelné ztráty budovy, čímž je jen potvrzen obecně známý fakt. Ostatní typy konstrukcí vzhledem ke svým plochám nijak zvlášť nepřekvapují podílem na celkové tepelné ztrátě objektu.

**Podíl jednotlivých typů konstrukcí na celkové tepelné ztrátě budovy**



**Graf 3.2.3 - Podíl jednotlivých typů konstrukcí na celkové tepelné ztrátě budovy**

### 3.3 Tepelná bilance objektu

#### 3.3.1 Roční potřeba tepla na vytápění

Roční potřebu tepla na vytápění  $Q_{vyt}$  jsem vypočetla pomocí denostupňové metody následovně:

$$Q_{vyt} = \frac{24 \times Q_z \times \varepsilon \times D}{t_{is} - t_e} [Wh/rok]$$

kde

$Q_z$  = tepelná ztráta objektu spočtená dle ČSN EN 12 831 = 17,67 kW

$\varepsilon$  = opravný součinitel na snížení teploty, zkrácení doby vytápění, nesoučasnost tepelné ztráty infiltrací, zahrnuje:

$e_i$  ... nesoučasnost tep. ztráty infiltrací a tep.ztráty prostupem; infiltrace obvykle tvoří cca 10 % celkové tep. ztráty, proto uvažuji  $e_i = 0,85$

$e_t$  ... snížení teploty v místnosti během dne a v noci, zohledňuje výkon otopné soustavy během dne; pro rodinný dům uvažuji  $e_t = 0,8$

$e_d$  ... využití budovy během týdne; pro rodinný dům uvažuji  $e_d = 1,0$

$\eta_0$  ... účinnost rozvodu - závisí na provedení; uvažuji  $\eta_0 = 0,98$

$\eta_r$ ... možnost regulace soustavy; uvažuji automatickou regulaci  $\eta_r = 1,0$

$$\varepsilon = \frac{e_i \times e_t \times e_d}{\eta_0 \times \eta_r} [-] = \frac{0,85 \times 0,8 \times 1,0}{0,98 \times 1,0} = 0,694$$

$D$  = počet denostupňů [dK] =  $(t_{is} - t_{es}) \times d = (19 - (-12)) \times 241 = 7471$  dK

$t_{is}$  ... průměrná výpočtová vnitřní teplota v budově [°C]; uvažuji  $t_{is} = 19$  °C

$t_{es}$  ... průměrná venkovní teplota v otopném období [°C]; uvažuji  $t_{es} = -12$  °C

$d$  ... počet dnů otopného období v roce; uvažuji  $d = 241$

$t_e$  = výpočtová venkovní teplota; pro Liberec  $t_e = -18$  °C

Roční potřeba tepla na vytápění objektu  $Q_{vyt} = 34,8$  MWh/rok.

### 3.3.2 Roční potřeba tepla na přípravu teplé užitkové vody (TUV)

#### 3.3.2.1 Denní potřeba TUV

Denní potřebu vody v objektu na osobu jsem stanovila dle ČSN 06 0320. V tabulce jsou zapsány zařizovací předměty, které zprostředkovávají spotřebu teplé vody uživateli objektu. Dále je v tabulce zapsán počet a objem dávek ke každé baterii zařizovacího předmětu. Dle uvedené normy každé baterii případně určité teplo vztažené na objem dávek za den a poté je teplo sečteno, abych dostala celkové teplo spotřebované za den pro potřebu TUV a stejně tak po sečtu dílčích objemů dávek jsem dostala celkový objem TUV za den.

POTŘEBA TUV V OBJEKTU dle ČSN 06 0320 - TAB. č. 4								
Parametr	značka	jednotka	umyvadlo 1.NP	umyvadlo 2.NP	vana	sprcha	dřez	
Počet dávek	n	-	2	2	0,3	1	0,8	
Objem dávek	$V_d$	$m^3$	0,02	0,02	0,025	0,025	0,002	
Teplo v dávkách	$E_d$	kWh	1,0	1,0	1,4	1,3	0,1	
Součet objemu dávek	$V_{2p}$	$m^3$	0,092					
Součet tepla v dávkách	$E_{2p}$	kWh	4,8					

Tab. 3.3.2.1 - Tabulka potřeby TUV dle ČSN 06 0320 - tab. č. 4.

Denní potřebu tepla pro přípravu TUV  $Q_{TVd}$  jsem vypočetla dle vztahu:

$$Q_{TVd} = 1,5 \times [V_{2p} \times \rho \times c \times (t_2 - t_1)]$$

kde

$V_{2p}$  = součet objemu dávek (viz Tab. 3.3.2.1)  $\times$  počet osob v objektu

$$V_{2p} = 0,092 \text{ m}^3 \times 4 = 0,368 \text{ m}^3$$

$\rho$  = měrná hmotnost vody; uvžuji  $1000 \text{ kg/m}^3$

$c$  = měrná tepelná kapacita vody =  $4186 \text{ J/kg.K}$

$t_1$  = teplota studené vody =  $10^\circ\text{C}$

$t_2$  = teplota ohřáté vody =  $55^\circ\text{C}$

$1,5 \times \dots$  pro zohlednění ztrát vzniklých při ohřevu a dopravě TUV

Denní potřeba TUV v objektu  $Q_{TVd} = 28,89 \text{ kWh/den}$ .



### 3.3.2.2 Roční potřeba tepla na přípravu TUV

Z denní potřeby jsem vypočetla roční potřebu tepla pro přípravu TUV  $Q_{TUV}$ :

$$Q_{TUV} = Q_{TVd} \times d + 0,8 \times Q_{TVd} \times \frac{55 - t_{SVl}}{55 - t_{SVz}} \times (N - d)$$

kde

$$Q_{TVd} = \text{denní potřeba vody pro ohřev TUV} = 28,89 \text{ kWh}$$

$$d = \text{počet dnů otopného období v roce; uvažuji } d = 241$$

0,8 .. zohlednění snížení potřeby TUV v letním období

$$t_{SVl} = \text{teplota studené vody v létě; uvažuji } t_{SVl} = 15 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$t_{SVz} = \text{teplota studené vody v zimě, uvažuji } t_{SVz} = 8 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$N = \text{počet pracovních dní soustavy v roce; uvažuji } N = 364$$

Roční potřeba tepla na přípravu TUV  $Q_{TUV} = 9,9 \text{ MWh/rok}$ .

