



Středoškolská technika 2019

**Setkání a prezentace prací středoškolských studentů na
ČVUT**

PALIVOVÝ ČLÁNEK V MIKROKOGENERACI

Karolína Chalašová

Gymnázium Nad Štolou

Nad Štolou 1, 17000 Praha

Anotace

Práce je věnována problematice mikrokogenerace s využitím palivového článku jako zdroje energie. V úvodní části vysvětluje pojmy kogenerace a mikrokogenerace shrnuje výhody a nevýhody tohoto efektivního způsobu využití energie. V další části se zaměřuje zejména na popis mikrokogenerační jednotky se zapojením palivového článku. Experimentální část je věnována energetické bilanci konkrétní domácnosti a následné simulaci navrženého systému v laboratoři VŠCHT. V laboratorních podmínkách byl proměřen aparát se zapojením palivového článku a použitý algoritmus experimentálně ověřený v laboratorních podmínkách (modelový systém) byl využit pro návrh reálného řešení (zvětšení měření; „scale/up“) aplikovaného na primárně diskutovanou domácnost.

Poděkování

Chtěla bych poděkovat docentu inženýru Martinu Paidarovi Ph.D, bez něhož by tato práce nemohla vzniknout. Hlavně za jeho cenné rady a připomínky a za to, že mnou práci vedl. Dále bych chtěla poděkovat mé paní profesorce Haně Kačerové za veškerou pomoc se samotnou prací a přípravou prezentace. V neposlední řadě bych chtěla vyjádřit své díky rodičům za jejich ohromnou podporu a pomoc.

OBSAH

ÚVOD	4
1 TEORETICKÁ ČÁST	5
1.1 Rezidenční sektor	5
1.2 Kogenerace.....	6
1.3 Mikrokogenerace	8
1.3.1 Stirlingův motor	9
1.3.2 Spalovací motory	10
1.3.3 Mikrokogenerace palivových článků	11
1.3.4 Palivový článek v mikrokogeneraci	11
2 PRAKTICKÁ ČÁST.....	14
2.1 Propočet domácnosti	14
2.2 Nahrazení kotle v bytu CHP.....	15
2.3 Úspora	15
2.4 Experiment.....	16
2.5 Ideální palivový článek v CHP	21
ZÁVĚR.....	23
POUŽITÁ LITERATURA.....	24
SEZNAM OBRÁZKŮ	26

Úvod

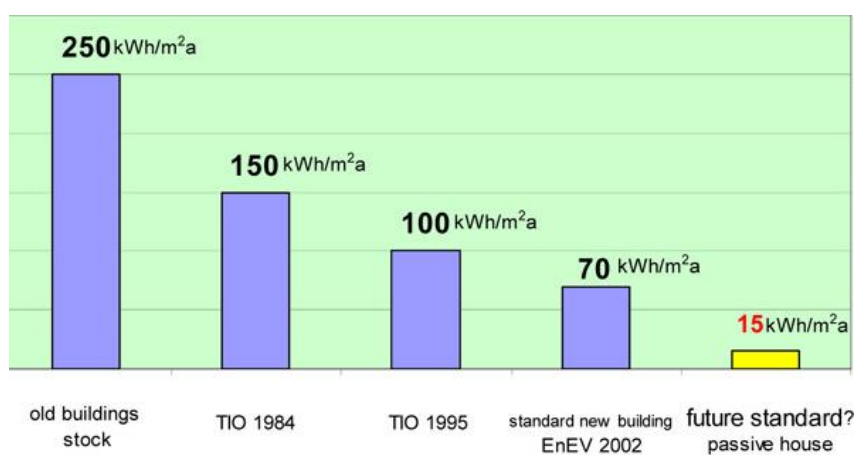
V dnešní době má energie v našem životě důležitou roli, je využívána ve formě tepla a světla, pomáhá uchovávat a upravovat potraviny, pohání dopravní prostředky... Čím je společnost vyspělejší, tím více energie potřebuje. V současnosti je využívána 4krát více než primitivními zemědělci a až 20krát více než v minulosti lovci a sběrači [1]. Je to dáno tím, že dříve lidé využívali vlastních sil, případně jim práci usnadňovala zvířata, a v současnosti se snažíme si práci co nejvíce ulehčit stroji a vynálezy, na jejichž činnost se spotřebuje obrovské množství energie. Tím je dáno, že spotřeba energie nejen v České republice, ale i ve světě neustále exponenciálně narůstá. Ve své práci bych se chtěla zaměřit na možnosti, jak spotřebu energie snížit a zejména využít alternativní způsoby energetických zdrojů, zejména palivový článek, který představuje nový perspektivní zdroj energie. Pro celkové úspory energie je nejdůležitější začít od koncových uživatelů, proto je práce zaměřena na využití energie v průměrné domácnosti a navrhuje vhodný způsob řešení pomocí mikrokogeneračního systému se zapojením palivového článku.

1 Teoretická část

1.1 Rezidenční sektor

Domácnosti můžeme rozdělit do dvou kategorií: do první kategorie by spadaly rodinné domky, dvojdomky nebo řadové domky, zatímco do kategorie druhé by patřily rodinné domky s více než deseti tzv. činžovní domy či paneláky.

Typickým zásobováním energie v první kategorii je topný kotel. Zpravidla je dáno, že dnes nově stavěné domy mají mnohem vyšší kvalitu izolace než domy starší. U nových budov se topné výkony pohybují okolo 5 až 12 kW th. U starších domů, kde je izolace nedostatečná nebo téměř žádná, je třeba vyšších topných výkonů, které se zde pohybují v rozmezí 20 až 30 kW th. Dle německých statistik je uvedeno, že systémy s topnou kapacitou vyšší než 30 kW th jsou velice vzácné, a proto byl sestaven vývoj požadavků nejen pro Německo (viz obrázek č.1). Dle grafu je jednoznačné, že budoucí normy jsou plánovány okolo 15 kW th, ale tato změna je odhadována až za několik desetiletích. [2]



Obrázek č.1: Vývoj požadavků v Německu na vytápění [1]

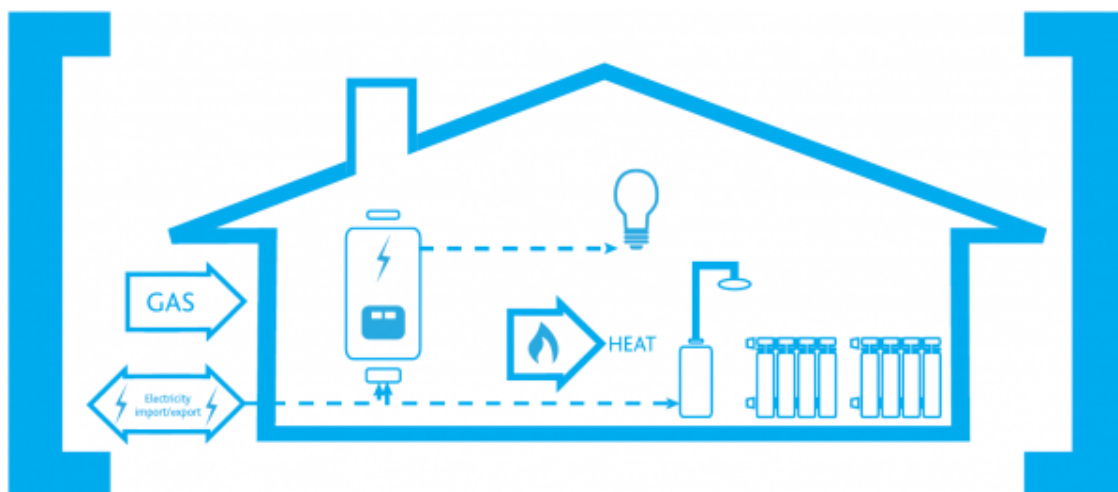
Typickým zdrojem energie v druhé kategorii, tj. v činžovních domech, je ústřední topení. Zde mají centrální plynové systémy kapacitu 20 až 30 kW th nebo i více, což závisí na počtu bytů. Cena elektřiny v dnešní době prudce narůstá a vedou se diskuse, že v dnešní době je cena za elektřinu nejvyšší od roku 2012. Hlavním důvodem je zdražení černého uhlí, ze kterého se dnes vyrábí více než polovina elektrické energie. Dalším velice důležitým faktorem zvyšování cen je zpřísnění požadavků na ochranu životního prostředí, protože uhelné elektrárny produkují obrovské množství spalin. Proto si musejí kupovat tzv. emisní povolenky, aby mohly

do ovzduší vypouštět oxid uhličitý a to se pochopitelně odrazí v ceně za elektřinu. Vzhledem k rostoucím cenám energie dnes nové budovy plní vysoké izolační standardy, a tedy mají i velice nízkou spotřebu tepla. Naopak staré budovy jsou vybaveny energeticky úspornými instalacemi, tudíž požadavek na teplo klesá a je zde možnost instalovat topné systémy s nižšími kapacitami. Dá se předpokládat, že tento vývoj bude stále pokračovat, a tudíž budou v budoucnosti staré budovy nahrazeny novými v průběhu několika desetiletí. [3]