### 3.3.3 Celková roční potřeba tepla

Celková roční potřeba tepla  $Q_r$  [MWh/rok] se skládá z potřeby tepla na vytápění a potřeby tepla na ohřev teplé vody, tedy:

$$Q_r = Q_{vyt} + Q_{TUV} = 34,8 + 9,9 = 44,7 \text{ MWh/rok}$$

## 3.4 Roční potřeba elektrické energie

Roční potřebu elektrické energie jsem stanovila pomocí průměrných spotřeb elektrického proudu vysokého a nízkého tarifu v jednotlivých měsících roku 2015, které mi byly poskytnuty majitelem objektu. Tyto průměrné hodnoty jsem sečetla a vynásobila počtem dní v daném měsíci, čímž jsem dostala spotřebu elektrické energie pro každý měsíc roku 2015 a z těchto měsíčních hodnot poté celkovou roční spotřebu elektrické energie.

Roční spotřeba el. energie po měsících v roce 2015 [kWh]				
měsíc	průměrná denní hodnota (vysoký tarif)	průměrná denní hodnota (nízký tarif)	suma V+N	celková měsíční spotřeba
1	1,77	5,32	7,09	219,79
2	2,75	4,96	7,71	218,964
3	2,64	4,96	7,6	235,6
4	2,7	5,1	7,8	234
5	2,8	4,2	7	217
6	1,8	5,2	7	210
7	2,64	3,6	6,24	193,44
8	2,64	3,6	6,24	193,44
9	3,41	3,76	7,17	215,1
10	3,41	3,76	7,17	222,27
11	3,41	3,76	7,17	215,1
12	0,9	7	7,9	244,9
celková roční spotřeba elektrické energie				2619,6

**Tab. 3.4a** - Tabulka naměřených denních hodnot spotřeby elektrické energie za rok 2015

Hodnotu spotřeby elektrické energie z roku 2015 jsem porovnala s potřebou elektrické energie, která plyne z výčtu elektrických spotřebičů řešeného objektu a odhadované doby jejich využití za celý rok. Z tab. 3.4.b plyne, že hodnoty si zhruba odpovídají a je tedy možné pro určení roční potřeby elektrické energie využít fakturační data z předešlého roku.

*Roční potřeba elektrické energie je stanovena na  $Q_{el}= 2,62$  MWh/rok.*

spotřebič	jednotk. příkon [kW]	spotřeba energie za rok[MWh]
chladnička kombi s mrazákem	0,040	0,022
mikrovlonná trouba	1,300	0,095
elektrická trouba	2,500	0,195
toastovač	0,600	0,008
rychlouvarná konvice	2,000	0,657
radio	0,009	0,016
televize	0,385	0,703
žehlička	2,400	0,125
pračka	2,200	0,343
stolní počítač	0,300	0,078
notebook	0,040	0,042
tiskárna	0,480	0,013
fén	1,876	0,098
žehlička na vlasy	0,050	0,001
čerpadlo vody ve studně	0,500	0,274
plynový kotel	0,300	0,110
osvětlení	0,573	0,126
<b>celkem</b>	<b>15,553</b>	<b>2,904</b>

*Tab. 3.4b - Výčet elektrických spotřebičů v objektu a jejich odhadovaná roční potřeba elektrické energie*

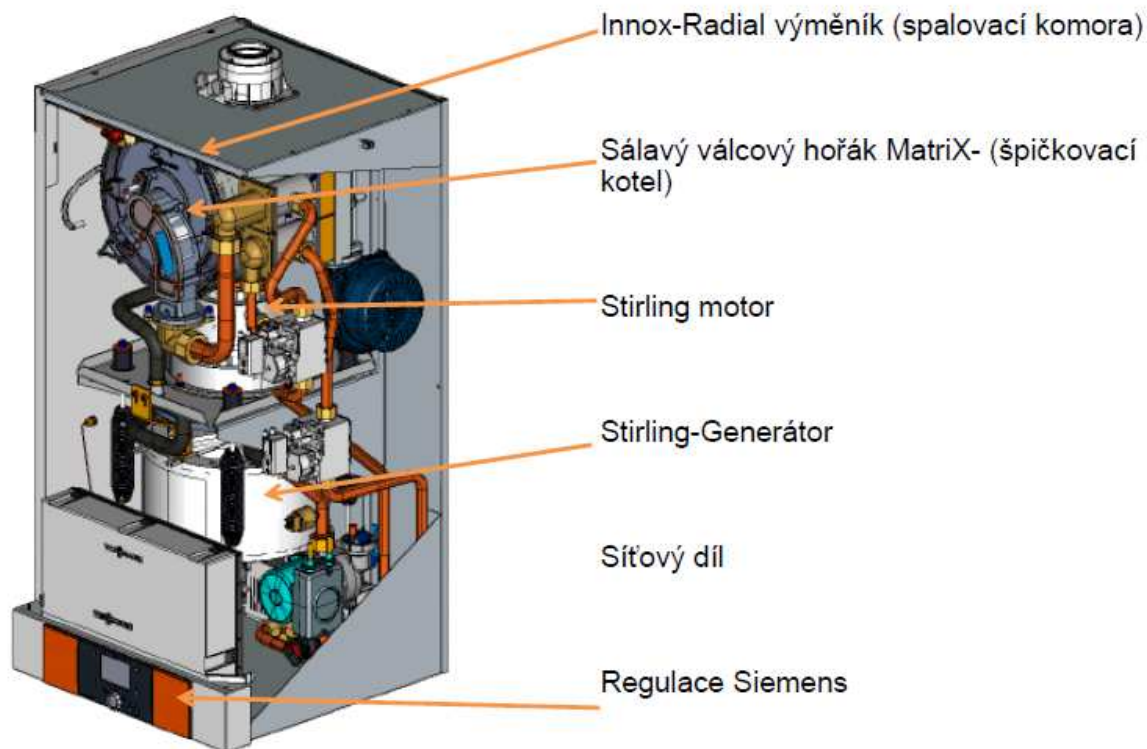
### 3.5 Navržená mikrokogenerační jednotka - Vitotwin 300-W

#### 3.5.1 Obecný popis

KJ Vitotwin 300-W (dále jen KJ) představuje mikrokogeneraci na bázi Stirlingova motoru, s integrovaným kondenzačním plynovým kotlem Vitodens 200-W pro pokrytí maximální (špičkové) potřeby tepla. Jako palivo využívá zemní plyn či zkapalněný plyn. KJ je vhodná pro využití v jednogeneračních či dvougeneračních rodinných domech díky kombinaci Stirlingova motoru pro pokrytí základních potřeb energií s maximálním elektrickým výkonem  $1 kW_{el}$  a maximálním tepelným výkonem  $3,6 - 6 kW_{th}$  a kotlem, který zajistí pokrytí špičkových potřeb tepelné energie. Špičkovací kotel má maximální tepelný výkon  $20 kW_{th}$  a je možné ho zapnout dle potřeb uživatelů.

## Vitotwin 300-W

### Konstrukce



Obr.3.5.1 - Mikrokogenerační jednotka Vitotwin 300-W [11]

### 3.5.2 Technické parametry zařízení Vitotwin 300-W

V tab. 3.5.2 jsou uvedeny technické údaje k zařízení Vitotwin 300-W platné za předpokladu:

- palivo: zemní plyn, výhřevnost  $H = 33,93 \text{ MJ/m}^3$
- teplota vratné větve kotlové vody  $30 \text{ }^\circ\text{C} \pm 2 \text{ K}$
- teplota okolního prostředí v místě instalace  $20 \text{ }^\circ\text{C} \pm 2 \text{ K}$
- objemový tok topné vody  $900 \text{ l/h} \pm 10 \%$

Veličina	Jednotka	Hodnota
Elektrický výkon	kW <sub>el</sub>	0,6 - 1,0
Jmenovitý tepelný výkon	kW <sub>th</sub>	3,6 - 26,0
Jmenovité tepelné zatížení	kW	3,6 - 25,2
Frekvence vyrobeného proudu	Hz	49,5 - 50,3
Max el. příkon oběhového čerpadla	W	45
Hmotnost	kg	125
Objem výměníku tepla	l	5
Rozměry		
délka	mm	480
šířka	mm	480
výška	mm	900
výška s revizním kolenem	mm	1057
Průměrné množství kondenzátu	l / den	12
Přípojka kondenzátu	Ø mm	20
Spalinová přípojka	Ø mm	60
Přípojka přiváděného vzduchu	Ø mm	100
Síťová přípojka	mm <sup>2</sup>	3 x 2,5
Hladina akustického tlaku	dB	54
Faktor úspory primární energie		
Stirlingův hořák	%	21,9
Celé zařízení	%	> 17,1
Faktor primární energie		
Stirlingův motor (dle DIN 4701-10)	-	0,7
Celé zařízení	-	0,94

**Tab. 3.5.2** - Technické parametry zařízení Vitotwin 300-W

Pro údaje o elektrickém výkonu 1 kW<sub>el</sub> byly kromě výše zmíněných předpokladů uvažovány tyto hodnoty:

Elektrická síť:

- Jmenovité napětí: 230 V
- Jmenovitý kmitočet: 50 Hz
- Tlak vzduchu 1013,5 mbar (101,35 kPa)

Tlak plynu

- Zemní plyn 20 mbar (2 kPa)

Při odlišných provozních podmínkách může nastat omezení výkonu pod 950 W, ale nemělo by dojít ke snížení výkonu pod 880 W.

### 3.5.3 Princip výroby energií

Stirlingův motor pracuje jako hermeticky uzavřený systém naplněný heliem s volně plovoucími píсты. V horní části je helium ohříváno prstencovým hořákem a ve spodní části je opět ochlazováno, čímž vzniká tlakový rozdíl způsobený rozpínáním helia a na základě toho

vzniká kinematická energie, která je pomocí generátoru přeměňována na energii elektrickou. Elektrická energie je v optimálním případě okamžitě využita v domácnosti nebo je možné ji nechat odtéct do příslušné distribuční sítě.

Odpadní teplo Stirlingova motoru se dostane do společného výměníku tepla, který slouží též špičkovacímu kotli a je prostřednictvím topné vody využito k vytápění objektu a ohřevu teplé vody.

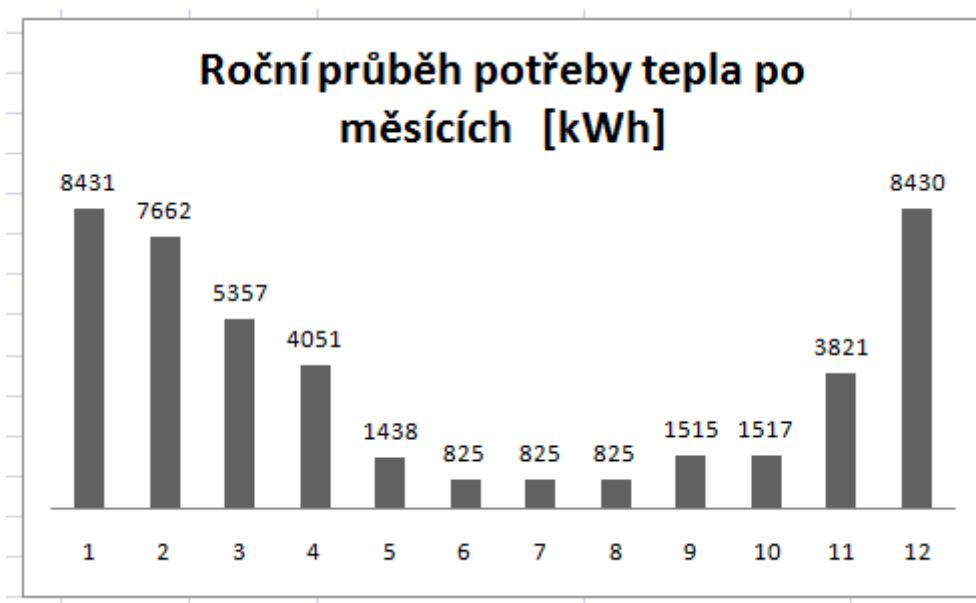
Spodní oblastí Stirlingova motoru protéká vratná větev topného potrubí, čímž dochází k ochlazení helia.