1.2 Kogenerace

Začněme se zabývat konkrétněji o domácnostech v bytech či rodinných domech (viz obrázek č.2). Má-li být domácnost obyvatelná, je potřeba ji neustále vytápět a zásobovat elektrickou energií. Vytápění si každý zpravidla zajišťuje doma sám, buď prostřednictvím kamen na vesnicích, v domech či chalupách, nebo ústředním topením v bytových domácnostech. Elektrickou energii necháváme na energetických společnostech. Změnou určitě může být trend solární energetiky. Umístění fotovoltaických panelů na střechu rodinného domu je určitě ekologičtější a v minulosti se jednalo o jedinou alternativní možnost, jak šetřit energií tímto způsobem.

Je jednoznačné, že dříve lidé přišli s mnoho nápady, jak lépe a šetrněji vyrábět buď elektrickou energii nebo teplo. Výrobu elektřiny usnadnily již zmíněné fotovoltaické panely, malé vodní či větrné elektrárny. Posílení výroby tepla bylo zaznamenáno při užití teplených čerpadel, kondenzačních kotlů či solárních kolektorů. Tepelná čerpadla patří mezi alternativní zdroje energie. Umožňují odnímání tepla z okolního prostředí, například vody, vzduchu nebo země, následné převedení na vyšší hladinu a využití pro vytápění nebo ohřev teplé vody. Kondenzační kotle fungují naopak na principu udržení co nejnižší teploty spalin vycházejících z komína. Tím využijí co nejvyšší teploty pro vytápění domácnosti. Solární kolektory přeměňují sluneční záření na tepelnou energii. Jsou určeny na vytápění, ohřev vody, ohřev bazénové vody. Velký pokrok byl jednoznačně zaznamenán při objevení nového ekologického prvku – kogenerační jednotky. Pod tímto pojmem si představíme efektivní a hlavně ekologický způsob výroby elektrické energie, při kterém rovněž dochází k výrobě tepla. Velice užitečně využije teplo, jež se při procesu výroby elektrické energie uvolňuje. [4] [5] [6] [7]



Obrázek č.2: Energie v domácnosti [2]

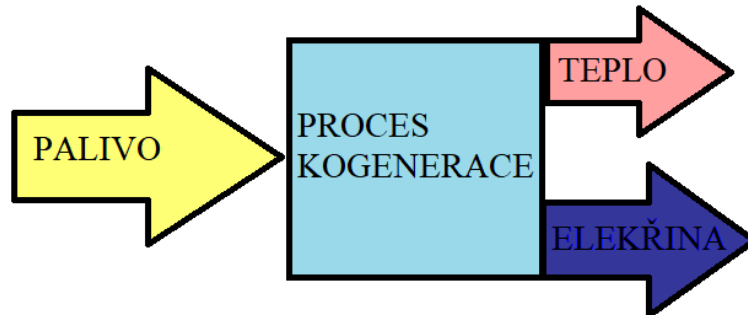
Kogenerační jednotka má spoustu výhod a samozřejmě i nevýhod. Na začátku bych chtěla poznamenat pár důležitých výhod.

Mezi hlavní výhody patří:

- využívá jediného zdroje na výrobu elektrické energie i energie tepelné, efektivní
- zvýšená účinnost – nad 90 %
- vysoké úspory paliva 15 – 40 %
- snižuje náklady na elektrickou energii v domácnosti
- využití vyššího energetického obsahu paliva
- ekologický provoz, nižší emise – především CO₂
- dochází k nižším ztrátám energie při výrobě elektřiny a to je pak využíváno jako teplo
- zlepšení místní i obecné bezpečnosti dodávek – místní výroba může snížit riziko, že spotřebitelé zůstanou bez dodávek energie
- snižují distribuční a přepravní ztráty

Hlavní výhodou kogeneračních jednotek je, že energie se spotřebovávají blízko zdroje výroby. Co je podstatné, je to, že dochází k výrobě obou energií na jednom místě a z jednoho zdroje (viz obrázek č.3). Tím se zamezí velkým ztrátám tepelné energie při přepravě, které jsou velice nežádoucí. Tepelné elektrárny, specifičtěji teplárny, vyrábí také teplo a poté ho rozvádějí. Může dojít k mnoha problémům, kdy elektrárna bude mít potíže a nebude moci teplo rozvádět. S kogenerační jednotkou se těchto problémů strachovat nemusíme a rozhodně se jedná o značnou výhodu. Díky kombinované výrobě elektřiny a tepla na jednom místě lze dosáhnout vysoké účinnosti výroby elektrické energie. Jedná se hlavně a výhodné celkové využití energie. Dá se využít o mnoho více energetického obsahu paliva, a proto se tepelná účinnost pohybuje okolo 40 – 60 % a elektrická účinnost dosahuje až 50 %. Díky efektivnímu využití tzv. odpadního tepla kombinováním výroby elektřiny a tepla lze ušetřit až 70 % energie

obsažené v palivu oproti samostatné výrobě elektřiny nebo tepla. Splňuje požadavky na vytápění, vytápění prostorů, ohřev teplé vody (případně i chlazení) a zároveň zajišťuje dodávku elektrické energie k výměně nebo doplnění dodávky elektrické energie.



Obrázek č.3: Schéma kogenerace

1.3 Mikrokogenerace

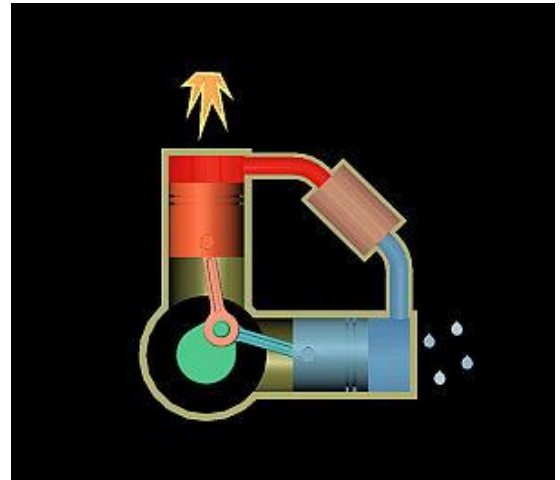
Jedná se o individuální zdroj energie, kde elektrický výkon nepřesahuje 30 kW [8]. Mikrokogenerace=CHP může být aplikována v soukromých obydlích, veřejných a komerčních budovách. Většina dostupných mikrokogeneračních technologií je založena na technologii Stirlingova motoru, spalovacích motorů nebo turbín.

Kde se mikrokogenerace vyplatí:

- rodinné domky, bytové domky, hotely, penziony ubytovny, internáty
- nemocnice, kliniky, ústavy sociální péče
- školy, restaurace, administrativní budovy, obchodní domy
- potravinářské, textilní, strojírenské a další průmyslové podniky
- akvaparky, kryté bazény, lázeňská zařízení [8]

1.3.1 Stirlingův motor

Tento typ motoru patří mezi teplovzdušné. Skládá se ze dvou pístů a jednoho nebo dvou válců. Základním principem Stirlingova motoru je ohřev a roztažnost pracovního plynu (dusík nebo helium), který je uzavřen v motoru (viz obrázek č.4). Plyn se zahříváním rozpíná, tlačí na píst a vyvolává přes klikovou hřídel otáčivý pohyb. Tímto je pomocí generátoru získáván elektrický proud. Zjednodušeně řečeno se jedná o přeměnu tepelné energie na energii kinetickou a z té na energii elektrickou.