Prstencový hořák i kotel pro pokrytí špičkových zatížení jsou zásobeny společným plynovým potrubím a mají společný systém odvodu spalin. Díky tomu nejsou náklady na instalaci vyšší než u běžných kondenzačních plynových kotlů.

#### 3.5.4 Provoz zařízení Vitotwin 300-W

U této KJ se předpokládá pokud možno co nejdelší plynulá doba provozu, která povede ke snížení nákladů vynaložených za elektrický proud. Abychom splnili podmínky pro KVET, a tím dosáhli na dotace při pořizování KJ a získali také možnost prodeje přebytečné vyrobené elektrické energie, musí být KJ v provozu minimálně 3000 hodin ročně. Zároveň je ideální vyrobenou elektrickou energii ihned spotřebovat.

V grafu. 3.5.4.a můžeme vidět roční potřebu tepelné energie rozdělenou do jednotlivých měsíců na základě známých výdajů vynaložených na nákup zemního plynu v průběhu roku 2015.



**Graf 3.5.4a** - Roční průběh potřeby tepla po měsících

Protože potřeba tepelné energie se během průběhu celého roku liší, je třeba přizpůsobit těmto změnám i provoz KJ. Pro zásobování objektu teplou vodou bude využit zásobníkový ohřívač vody o objemu 500 l (bude popsán níže). Teplo, které je třeba dodat zásobníku je při teplotním spádu 55 / 45 24 kWh, což znamená při využití vyprodukovaného tepla pouze Stirlingovým motorem 6 h jeho činnosti. Stirlingův motor, pokud bude zapnutý, poběží vždy na maximální výkon, tzn. 6 kW<sub>tep</sub> a 1 kW<sub>el</sub>.

Provoz zařízení Vitotwin 300-W v průběhu roku										
měsíc	měsíční potřeba [kWh]	průměrná denní potřeba [kWh]	doba chodu KJ /den [h]		nasazený výkon KJ [kW]		vyprodukované teplo /den [kWh]	vyprodukovaná el. energie /den [kWh]	vyprodukovaná el. energie / měsíc [kWh]	spotřeba zem. plynu [m <sup>3</sup> /h]
1	8431	272	10,5		26		273	10,5	325,5	2,6
2	7662	270	10,5		26		273	10,5	294	2,6
3	5357	172	4	6	6	26	180	10,0	310	0,6   2,6
4	4051	131	9		15		135	9,0	270	1,5
5	1438	48	8		6		48	8,0	248	0,6
6	825	29	5		6		30	5,0	150	0,6
7	825	29	5		6		30	5,0	155	0,6
8	825	29	5		6		30	5,0	155	0,6
9	1515	51	8,5		6		51	8,5	255	0,6
10	1517	51	8,5		6		51	8,5	263,5	0,6
11	3821	128	5	5	6	20	130	10,0	300	0,6   2
12	8430	272	10,5		26		273	10,5	325,5	2,6
<b>celkem</b>	<b>44697</b>	-	-		-		-	-	<b>3051,5</b>	-

**Tab. 3.5.4b** - Provoz zařízení Vitotwin 300-W

Tab. 3.5.4.b ukazuje chod KJ v průběhu celého roku v závislosti na potřebách v daném měsíci. V prvních dvou sloupcích je potřeba tepla v daném měsíci a průměrná potřeba tepla za jeden den daného měsíce, v dalším sloupci je průměrný počet hodin chodu KJ za den. Čtvrtý sloupec ukazuje výkon zařízení (6 kW<sub>tep</sub> - v chodu bude pouze Stirlingův motor při maximálním výkonu, > 6 kW<sub>tep</sub> - v chodu bude jak Stirlingův motor produkující elektrickou a tepelnou energii, tak špičkový kotel zapnutý na takový výkon, aby pokryl tepelné potřeby v daném čase). V dalších sloupcích je potom produkce tepelné energie za jeden den, produkce elektrické energie za jeden den a za celý měsíc. Poslední sloupec udává okamžitou spotřebu zemního plynu, která odpovídá danému výkonu KJ. Z tab. 3.5.4.b plyne, že při tomto provozu KJ se dostaneme přes 3000 hodin ročně, tudíž více než vyrobíme 3000 kWh<sub>el</sub>. V celkové roční bilanci zaměřené na elektrickou energii budeme v plusu, neboť roční potřeba elektrické energie je necelých 2,7 MWh<sub>el</sub> (viz kap. 3.4).

### **3.5.5 Distribuce vyprodukované energie**

#### **3.5.5.1 Distribuce elektrické energie**

V příloze č. 3 je možné vidět schéma distribuce elektrické energie vyrobené kogenerační jednotkou. Elektrický proud vyrobený generátorem lze využít pro pokrytí potřeb elektrické energie v domácnosti a tím dosáhnout znatelných úspor oproti odebírání elektrického proudu z veřejné sítě. Nadbytečný elektrický proud může být po předchozí dohodě s místní distribuční sítí (DS) dodáván a proplácen ze strany této DS. DS pro Liberec je skupina ČEZ, s.r.o. Výkupní cena pro KJ realizované v roce 2016 nebyla ze strany ERÚ dosud stanovena. Předpokládá se však, že po odečtení poplatků by výkupní cena mohla dosáhnout částky 1475,- / MWh. [12].