Obrázek č.4: Stirlingův motor [3]

Důležitým faktorem je, aby byl plyn dostatečně tepelně vodivý. Dalším faktorem je dobrá tepelná roztažnost, neboli jak se změní objem plynu při změně teploty. Výkon motoru je závislý na množství látky uvnitř motoru. Z tohoto důvodu se staví přetlakové motory, které jsou pod vysokým tlakem. Tlak uvnitř se pohybuje v rozmezí 10 – 22 MPa. [9] [10]

Má velké množství výhod. Je ideální pro kogenerační jednotky, protože chladicí vodu lze použít k vytápění ústředního topení. Jeho externí spalování chrání vnitřní součástky proti kontaminaci spalinami, proto je vysoce odolný proti opotřebení. Dá se říci, že je bezúdržbový a má z tohoto důvodu velice dlouhou životnost.

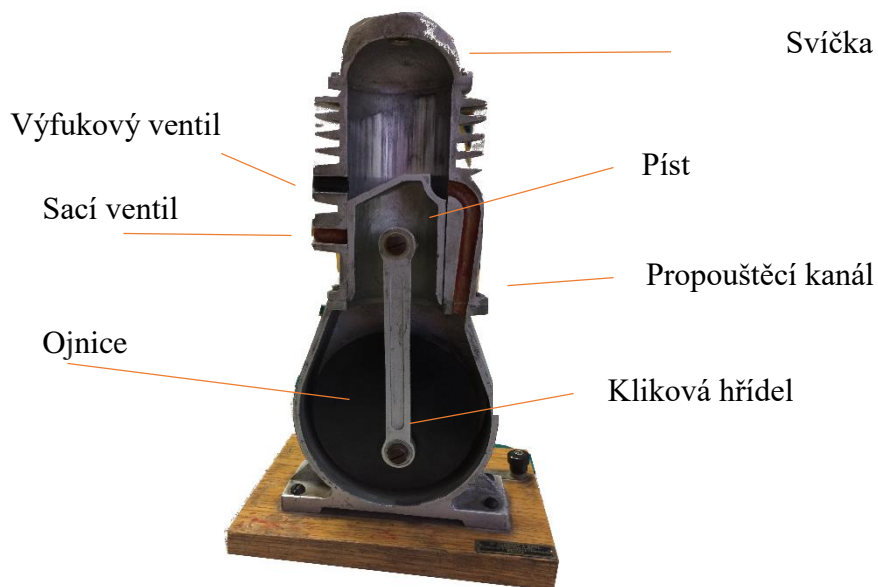
Jako všechny mikrokogenerační jednotky je i mikrokogenerační jednotka se Stirlingovým motorem velice šetrná na životní prostředí. Co se týče hodnot emisí plynů, konkrétně oxidu uhelnatého – CO a oxidu dusíku – NO_x, jsou zcela minimální.

Pravděpodobně největší výhodou, která je zaznamenána, je stabilita a tichost. Od všech spalovacích motorů se liší absencí zapalování, vstřikováním a některých mechanických součástí, například ventilů nebo vačkových hřídel, a proto je tak tichý a bez nežádoucích vibrací. Tento motor je nenáročný na kvalitu paliva. Není potřebné do něj dodávat palivo vysoké úrovně. Je tolerantní k nečistotám, vlhkosti i velmi nízkému obsahu metanu. Může se toho například využít při využití skládkových plynů, protože kvalita paliva na skládkách je špatná. Na skládce se koncentrace metanu postupně snižuje a postupně plyn degraduje na tak nízkou úroveň, že jako palivo pro běžné spalovací motory je nepoužitelné. Jako každá technologie má i tato pár nevýhod. Jedním příkladem je špatná regulovatelnost a malá pohotovost k provozu. Nebo také potřebuje poměrně velký chladič a vysoce výkonný ventilátor.

1.3.2 Spalovací motory

Spalovací motor je tepelný stroj, který spaluje palivo a přeměňuje jeho chemickou energii na teplo a mechanickou energii působením na píst (viz obrázek č. 5). Uplatnění najdeme v silniční, železniční, letecké, lodní dopravě, u bojových vozidel, v zemědělství, stavebnictví aj. [11]. Spalovací motory dělíme podle mnoha typů:

1. dle zapalování paliva:
zážehové: nasává směs, zapaluje se svíčka
vznětové: saje vzduch, palivo se vstříkuje a samo vznítí
2. dle počtu zdvihů na jeden pracovní oběh:
dvoudobé: 2 zdvihy, jedno otočení klikového hřídele
čtyřdobé: 4 zdvihy, dvě otočení klikového hřídele
3. dle použitého paliva: **plynná a kapalná paliva**
4. dle účelu: **stacionární, mobilní, letecké, pro silniční vozidla...**
5. dle počtu uspořádání válců: **jednořadé, dvouřadé...**



Obrázek č.5: Spalovací motor

1.3.3 Mikrokogenerace palivových článků

Mikrokogenerace pomocí palivových článků (také známá jako stacionární palivové články, palivové články s kombinovaným ohřevem a elektrickým výkonem) je technologie, která využívá jen jediné palivo, a to buď jen vodík nebo jen zemní plyn. V porovnání s ostatními mikrokogeneračními jednotkami, tak mikrokogenerace s palivovým článkem má poměrně nízký poměr tepla a elektrické energie. Což znamená, že vyprodukuje velké množství elektrické energie a malé množství tepla, která se dá samozřejmě využívat nejen na vytápění domácnosti. Jedná se o technologii, která se tímto dokonale přizpůsobila čím dál populárnějšímu trendu budov, kde dochází k vyššímu využívání elektrické energie a poptávce po vytápění s nízkými nároky na prostor. Stále se zvětšuje potenciál na využití těchto mikrokogeneračních systémů, protože mají schopnost účinně vyrábět tepelnou a elektrickou energii z jednoho jediného zdroje, což je značnou výhodou. [12]

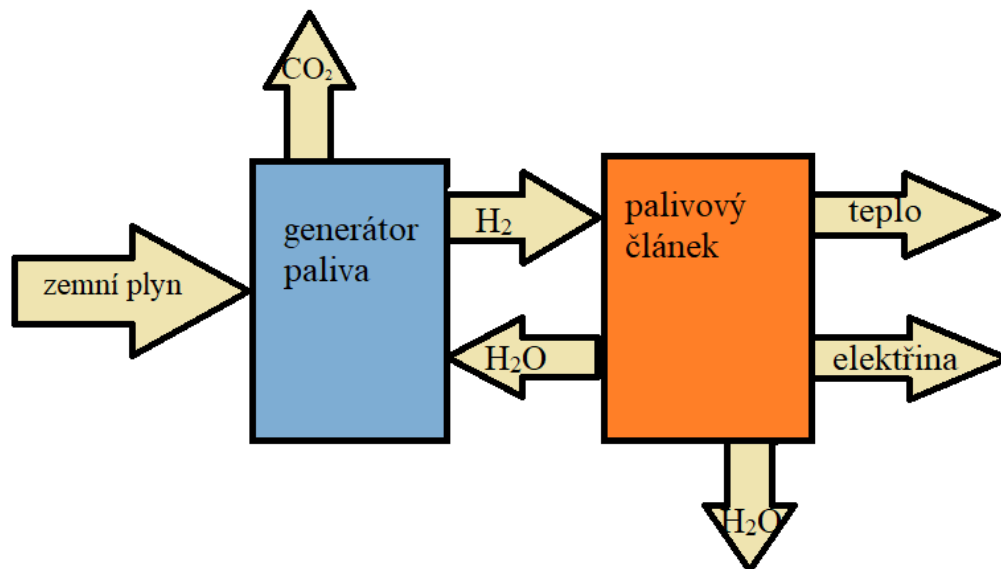
1.3.4 Palivový článek v mikrokogeneraci

Dříve se používaly nejčastěji mikrokogenerace na bázi spalovacích motorů a nyní se vedle spalovacích motorů začínají uplatňovat mikrokogenerace na bázi palivových článků. Oproti spalovacím motorům mají mnoho výhod. Například mají vyšší účinnost a velmi tichý provoz, což je dáno absencí pohyblivých částí, nic se zde nespaluje a netočí. Objevují se zde samozřejmě i určité nevýhody, například vyšší investiční náklady.

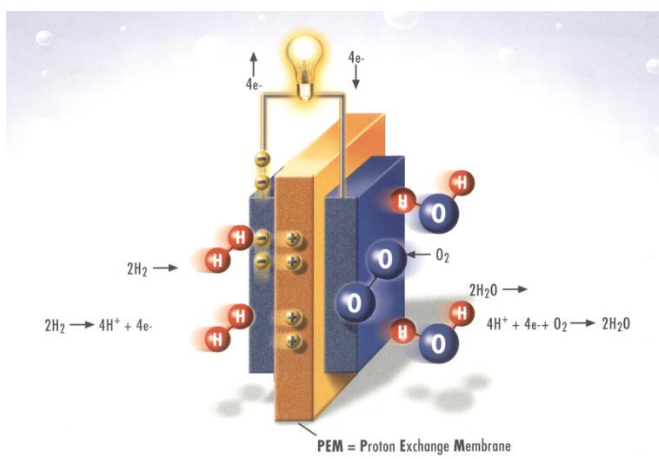
Palivový článek při mikrokogeneraci funguje slučováním vodíku, který lze generovat ze zemního plynu přímo na místě pomocí generátoru, a kyslíku ze vzduchu, který generuje stejnosměrný proud, vodu a teplo. Je nutné, aby na palivovém článku byl systém, který dodává vzduch a čisté palivo, které přeměňuje energii na použitelnější formu (viz obrázek č.7).

V palivových člancích se nejčastěji využívá jako palivo vodík, který je generován z vody a složitější chemické sloučeniny, např. methanolu (CH_3OH) nebo methanu (CH_4) = zemní plyn. Zemní plyn je bezbarvý a bez zápachu. Kdyby došlo k úniku zemního plynu, nedalo by se to rozpoznat, proto se do něj přidávají sírné sloučeniny, které mu dodávají charakteristický zápach pro jednodušší identifikaci, odkud případně plyn uchází. Sírné sloučeniny ale dělají velký problém uvnitř palivových článků, proto je třeba je odstraňovat – odsiřovat – a to buď pomocí oxidu zinečnatého (ZnO) nebo adsorbci aktivního uhlí (zde se částice nahromadí a je poté třeba náplně těchto jednotek vyměňovat). Vedlejším produktem je zde teplo, voda

a v závislosti na palivu zde může vznikat i oxid uhelnatý nebo oxid uhličitý. Samotné základní chemické reakce probíhají na elektrodách v kontaktu s elektrolytem. Část, kam přichází vodík jako kladně nabitá částice – kationt uvolněný z rozkladu paliva, je záporná, zatímco kyslíková strana, kam přicházejí záporně nabitě částice – volné elektrony, je kladná. Při spojení obou elektrod (katody i anody) vzniká elektrický obvod, kterým protékají volné elektrony a dají vzniknout elektrického proudu. Volné elektrony poté na elektrodě reagují s oksyličovadlem (obvykle se používá čistý kyslík) a kationty z paliva a dochází k redukci za vzniku vody, která se poté vrací zpět do reaktoru a generátoru paliva nebo odchází v plynném skupenství jako pára. Každá cello=článek generuje asi 1 V, takže je potřebné seřadit více článků za sebe, aby se vytvořilo vyšší napětí. [13] [14]



Obrázek č.6: Mikrokogenerační jednotka s palivovým článkem



Obrázek č.7: Princip mikrokogenerace v palivovém článku

1.3.4.1 Typy palivových článků

Palivové články lze podle nezákladnějších typů rozdělit na vysokoteplotní a nízkoteplotní. Nejvýznamnějším vysokoteplotním palivovým článkem je SOFC (Solid Oxide Fuel Cell – tzv. palivový článek s pevnými oxidy). Ten pracuje při teplotě 700 – 1000 °C. Výhodou těchto článků je, že nepotřebují na provoz katalyzátor z platinových kovů. Dobře získávají teplo díky vysokým pracovním teplotám. Mezi další výhody patří nízké požadavky na složení paliva nebo vysoká účinnost. Nevýhodou je bohužel delší nájezdový čas a vyšší degradace (1 – 2,5 % z výkonu/rok).

Nízkoteplotní článek je nejvýznamnější PEM-FC (Proton Exchange Membrane Fuel Cell). Ten obsahuje polymerní membránu, která je vodivá pro protony (H^+). Tento článek funguje při teplotách do 100 °C. Výhodou je oproti vysokoteplotním palivovým článkům velmi krátký nájezdový čas a relativně malá degradace palivového článku. Naopak nevýhodou je nutnost využití platinových kovů jako katalyzátoru, vysoké nároky na důkladnější úpravu zemního plynu. Hlavně typ LT-PEM, tzv. nízkoteplotní PEM, je velice citlivý na obsah oxidu uhelnatého CO, proto se plyn musí důkladněji upravit. Tyto úpravy probíhají v generátor/reformátoru $CH_4 + 2H_2O \rightarrow 4H_2 + CO_2$.

Palivové vysokoteplotní články SOFC jsou oproti PEM článkům vývojově mladší, proto nejsou s jejich použitím dostatečně velké zkušenosti. Z toho vyplývá, že většina dnes prodaných a používaných jednotek je s články PEM. Když je ale porovnáme z hlediska úpravy zemního plynu, jsou jednotky SOFC mnohem jednodušší, protože nevyžadují tak velké úpravy zemního plynu, neobsahují platinové kovy a dosahují vyšší účinnosti. [14]

2 Praktická část

V první části mé práce jsem pracovala s dostupnými zdroji a zpracovala tím teoretickou část, která se týkala současné problematiky akumulace energie a také toho, že výroba elektrické energie je spjata zpravidla s nežádoucími odpady ve formě tepla. Navrhla jsem metodu, která by těmto problémům mohla zamezit.

Dle úvodní teorie o mikrokogeneraci bych si nyní chtěla vypočítat svůj vlastní modelový návrh mikrokogenerační jednotky, kterou bych teoreticky mohla umístit do domácnosti. Domácnost si zvolím svůj byt, ve kterém žijí dvě osoby a rozloha činí zhruba 74 m².

2.1 Propočet domácnosti

Zvolený model bude aplikován na byt o rozloze 74 m², ve kterém žijí dvě osoby. Celkové finanční náklady na elektřinu ve zvolené bytové jednotce za rok činí zhruba 11 880 Kč a náklady na plyn činí 14 900 Kč. V případě pořízení mikrokogenerační jednotky do domácnosti budeme uvažovat spotřebu za topnou sezonu, která trvá zhruba sedm měsíců, od října do dubna, protože za tuto dobu je spotřeba elektrické energie a plynu nejvyšší. Roční spotřeba zemního plynu při vytápění se pohybuje okolo 9 000 kWh a roční spotřeba zemního plynu, který je třeba na ohřev vody, je zhruba 2500 kWh. Celková roční spotřeba se pohybuje okolo 11500 kWh. Výhřevnost zemního plynu na 1 m³ je 10 kWh. [15] Pro vhodnou volbu mikrokogenerační jednotky, a tudíž i maximální elektrický a tepelný výkon, který bude potřeba, aby jednotka splňovala naše požadavky na elektřinu, si musíme spočítat z ročních spotřeb zemního plynu výkon, tzv. $P = x \text{ kW} / 24 / 365$, kdy x je naše spočítaná hodnota.