Díky regulačnímu zařízení, které je integrováno v KJ, je umožněn takový provoz Stirlingova motoru, při kterém bude pokryta veškerá potřeba elektrického proudu. V případě předpokládaného vyššího odběru elektrické energie lze zapnout Stirlingův generátor prostřednictvím ovládacího tlačítka. V takovém případě dojde k jednorázovému spuštění Stirlingova hořáku, který bude spuštěn buď po dobu dvou hodin (což je výchozí nastavení, které lze přenastavit uživatelem) nebo do té doby, dokud se teplota v zásobníku nezvýší o 10 K, než je zadaná teplota.

Pokud vyrobený elektrický proud není pro domácnost dostačující, je možný dodatečný odběr z veřejné sítě. Ze strany DS probíhá roční vyúčtování, ve kterém se odebraná elektrická energie ze sítě odečte od energie dodané sítí a stanoví se případné přeplatky či nedoplatky.

#### **3.5.5.2 Distribuce tepelné energie**

KJ bude provozována se zásobníkovým ohřívačem vody Vitocell 300-V typu EVI o objemu 500 l, který je ve vertikálním provedení z ušlechtilé nerezové oceli. Zásobníkový ohřívač je dodávaný v sadě.

V příloze č. 4 je možné vidět schéma distribuce tepelné energie vyrobené KJ. Odpadní teplo KJ bude ve formě teplé vody buď využito pro potřeby topného okruhu nebo bude přiváděno do zásobníkového ohřívače. V zásobníkovém ohřívači proběhne ochlazení přiváděné horké vody díky předání tepla studené pitné vodě. Ochlazená voda koluje zpět do KJ, kde je opět ohřívána odpadním teplem Stirlingova motoru či špičkovacím kotlem.



Pitná voda bude za do objektu čerpána ze studny, dále bude přiváděna do akumulčního zásobníku, kde se ohřeje pomocí spirály topné vody přiváděné z KJ a bude distribuována do odběrných zařízení pro pokrytí potřeb teplé vody.

### **3.5.6 Instalace a připojení zařízení Vitotwin 300-W**

#### **3.5.6.1 Plynová přípojka**

KJ bude napojena na stávající přívodní potrubí zemního plynu do objektu, které je využíváno současným zdrojem tepla - plynovým kotlem. Instalace bude provedena oprávněným pracovníkem příslušné plynárenské sítě.

Součástí zapojení KJ je také zapojení patentovaného systému na určení spotřeby zemního plynu pro Stirlingův motor.

#### **3.5.6.2 Elektrické připojení**

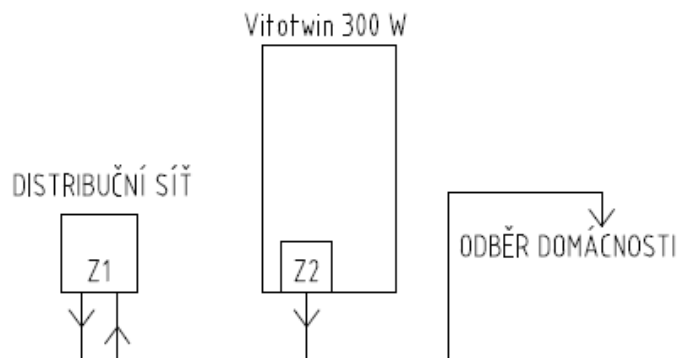
KJ bude napojena na stávající distribuční síť (DS) pro rozvod elektřiny, kterou je skupina ČEZ, a.s.. Před prvním uvedením do provozu musí být KJ nahlášena této příslušné DS. Před instalací je třeba kontaktovat DS a vyřešit technické a legislativní otázky a průběh přejímky.

Napojení na stávající DS provede firma s pověřením příslušné DS dle stanovených předpisů. V rámci napojení na stávající DS proběhne též montáž obousměrného elektroměru (Z1), který bude sloužit odečtu odběrů a přetečení případných přebytků do veřejné sítě. Elektroměr bude blokován proti zpětnému chodu, cejchovaný (je u něho ověřena správná funkce certifikovanou firmou), třífázový.

Součástí regulace vestavěné v KJ je elektroměr samotné výroby (Z2), který je blokován proti zpětnému chodu, cejchovaný, jednofázový.

KJ musí mít samostatný jistič. Nesmí být k proudovému obvodu připojena společně s jinými spotřebiči.

KJ nesmí být zapnuta před uvedením do provozu servisním technikem.



*Obr. 3.5.6.2 - Schéma zapojených elektroměrů v rámci mikrokogenerační výroby*

### **3.5.6.3 Hydraulické připojení**

Uvnitř KJ je integrováno oběhové čerpadlo zajišťující oběh topné vody v systému. Minimální tlak v zařízení 1,0 bar (0,1 MPa). Teplota přívodní větve topné vody bude 80 °C ,teplota vratné vody bude 60°C. Do vratné větve topné vody bude nainstalován lapač nečistot. V zařízení KJ je integrován pojistný ventil podle TRD 721, odfukové potrubí bude zavedeno do odtokové výlevky s vestavěným sifonem, který slouží jako pachový uzávěr. Systém odvodu spalin je dodáván spolu s dalším příslušenstvím ke KJ.

Ochrana proti nedostatku vody nemusí být dodatečně řešena, neboť výrobce KJ doložil výsledky odborné zkoušky, které dokazují, že pokud by případně mělo dojít k nedostatku vody vlivem netěsnosti topného zařízení, dojde k vypnutí hořáku.

### **3.5.6.4 Přípojka pro odvod kondenzátu**

Na odtoku kondenzátu z KJ bude namontován sifon, aby nemohlo dojít k úniku spalin. Odvod kondenzátu bude zajištěn stávajícím odvodním potrubím pro kondenzát stávajícího plynového kotle. Potrubí je z měkčeného PVC s textilní vložkou uvnitř DN 20, je napojeno přes pachový uzávěr na straně kanálu na kanalizační síť. Odvodní potrubí je spádováno konstantním spádem 1% směrem ke kanalizační síti a celý systém odvodu bude volně přístupný. Po zavedení KJ do provozu bude nutné dodatečně ověřit kyselost kondenzátu. V případě, že pH převyší hodnotu 5, musí být na odvod instalováno neutralizační zařízení.