Celkový výkon (součet výkonu na vytápění a ohřev vody) zvolené domácnosti činí 1,343 kW.

$$P' = 9000 : 365 : 24 \text{ kW}$$

$$P' = 1,053 \text{ kW}$$

$$P'' = 2500 : 365 : 24 \text{ kW}$$

$$P'' = 0,29 \text{ kW}$$

$$P = P' + P'' = 1,053 + 0,29 \text{ kW}$$

$$P = 1,343 \text{ kW}$$

2.2 Nahrazení kotle v bytu CHP

Mikrokogenerační jednotkou, byla zvolena jednotka s palivovým článkem LT-PEM. Její maximální elektrický výkon by byl 1,5 kW a maximální výkon tepelný by se pohyboval okolo 2,1 kW [16]. Celková účinnost jednotky se pohybuje okolo 85 % a maximální elektrická účinnost je zhruba 35 %. Takto zvolená jednotka splňuje hodnoty z předchozích výpočtů spotřeby elektřiny a tepla ve zvolené domácnosti. Jednotka vyrobí jak energii elektrickou, tak i energii tepelnou. Jednou z výhod je možnost si podle potřeby elektrickou energii přeměnit na tepelnou a tu zase na elektrickou, což je ovšem mnohem energeticky náročnější. Může se stát, že nebude potřeba tolik tepelné energie, kolik je jednotka schopna vyrobit, ale bude třeba mnohem více elektřiny. Vedle výroby tepelné energie, zhruba 11500 kWh (což je požadavek na danou domácnost), je možnost vyrobit z tepelné energie energii elektrickou. Pokud nebude stačit, to co jednotka vyrobí, je možné si vedle toho vyrobit ještě jednou 2500 kWh tepelných (což je spotřeba na ohřev vody v našem bytě), a nebo navíc 9000 kWh (v tomto případě se jedná o spotřebu na vytápění).

$$2500 \text{ kWh (tepelných)} \rightarrow \frac{2500 \text{ kWh}}{2,1 \text{ kW}} * 1,5 \text{ kW} = 1192 \text{ kWh (elektrických)}$$

$$9000 \text{ kWh (tepelných)} \rightarrow \frac{9000 \text{ kWh}}{2,1 \text{ kW}} * 1,5 \text{ kW} = 6428,6 \text{ kWh (elektrických)}$$

2.3 Úspora

Do určitých bytů přichází elektrický proud, který je rozváděn v celém bytě, a zemní plyn, který zajišťuje vytápění a ohřev vody. V případě zabudování mikrokogenerační jednotky dojde k výrazné úspoře, co se elektrické energie týče.

PŘED: elektrická energie = x kWh

plyn = y kWh

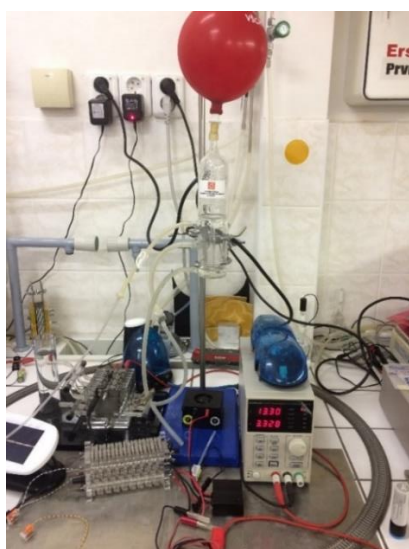
PO: elektrická energie = x' kWh

plyn = y' kWh

x kWh > x' kWh (snížení spotřeby) y kWh = y' kWh (spotřeba zůstává přibližně stejná)

2.4 Experiment

Pro experiment, který měl zjistit, jaký je maximální výkon palivového článku, byl využit aparát v laboratoři na VŠCHT (viz obrázek č.8). Aparát se skládal z palivového článku Horizon H-Series PEM Fuel Cell Systems H-20 (viz obrázek č.9), ten byl napojen na měřič elektrického proudu a elektrického napětí. Dále byl součástí aparátu elektrolyzátor, který z válce naplněného vodou generoval vodík a ten poté sloužil jako palivo do palivového článku. Vodík se dostával trubičkou do baňky s balonkem. V neposlední řadě obsahoval aparát malý vláček s dráhou, který byl napojen na palivový článek a jeho pohyb sloužil jako důkaz, že článek opravdu funguje a vyrábí elektrickou energii. Palivový článek Horizon se skládal z 13 cell=článků. Primárním úkolem bylo měřit napětí a proud, údaje zapisovat do tabulky a následně výsledek zobrazit v grafech. Primárně bylo ve voltampérové charakteristice očekáváno (viz obrázek č.10), že dojde k výraznému poklesu napětí, tzv. polarizační aktivaci, poté k ohmickým ztrátám, což znamená nevelký pokles napětí a na konci k velkému propadu, tzv. koncentrační polarizaci. V závislosti výkonu a proudu (viz obrázek č.11) byl naopak očekáván plynulý nárůst výkonu až do maxima, kdy začínaly hodnoty výrazně klesat. Elektrický proud byl měřen od 0,02 A a navyšován jen o setinu, od 0,1 byl pak zapisován jen jeden údaj mezi následující desetinou, tj. 0,15 A mezi 0,1 A a 0,2 A, a od 0,4 byly navyšovány hodnoty po desetínách a došla až do proudu 2,4 A, protože bylo nežádoucí dostat vyšší údaj pro napětí než je 5 V (zde 2,4 A odpovídá 5,02 V). Všechny údaje byly vyneseny do tabulky. Pomocí proudu a napětí byl spočítán výkon podle vzorce $P=U \cdot I$ (viz tabulka č.1).