### **3.5.6.5 Odkouření**

Odvod spalin bude zajištěn stávajícím trubním systémem DN 150 ze žáruvzdorné oceli vedeným šachtou v nosné zdi o rozměrech 300 / 800 mm. Před zapojením KJ na stávající systém bude provedena celková revize systému pověřeným technikem, bude přidána redukce pro napojení nového vodorovného (spojovacího) potrubí. Vodorovné potrubí se bude skládat

z jednoho kusu AZ trubky s revizním otvorem DN 100 o délce 1 m. Dále bude přidáno AZ koleno stejného jmenovitého průměru. Před uvedením KJ do provozu je třeba ověřit těsnost celého zařízení pro odvod spalin tlakovou zkouškou.

#### **3.5.6.6 Expanzní nádoba**

Pro zařízení Vitotwin 300-W s objemem topné vody v systému 130 l (objem kotlové vody 5 l) a zásobníkový ohřívač vody Vitocell 300-V EVI o objemu 500 l při teplotním spádu 80 / 60 byla navržena podle ČSN EN 12828 minimální velikost expanzní nádoby 45 l. Expanzní nádoba bude umístěna ve společné kotelně s dalším zařízením dle požadavků ČSN EN 12828.

#### **3.5.6.7 Instalace zařízení Vitotwin 300-W**

Místo instalace KJ je zajištěno před mrazem, neboť se nachází v 1.PP, tudíž v prostoru, kde nehrozí teploty pod bod mrazu. Větrání není třeba zajišťovat samostatnými otvory.

KJ musí být vždy nainstalována svisle na masivní zdi nebo instalační konstrukci. Podle potřeby je nutné využít instalačních podložek či přijmout jiná opatření, která povedou k řádné instalaci. Jinak hrozí nebezpečí nadměrného opotřebení a vzniku většího hluku a vibrací KJ než je garantováno výrobcem.

KJ musí být přístupná ze třech stran, neboť lze předpokládat odebírání předního a bočních plechů pláště během provozu KJ. Pro dobrou dostupnost je nutné dodržet montážní odstupy (min 400 mm na každou stranu). V příloze č. 2 je zobrazena vyřešená dispozice kotelny řešeného objektu. Půdorysné rozměry KJ jsou 480 x 480 mm, výška KJ je 900 mm.

Revizní koleno napojené na potrubí sloužící odvodu spalin je napojeno shora a osa jeho svislé části bude ve vzdálenosti 230 mm od masivní stěny.

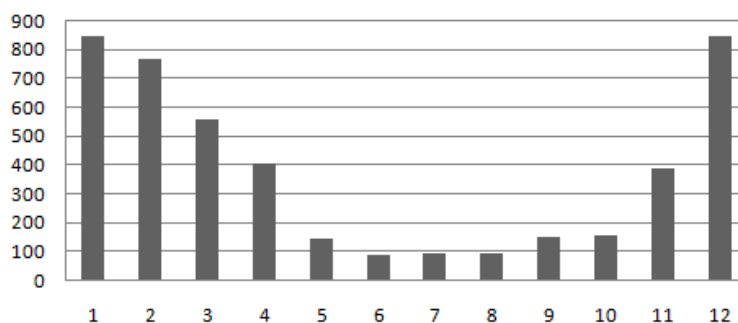
Pro montáž a instalaci KJ je nutná montážní pomůcka a podstavná sada, které jsou dodávány spolu s KJ.

#### **3.5.7 Roční spotřeba paliva**

V grafu 3.5.7 vidíme spotřebu paliva v průběhu roku. Hodnoty plynou z tab. 3.5.4b, kde je uvedena doba provozu KJ [h] a okamžitá spotřeba paliva pro daný výkon KJ [ $m^3/h$ ].

*Celková spotřeba zemního plynu za rok bude 3700 m<sup>3</sup>.*

### Spotřeba zem. plynu v průběhu roku [m<sup>3</sup>]



*Graf 3.5.7 - Spotřeba zemního plynu v průběhu roku*

### 3.6 Ekonomické zhodnocení - výpočet návratnosti

Ve výpočtu ekonomické návratnosti investice lze vzít úvahu, že kromě pořízení KJ je možné do objektu pořídit plynový kondenzační kotel či tepelné čerpadlo vzduch - voda (TČ). V této kapitole budou srovnány pořizovací a provozní náklady těchto možných tepelných zdrojů. Poté bude vypočtena doba, za kterou se vyrovná investice spojená s pořízením KJ investici spojené s pořízením plynového kotle a doba, za kterou se vyrovná investice spojená s pořízením TČ investici spojené s pořízením plynového kotle. Na základě těchto vypočtených hodnot lze říci, zda bude či nebude vhodné pořízení KJ do daného objektu.

V rámci pořízení nového tepelného zdroje bude nutno provést kontrolu izolací otopné soustavy a vyměnit ventil a šroubení na každém topném tělese. Přímé kohouty budou nahrazeny termostatickou hlavicí a bude přidáno regulační šroubení na vratné potrubí. V objektu se nachází 10 topných těles, cena ventilu: 550 Kč / ks, cena šroubení 350 Kč / ks (včetně montáže).

Spotřeba zemního plynu pro pokrytí tepelných potřeb domácnosti za využití kogenerační jednotky je při stejné ceně zemního plynu 55 500 Kč, neboť roční spotřeba zemního plynu je 3700 m<sup>3</sup> (viz kap. 3.5.7).

Náklady spojené s provozem TČ a plynového kotle uvažují na základě hodnot spočtených online kalkulačkou na serveru [www.tzb-info.cz](http://www.tzb-info.cz), přesná adresa je uvedena v použité literatuře[14]. Celková tepelná ztráta budovy je 24,8 kW.

Palivo ? / zdroj tepla / účinnost	Cena paliva ? [Kč]	Spotřeba paliva [rok <sup>-1</sup> ] ?	Roční náklady [Kč]	
			Vytápění	Teplá voda
Zemní plyn <input checked="" type="checkbox"/> Kondenzační kotel <input type="text" value="75"/> % RWE Energie, a. s. <input type="text"/>	1.22313 /kWh 260 /měsíc	4 909 m <sup>3</sup> 51 791 kWh	50 784	12 562
Propan <input checked="" type="checkbox"/> Kondenzační kotel <input type="text" value="102"/> %	35 /kg /měsíc	2 684 kg	75 642	18 304
Lehký topný olej LTO <input checked="" type="checkbox"/> Kotel s olejovým hořákem <input type="text" value="93"/> %	28.7 /kg /měsíc	3 480 kg	81 691	18 187
Elektrina akumulace <input checked="" type="checkbox"/> Teplovodní akumulační nádrže <input type="text" value="95"/> % D26d <input type="text"/> jistič nad 3x32 A do 3x40 A včetně <input type="text"/>	NT 1.8319 /kWh VT 3.11293 /kWh 460 /měsíc	40 396 kWh	60 743	13 258
Elektrina přímotop <input checked="" type="checkbox"/> Podlahové elektrické plochy <input type="text" value="99"/> % D45d <input type="text"/> jistič nad 3x20 A do 3x25 A včetně <input type="text"/>	NT 2.17675 /kWh VT 2.64679 /kWh 450 /měsíc	33 461 kWh	57 718	15 117
Tepelné čerpadlo <input checked="" type="checkbox"/> Vzduch/voda <input type="text"/> Top. faktor: 3,2 D56d <input type="text"/> jistič nad 3x20 A do 3x25 A včetně <input type="text"/>	NT 2.17433 /kWh VT 2.54273 /kWh 450 /měsíc	14 695 kWh	27 280	4 672

**Tab. 3.6a** - Tabulka s porovnáním nákladů pro jednotlivé tepelné zdroje [14]

Dále vycházím z tab. 3.4.a, která udává průměrnou denní spotřebu elektrické energie v roce 2015. Spotřeba elektrické energie v roce 2015 je tedy:

- vysoký tarif (VT) = 937,4 kWh
- nízký tarif (NT) = 1679,12 kWh

Cena elektrické energie pro jednotlivé tarify vychází z ceníku prodeje elektřiny skupiny ČEZ, s.r.o. [15]:

- vysoký tarif (VT) = 3864 Kč / MWh
- nízký tarif (NT) = 1193 Kč / MWh

*Celkové náklady vynaložené za nákup elektrické energie za jeden rok jsou 5626 Kč.*

Pro kogenerační jednotku uvažuji dle tab. 3.5.4b roční výrobu elektrické energie 3051,5 kWh. Celková potřeba elektrické energie za jeden rok je 2616 kWh. Za předpokladu, že bude možné přebytečnou el. energii dodávat do DS za cenu 1475,- / MWh [12], roční zisk z prodeje el. energie bude činit 643 Kč.

Následující tabulka porovnává výsledné náklady vztahující se k danému tepelnému zdroji:

Tabulka pořizovacích a provozních nákladů pro jednotlivé tepelné zdroje			
Typ nákladů	KJ	Plynový kotel	Tep. čerpadlo vzduch -
<b>Pořizovací</b>			
Rekonstrukce otopné soustavy	9 000	9 000	9 000
500 l zásobník (vč. připojení)	50 000	50 000	50 000
Tepelný zdroj	300 000	80 000	200 000
Montáž zdroje	50 000	50 000	50 000
<b>Pořizovací náklady celkem</b>	<b>409 000</b>	<b>189 000</b>	<b>309 000</b>
<b>Provozní za 1 rok</b>			
Roční servis	1 500	1 500	1 500
Náklady za vytápění (nákup zem. plynu)	55 000	63 346	-
Náklady za vytápění (nákup el. energie)	-	-	31 952
Náklady za nákup elektřiny k přímé spotřebě	- 643	5 626	5 626
<b>Provozní celkem za 1 rok</b>	<b>55 857</b>	<b>70 472</b>	<b>39 078</b>

*Tab. 3.6b - Tabulka s porovnáním nákladů pro jednotlivé tepelné zdroje*

Na základě této tabulky lze vypočítat počet let ( $n$ ), za které se vyrovná investice spojená s pořízením KJ investici spojené s pořízením plynového kotle:

$$n = \frac{\text{pořizovací náklady KJ} - \text{pořizovací náklady plyn. kotel}}{\text{provozní náklady plyn. kotel} - \text{provozní náklady KJ}}$$

$$n = \frac{409\,000 - 189\,000}{70\,472 - 55\,857}$$

$$n = 15,05$$

*Investice spojená s pořízením KJ se vyrovná investici spojené s pořízením plynového kotle za 15 let.*

Počet let ( $n$ ), za které se vyrovná investice spojená s pořízením TČ investici spojené s pořízením plynového kotle:

$$n = \frac{\text{pořizovací náklady KJ} - \text{pořizovací náklady plyn. kotel}}{\text{provozní náklady plyn. kotel} - \text{provozní náklady KJ}}$$

$$n = \frac{309\,000 - 189\,000}{70\,472 - 39\,078}$$

$$n = 3,8$$

*Investice spojená s pořízením TČ se vyrovná investici spojené s pořízením plynového kotle za 4 roky.*

## 4 ZÁVĚR

Cílem práce bylo zjistit, zda se z ekonomického hlediska vyplatí navrhovat mikrokogenerační jednotky pro malé objekty. K tomu, abych došla k závěru, jsem využila možnost návrhu mikrokogenerační jednotky do objektu rodinného domu, ve kterém bude v blízké době nutné vyměnit tepelný zdroj.