Obrázek č.8: aparát

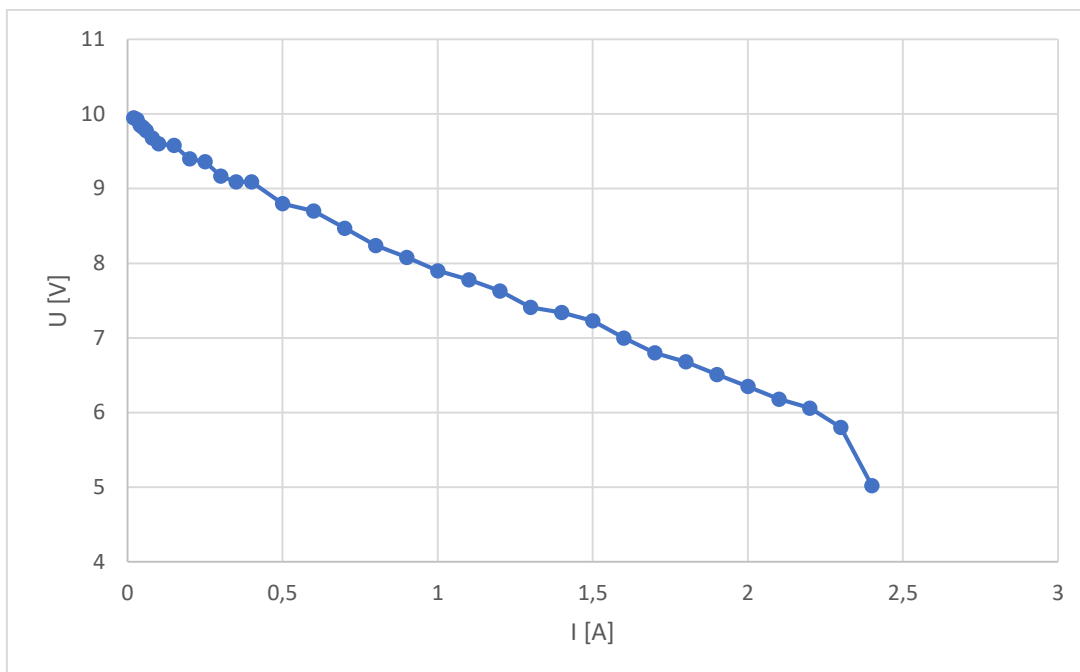


Obrázek č.9: Horizon 20

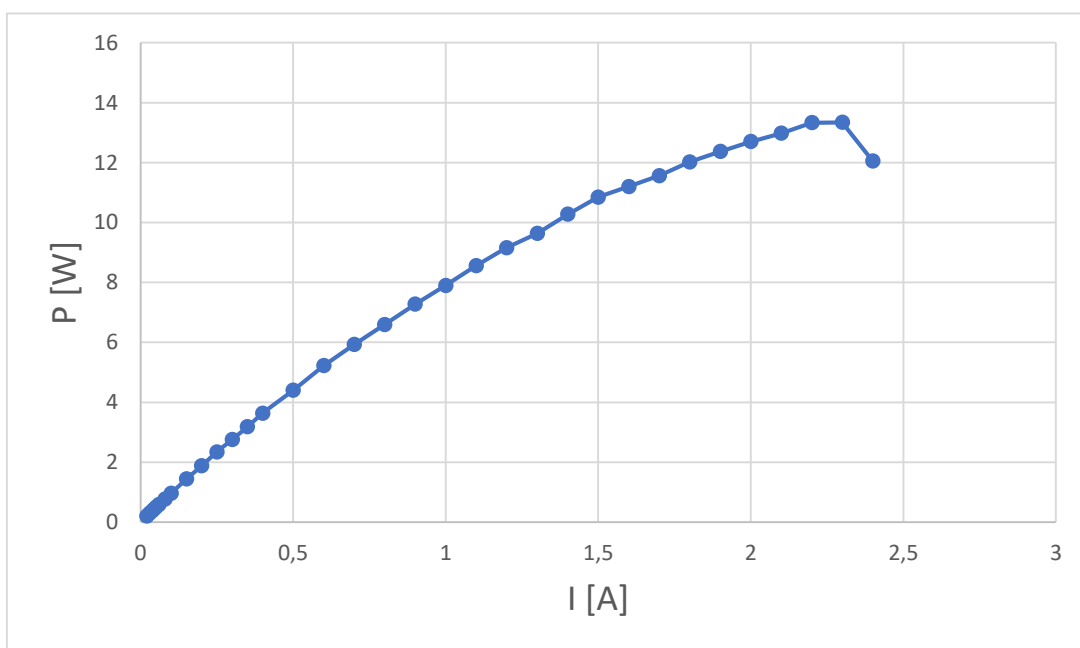
**Palivový článek HORIZON H-SERIES PEM Fuel
Cell Systems H-20**

I [A]	U [V]	P [W]
0,02	9,95	0,199
0,03	9,93	0,2979
0,04	9,85	0,394
0,05	9,82	0,491
0,06	9,78	0,5868
0,08	9,68	0,7744
0,1	9,6	0,96
0,15	9,58	1,437
0,2	9,4	1,88
0,25	9,36	2,34
0,3	9,17	2,751
0,35	9,09	3,1815
0,4	9,09	3,636
0,5	8,8	4,4
0,6	8,7	5,22
0,7	8,47	5,929
0,8	8,24	6,592
0,9	8,08	7,272
1	7,9	7,9
1,1	7,78	8,558
1,2	7,63	9,156
1,3	7,41	9,633
1,4	7,34	10,276
1,5	7,23	10,845
1,6	7	11,2
1,7	6,8	11,56
1,8	6,68	12,024
1,9	6,51	12,369
2	6,35	12,7
2,1	6,18	12,978
2,2	6,06	13,332
2,3	5,8	13,34
2,4	5,02	12,048

Tabulka č.1: Seznam hodnot pro palivový článek HORIZON H-SERIES PEM Fuel Cell Systems H-20, při pokojové teplotě, palivo – vodík, oxidanty – vzduch



Obrázek č.10: Voltampérová charakteristika pro palivový článek HORIZON H-SERIES PEM Fuel Cell Systems H-20



Obrázek č.11: Závislost výkonu na elektrickém proudu pro palivový článek HORIZON H-SERIES PEM Fuel Cell Systems H-20

Pro kontrolu byl stejný postup proveden i u palivového článku Astris s 1 cellou (viz obrázek č.12), aby bylo zjištěno, jestli graf závislosti bude vycházet stejně, a jestli bude polarizační aktivace výraznější a dojde k výraznějšímu poklesu po dosažení maximálního výkonu. Do tabulky byly zapisovány hodnoty pro elektrický proud a elektrické napětí stejným způsobem jako u předchozího měření s palivovým článkem Horizon. Podařilo se naměřit takové hodnoty, aby polarizační aktivace byla výraznější a jasnější (viz obrázek č.13).

Součástí experimentu bylo i sestavení vlastního zjednodušeného modelu palivového článku (viz obrázek č.14). Skládá se jen ze dvou plátek, které slouží jako dvě elektrody – katoda a anoda, jednoho plátku, který plní funkci membrány (jedná se o tzv. polymerní membránu, která je nepropustná pro plyny, ale je propustná pro protony) mezi dvěma elektrodami. Vše bylo propojeno dohromady a připevněno dvěma plastovými destičkami, které k sobě byly přišroubovány. Do první destičky vedla trubička, která zajišťovala přívod vodíku, a druhá trubička vypouštěla z článku přebytečný plyn. Z boku byly vedeny dva drátky, které se připojily na zařízení (spotřebič) a pokud vše správně těsnilo, po chvíli by měl být detekován jemný zvuk a vibrace ze spotřebiče, což bylo známkou toho, že sestavený palivový článek správně funguje a vyrábí elektrickou energii.

Jak již bylo zmíněno, palivový článek Astris sloužil jen pro kontrolu, podrobné měření bylo prováděno se zapojením palivového článku Horizon. Jeho napětí bez zátěže se rovná zhruba 10 V, tzn. klidové napětí. Napětí teoretické bylo spočítáno jako počet cell (N) vynásobené teoretickým napětím jedné celly (1,23 V):

$$U(\text{teoretické}) = N * U(\text{jedné celly})$$

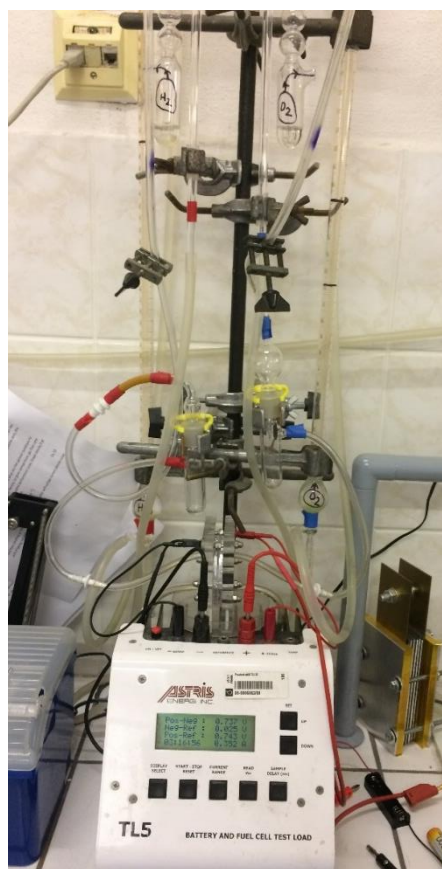
$$U(\text{teoretické}) = 13 * 1,23 \text{ V}$$

$$U(\text{teoretické}) = 16 \text{ V}$$

Pro výpočet účinnosti Horizonu 20 vycházíme ze vzorce:

$$\eta = \frac{U(\text{pracovní})}{U(\text{teoretické})} \quad \eta = \frac{8 \text{ V}}{16 \text{ V}} = 50 \%$$

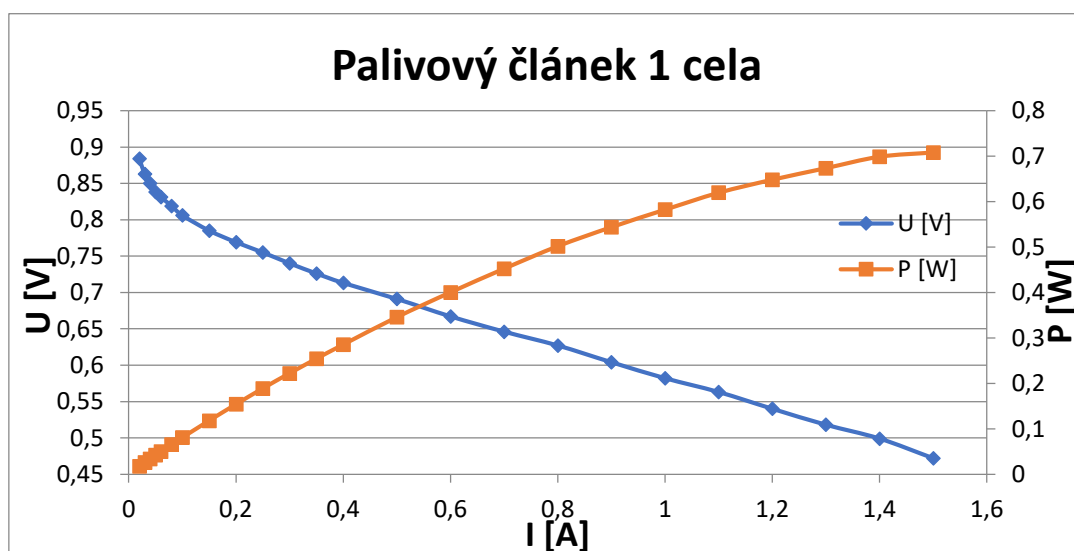
Je nutné samozřejmě počítat se ztrátami ohledně nepřesnosti zařízení atd.



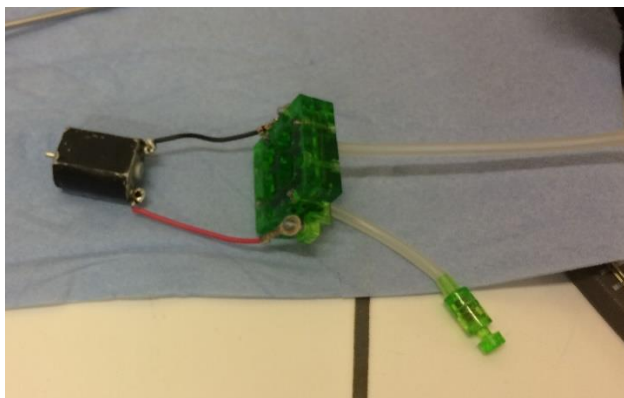
Obrázek č.12: Palivový článek Astris

Palivový článek 1 cela		
I [A]	U [V]	P [W]
0,02	0,884	0,01768
0,03	0,863	0,02589
0,04	0,85	0,034
0,05	0,838	0,0419
0,06	0,831	0,04986
0,08	0,819	0,06552
0,1	0,806	0,0806
0,15	0,785	0,11775
0,2	0,769	0,1538
0,25	0,755	0,18875
0,3	0,74	0,222
0,35	0,726	0,2541
0,4	0,713	0,2852
0,5	0,691	0,3455
0,6	0,667	0,4002
0,7	0,646	0,4522
0,8	0,627	0,5016
0,9	0,604	0,5436
1	0,582	0,582
1,1	0,563	0,6193
1,2	0,54	0,648
1,3	0,518	0,6734
1,4	0,499	0,6986
1,5	0,472	0,708

Tabulka č.2: Hodnoty pro palivový článek Astris, při pokojové teplotě, palivo – vodík, oxidanty – vzduch



Obrázek č.13: Závislost výkonu, proudu a napětí v palivovém článku Astris



Obrázek č.14: Mnou sestavený palivový článek

2.5 Ideální palivový článek v CHP

Ze základních výpočtů bylo zjištěno, že maximální hodnota výkonu v palivovém článku Horizon se 13 cellami se pohybuje okolo 16 W. Také je dáno dle předchozích výpočtů, že pracovní elektrické napětí je zhruba 8 V. Proto lze ze vzorce pro výkon $P = U * I$ odvodit vztah pro výpočet proudu: $I = \frac{P}{U}$. Po dosazení vychází elektrický proud 1 A.

V mikrokogenerační jednotce nebude samozřejmě použit palivový článek Horizon s 13 cellami, jelikož jeho maximální elektrický výkon je 16 W, ale je potřeba 1,5 kW=1500 W, tak aby byly pokryty veškeré požadavky na elektrickou energii v dané domácnosti. Pomocí trojčlenky byl stanoven vhodný palivovým článkem aparát se 100 celami s maximálním napětím 61,5 V a maximálním elektrickým proudem 24,4 A.

$$13 \text{ cell} \dots \dots \dots 8 \text{ V} \quad 100 \text{ cell} \dots \dots \dots x \text{ V} \quad x = \frac{100 \cdot 8}{13} \text{ V} \quad x = 61,5 \text{ V}$$

$$P = U * I \rightarrow I = \frac{P}{U} \quad I = \frac{1500 \text{ W}}{61,5 \text{ V}} \rightarrow I = 24,4 \text{ A}$$

Výpočet spotřeby vodíku jako paliva do jedné celly palivového článku vychází z Faradayho zákona: $n(H_2) = \frac{I * t}{Z * F}$.

Kdy Z je počet elektronů ($H_2 = 2H^+ + 2e^-$), v našem případě 2 a $F = 96500 \text{ C/mol}$.

Předpokladem je, že jedním ampérem proteče 7 ml H_2 a 3,5 ml O_2 za minutu.

Palivovým článkem se 100 cellami při napětí 61,5 V a proudu 24,4 A proteče přibližně 17 080 ml vodíku a 21 525 ml kyslíku za minutu.

$$1 A = 7 \text{ ml } \frac{H_2}{\text{min}} \rightarrow 24,4 A = 170,8 \text{ ml } \frac{H_2}{\text{min}} * 100 \text{ cell} = 17\,080 \text{ ml } \frac{H_2}{\text{min}}$$

$$1 A = 3,5 \text{ ml } \frac{O_2}{\text{min}} \rightarrow 61,5 A = 215,25 \text{ ml } \frac{O_2}{\text{min}} * 100 \text{ cell} = 21\,525 \text{ ml } \frac{O_2}{\text{min}}$$

Z výpočtu vyplývá, že spotřeba vodíku je poměrně vysoká. Relativně velké množství vodíku může být získáváno z vody pomocí elektrolyzáru – stejně jako v daném experimentu, kdy je elektrolyzáru napojen na válec s nepřetržitým doplňováním vody. Alternativní způsob produkce vodíku je ze zemního plynu, kdy se reformátor v mikrokogenerační jednotce napojí na hlavní přívod zemního plynu. Produkce kyslíku je energeticky méně náročná, palivový článek kyslík odebírá ze vzduchu, a tím je množství kyslíku pro nás nevyčerpatelné (tedy do té doby, dokud budou na planetě rostliny, které nám budou jako svůj odpadní produkt při fotosyntéze produkovat právě kyslík).

Pokud bude zvolen pro mikrokogenerační jednotku palivový článek se 100 cellami, jak bylo navrženo, rozhodně není možné, aby měl stejné rozměry jako palivový článek Horizon 20, a tedy 75*47*70 mm, protože do něj je potřeba umístit mnohem více cell. Bude tedy třeba zvětšit plochy palivového článku. Velikost plochy, neboli parametry svazku do CHP, vychází ze vzorce $x * plocha = x * I$. Zjednodušeně řečeno se velikost plochy spočítá jako elektrický proud článku se 100 cellami děleno elektrický proud článku se 13 cellami.

$$\frac{24,4 A}{1 A} = 24,4 \text{ krát}$$

To znamená, že plocha palivového článku umístěném navržené mikrokogenerační jednotce vhodné do bytu se musí ve dvou rozměrech cca 25krát zvětšit (tudíž dvě strany zvětším 5krát). Rozměry mi tedy vyjdou: 75 mm*235 mm*350 mm.

$$47 \text{ mm} * 5 = 235 \text{ mm} = 0,235 \text{ m}$$

$$70 \text{ mm} * 5 = 350 \text{ mm} = 0,35 \text{ m}$$

Ve výsledku tedy lze konstatovat, že palivový článek se 100 cellami bude mít rozměry cca jako větší krabice od bot.