Po nastudování problematiky společné výroby tepla a elektřiny a po vypočtení tepelných ztrát budovy jsem vyhodnotila, že bude vhodné do objektu navrhnout mikrokogenerační zařízení Vitotwin 300-W, které se vyznačuje menšími tepelnými výkony oproti ostatním KJ a hodí se tedy pro využití v řešeném rodinném domě. Na základě stanovení potřeb tepelné a elektrické energie v průběhu roku jsem navrhla provoz jednotky a vypočítala předpokládanou spotřebu paliva.

Pro ekonomické zhodnocení projektu jsem využila úvahy, že by objekt mohl v budoucnu kromě KJ využít jako zdroj tepla tepelné čerpadlo vzduch - voda (TČ) nebo zůstat u varianty pořízení nového plynového kotle. Porovnála jsem náklady na pořízení a na provoz jednotlivých zařízení a poté vypočetla dobu, za kterou se vyrovná investice spojená s pořízením KJ investici spojené s pořízením plynového kotle a dobu, za kterou se vyrovná investice spojená s pořízením TČ investici spojené s pořízením plynového kotle. Výsledkem výpočtu bylo, že pořízení KJ se vyrovná pořízení plynového kotle za 15 let, což je více než půl životnosti zařízení, která se předpokládá 25 let. Po uběhnutí 15 let začne být provoz KJ výhodnější, neboť pořizovací náklady budou vyrovnány a pocítíme úsporu v provozních nákladech. U TČ se doba návratnosti podstatně zkrátí a to až na 4 roky.

Pokud by objekt využíval jako dosavadní tepelný zdroj kotel na tuhá paliva, bylo by možné získat jednorázovou dotaci ve výši 127 000 Kč v rámci programu Nová zelená úsporám. Tím by se snížila návratnost investice až na 6 let, což je dle mého názoru srovnatelná doba s pořízením TČ.

Obecně lze tedy říci, že pořizování mikrokogeneračních jednotek do malých objektů v budoucnosti po důkladném rozboru potřeb energií smysl má především v objektech, které využívají kotle na tuhá paliva, neboť lze získat jednorázovou dotaci a tím zkrátit dobu návratnosti a zároveň ulehčit životnímu prostředí. Z teoretického pohledu na věc má smysl pořizovat KJ i pro objekty využívající jiné tepelné zdroje, avšak tam se doba návratnosti podstatně prodlužuje a vezmeme-li v úvahu vysokou počáteční investici, je zřejmé, že ta bude pro řadu investorů překážkou v pořízení KJ.

## SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] STUPAVSKÝ, Vladimír: Mikrokogenerace a trigenerace. Biom.cz [online]. [cit. 2016-03-28]. Dostupné z <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/mikrokogenerace-a-trigenerace>>. ISSN: 1801-2655.
- [2] ŠÍPAL J.: Obnovitelné zdroje energie a způsoby získávání elektrické a tepelné energie z obnovitelných zdrojů. Studijní text pro prezenční a kombinované studium. Ústí nad Labem: Univerzita Jana Evangelisty Purkyně, 2013, [online]. [cit. 2016-03-28]. Dostupné z <[http://fzp.ujep.cz/ktv/uc\\_texty/IOZE/Obnovitelna\\_zdroje\\_energie.pdf](http://fzp.ujep.cz/ktv/uc_texty/IOZE/Obnovitelna_zdroje_energie.pdf)>
- [3] ČEZ ENERGO. O kogeneraci - princip a výhody [online]. [cit. 2016-04-01]. Dostupné z: <<http://www.cezenergo.cz/cs/o-kogeneraci/princip-a-vyhody.html>>.
- [4] MACHÁČEK, J.: Analýza možností využití malých a obnovitelných zdrojů pro napájení moderních budov. Studie. Brno: VUT, 2013, 59s
- [5] MULLER-STEINHAGEN, H.M.G: Thermomedia[online]. [cit. 2016-04-01]. Dostupný na <<http://www.thermopedia.com/content/1072/>>.
- [6] MACHÁČEK, J.: Analýza možností využití malých a obnovitelných zdrojů pro napájení moderních budov. Studie. Brno: VUT, 2013, 60s
- [7] POVÝŠIL, R.: Mikrokogenerace - efektivní nástroj stability a bezpečnosti dodávek energie. Publikace Programu EFEKT, Praha, ENERGO-ENVI, s.r.o., 2011, [online].[cit. 2016-04-04].Dostupné z <<http://www.mpo-efekt.cz/upload/7799f3fd595eeee1fa66875530f33e8a/mikrokogenerace.pdf>>.
- [8] SYNEK P., POVÝŠIL E.: Školící program využití obnovitelných zdrojů energie v budovách. [online]. [cit. 2016-04-04]. Dostupné z <<http://docplayer.cz/121878-Patres-skolici-program.html>>.
- [9] MACHÁČEK, J.: Analýza možností využití malých a obnovitelných zdrojů pro napájení moderních budov. Studie. Brno: VUT, 2013, 61s
- [10] TREUOVÁ L.: Určení součinitelů prostupu tepla. [online]. [cit. 2016-04-10]. Dostupné z <[http://www.fce.vutbr.cz/TZB/treuova.l/BT03\\_S/1\\_Soucinitel\\_prostupu%20U\\_bt03.pdf](http://www.fce.vutbr.cz/TZB/treuova.l/BT03_S/1_Soucinitel_prostupu%20U_bt03.pdf)>
- [11] Podklad firmy Viessmann - Odborný seminář Vitotwin 300-W, 2012
- [12] Dle cenového rozhodnutí ERÚ 11/2015.
- [13] <http://vytapeni.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/138-porovnani-nakladu-na-vytapeni-tzb-info>
- [12] <http://www.tzb-info.cz/ceny-paliv-a-energie/13-prehled-cen-zemniho-plynu>
- [15] Ceník elektřiny ČEZ - prodej - domácnosti, účinnost od 1.1.2016



## **SEZNAM PŘÍLOH**

**Příloha 1** – Výpočet tepelných ztrát objektu

**Příloha 2** – Dispozice kotelny M1:25

**Příloha 3** – Distribuce elektrické energie

**Příloha 4** – Distribuce tepelné energie