Závěr

Předkládaná práce se zabývá problematikou tepelných ztrát, které jsou při využití energie v domácnosti velice nežádoucí. Existuje mnoho technologií, jak tyto ztráty minimalizovat, například spotřebiče s nejvyšší energetickou hodnotou A, užití obnovitelných zdrojů, u kterých dochází k menšímu množství tepelných ztrát (umístění fotovoltaických článků na střechu domku), anebo užití akumulátorů, pomocí nichž se energie uchovává pro pozdější využití. V práci je navržen způsob, jak efektivně vyrábět elektrickou energii zároveň s energií tepelnou, a to pomocí mikrokogenerační jednotky=CHP, která je vhodná pro umístění do domácnosti. Jednotka se skládá z generátoru/reformátoru paliva (zemního plynu v našem případě) a palivového článku. Výhodami jednotky je již zmíněná kombinovaná výroba elektrické a tepelné energie z jednoho zdroje. Účinnost dosahuje poměrně vysokých čísel, okolo 85 % celkově, 40 – 60 % tepelné a okolo 50 % elektrické účinnosti. Dochází k výrazné finanční úspoře elektřiny, efektivnější výrobě, úspoře paliva, nižší produkci CO₂, snížení distribučních a přepravních ztrát...

V práci je navržen systém s palivovým článkem tak, aby splňoval požadavky na spotřebu energie v domácnosti. V laboratoři byly proměřeny parametry palivových článků a zjištěny maximální dosažené hodnoty. Při měření byly postupně zapojeny dva články – palivový článek Horizon H-Series PEM Fuel Cell Systems H-20 se 13 cellami a palivový článek Astris s 1 cellou. Hlavní měření pak probíhalo na palivovém článku Horizon, jehož maximální teoretický výkon byl 16 W. Z energetické bilance domácnosti byl zjištěn potřebný výkon, tím jsme na základě výpočtů proměřovaný článek se 13 cellami navýšily na 100 využívaných cell, jehož maximální proud by byl 24,4 A a maximální napětí 61,5 V. Pro lepší představu, je uvedeno, že daný článek by měl rozměry přibližně jako krabice od bot. Závěrem je možné konstatovat, že byla navržena metoda, která posunula o krok řešení problému technologií kombinované výroby elektřiny a tepla a tím zároveň i problematiku s tepelných odpadů. Pokud by každá domácnost pokrývala svou energetickou spotřebu pomocí mikrokogenerační jednotky, nedocházelo by k tzv. blackoutům, protože domácnosti by nebyly závislé na dovozu elektřiny. Zamezilo by se kritickým smogovým situacím. Ve městech by se o trochu snížil obsah oxidu uhličitého, nejen díky ekologickému provozu jednotky, ale také eliminací elektráren, které by již nemusely vyrábět tolik elektřiny, což je spojeno s finanční úsporou, a omezením emisí oxidu uhličitého.

Použitá literatura

- [1] *Vítejte na zemi: Spotřeba energie a vývoj společnosti* [online]. Praha, 2013 [cit. 2018-10-29]. Dostupné z: http://www.vitejtenazemi.cz/cenia/index.php?p=spotreba_energie_a_vyvoj_spolecnosti&site=energie
- [2] *Global CCS Institute: IV.1 Residential sector* [online]. 2004 [cit. 2018-10-29]. Dostupné z: <https://hub.globalccsinstitute.com/publications/reduction-residential-carbon-dioxide-emissions-through-use-small-cogeneration-fuel-ce-9>
- [3] *Byznys - Energie: Rostoucí ceny elektřiny nemusí ustát menší dodavatelé. Jejich klienty jistí velcí hráči* [online]. 2018 [cit. 2018-11-28]. Dostupné z: <https://www.byznys-energie.cz/clanek/rostouci-ceny-elektriny-nemusi-ustat-mensi-dodavatele-jejich-klienty-jisti-velci-hraci>
- [4] *Tzbinfo: Tepelná čerpadla* [online]. 2010 [cit. 2018-11-19]. Dostupné z: <https://vytapeni.tzb-info.cz/tepelna-cerpadla>
- [5] *Tzbinfo: Solární kolektory* [online]. 2010 [cit. 2018-11-19]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/solarni-kolektory>
- [6] *Viessman: Jak funguje kondenzační kotel* [online]. 2013 [cit. 2018-11-19]. Dostupné z: <https://www.viessmann.cz/cs/rady-a-tipy/jak-funguje-kondenzacni-kotel.html>
- [7] *Nazeleno.cz: Kogenerace pro rodinné domy: Vyrábějte teplo a elektřinu najednou* [online]. 2010 [cit. 2018-11-19]. Dostupné z: <https://www.nazeleno.cz/energie/energetika/kogenerace-pro-rodinne-domy-vyrabejte-teplo-a-elektrinu-najednou.aspx>
- [8] *Stirling energy: Mikrokogenerační jednotky se Stirlingovým motorem* [online]. 2012 [cit. 2018-10-29]. Dostupné z: <http://www.stirlingenergy.cz/>
- [9] *Zelené zprávy.cz: Stirlingův motor – historie, princip a jeho využití při kogeneraci* [online]. 2012 [cit. 2018-10-29]. Dostupné z: <http://www.zelenezpravy.cz/stirlinguv-motor-%E2%80%93-historie-princip-a-jeho-vyuziti-pri-kogeneraci/>
- [10] *Stirling motor: Princip Stirlingova motoru* [online]. 2010 [cit. 2018-11-19]. Dostupné z: <http://stirlingmotor.cz/princip.html>
- [11] *Stirling energy: Kogenerační systém se Stirlingovým motorem vyrábí energii i z velmi nekvalitního skládkového plynu* [online]. 2014 [cit. 2018-11-19]. Dostupné z: <http://www.stirlingenergy.cz/aktuality/15-kogeneracni-system-se-stirlingovym-motorem-vyrabi-energii-i-z-velmi-nekvalitniho-skladkoveho-plynu.html>
- [12] *Strojírenství: 23. Spalovací motory* [online]. 2018 [cit. 2018-10-29]. Dostupné z: <http://strojirenstvi.studentske.cz/2010/11/23-spalovaci-motory.html>
- [13] *Zelené zprávy.cz: Mikrokogenerační jednotka do rodinných domů – WhisperGen* [online]. 2012 [cit. 2018-11-19]. Dostupné z: <http://www.zelenezpravy.cz/mikrokogeneracni-jednotka-do-rodinnych-domu-%E2%80%93-whispergen/>

- [14] *PACE: micro-Cogeneration* [online]. Brussels, Belgium, 2018
[cit. 2018-10-29]. Dostupné z: <http://www.pace-energy.eu/micro-cogeneration/>
- [15] FÍK, Ing. Josef. *Tzbinfo: Spalovací vlastnosti ZP (I)* [online]. 2004 [cit. 2018-11-26].
Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/vytapime-plynem/1963-spalovaci-vlastnosti-zp-i>
- [16] *Enefield: Technology* [online]. Brussels [cit. 2018-12-01]. Dostupné z:
<http://enefield.eu/category/field-trials/technology/>

Seznam obrázků

- [1] *Global CCS Institute: IV.1 Residential sector* [online]. 2004 [cit. 2018-10-29]. Dostupné z: <https://hub.globalccsinstitute.com/publications/reduction-residential-carbon-dioxide-emissions-through-use-small-cogeneration-fuel-ce-9>
- [2] *PACE: micro-Cogeneration* [online]. Brussels, Belgium, 2018 [cit. 2018-10-29]. Dostupné z: <http://www.pace-energy.eu/micro-cogeneration/>
- [3] *Zelené zprávy.cz: Stirlingův motor – historie, princip a jeho využití při kogeneraci* [online]. 2012 [cit. 2018-10-29]. Dostupné z: <http://www.zelenezpravy.cz/stirlinguv-motor-%E2%80%93-historie-princip-a-jeho-vyuziti-pri-kogeneraci/>