

**VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra kybernetiky a biomedicínského
inženýrství**

**Řízení kogenerační jednotky
Cogeneration Unit Control**

2015

Petr Holub

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra kybernetiky a biomedicínského inženýrství

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Petr Holub**

Studijní program: N2649 Elektrotechnika

Studijní obor: 2601T004 Měřicí a řídicí technika

Téma: **Řízení kogenerační jednotky**
Cogeneration Unit Control

Zásady pro vypracování:

Cílem diplomové práce je řízení mikrokogenerační jednotky v rámci realizované sítě alternativních energetických jednotek. Součástí práce je projektové schéma, návrh a implementace řízení mikrokogenerační jednotky.

V souhrnu je práce charakterizována těmito body:

1. Rešerše současného stavu technologie mikrokogeneračních jednotek.
2. Vypracování projektové dokumentace.
3. Návrh a implementace řídicího softwaru.
4. Návrh a realizace monitorování procesních dat.
5. Test realizovaného řešení.
6. Zhodnocení dosažených výsledků.

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] DVORSKÝ, Emil a Pavla HEJTMÁNKOVÁ. *Kombinovaná výroba elektrické a tepelné energie*. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2006. ISBN 978-8073001186.
- [2] KRBEK, Jaroslav a Bohumil POLESNÝ. *Kogenerační jednotky - zřízení a provoz*. 1. vyd. Praha: GAS, 2007. ISBN 978-80-7328-151-9.
- [3] HORLOCK, J.H. *Cogeneration-Combined Heat and Power (Chp): Thermodynamics and Economics*. 1st ed. Malabar, FL(USA): Krieger Pub Co, 1996. ISBN 978-0894649288.
- [4] PETRUZELLA, Frank. *Programmable Logic Controllers*. 4th ed. New York: McGraw-Hill Science/Engineering/Math, 2010. ISBN 978-0073510880.
- [5] HORÁK, B., K. FRIEDRISCHKOVÁ, V. OTEVŘEL, Z. SLANINA a David VALA, David. *Smart sítě a jejich infrastruktura*. 1. vyd. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2014. ISBN 978-80-248-3534-1. Dostupné také z: http://netfei.vsb.cz/downloads/autorske_texty/Smart%20site%20a%20jejich%20infrastruktura.pdf.
- [6] Firemní dokumentace - kogenerační jednotky firmy TEDOM.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

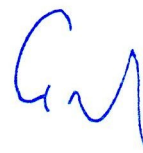
Vedoucí diplomové práce: **Ing. Zdeněk Slanina, Ph.D.**

Datum zadání: 01.09.2014

Datum odevzdání: 07.05.2015



doc. Ing. Jiří Koziorek, Ph.D.
vedoucí katedry



prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

Datum odevzdání 6.5.2015



Petr Holub

Poděkování

Rád bych chtěl poděkovat panu Ing. Zdeňkovi Slaninovi, Ph.D. za jeho rady, připomínky a pomoc poskytnutou během tvorby této práce, děkuji.

Abstrakt

Tato práce pojednává o problematice kogenerace a řeší návrh a implementaci řízení pro vytvořenou mikrokogenerační jednotku se vzduchem chlazeným spalovacím motorem. Teoretická část seznamuje s technologií přeměny energie z paliva na elektrickou a tepelnou energii a současným stavem nabídky dostupných mikrokogeneračních jednotek na evropském trhu. Součástí práce je i projektová dokumentace, v níž je proveden návrh všech komponentů a výkresová dokumentace. V praktické části je popsán návrh řídicího softwaru a jeho implementace do PLC Siemens Simatic S7-1200. Vizualizace řízení mikrokogenerační jednotky je pak vytvořena v softwaru od společnosti mySCADA Technologies. Poslední kapitola je věnována testování vytvořeného řídicího systému spolu s vizualizací procesních dat na jednoválcovém vzduchem chlazeném motoru G340FD.

Klíčová slova

kogenerace, PLC, Siemens, Simatic, S7-1200, TIA Portál, vizualizace, mySCADA

Abstract

This thesis discusses cogeneration and deals with plan and implementation of micro-cogeneration unit with air-cooled combustion engine. Theoretical part acquaints with technology of energy conversion, precisely conversion of the fuel energy to electric and thermal energy and also informs about current offers of micro-cogeneration units which are available at the European market. Within the project documentation which is part of this thesis there is proposal of all components and mechanical drawings. In practical part there is the plan of controlling software and its implementation to the PLC Siemens Simatic S7-1200. Controlling visualization of micro-cogeneration unit is created by mySCADA Technologies software. The last section is focused on controlling system testing along with visualization of processing data on single-cylinder air-cooled combustion engine.

Key Words

cogeneration, PLC, Siemens, Simatic, S7-1200, TIA Portal, visualization, mySCADA

Seznam použitých symbolů a zkratek

AD	Analogově digitální
AI	Analogový vstup
CO	Oxid uhelnatý
DI	Digitální vstup
DQ	Digitální výstup
HC	Uhlovodíky
HMI	(Human-Machine Interface) Rozhraní mezi člověkem a strojem
HTML	Hyper Text Markup Language
IP	(Internet Protocol) Internetový protokol
MCFCs	(Molten carbonate fuel cells) Karbonátové palivové články
NOx	Oxidy dusíku
OB	(Organization Block) Organizační blok
OHV	(Over Head Valve) Typ ventilového rozvodu - vačková hřídel v bloku motoru a ventily v hlavě válce
OPC	(OLE for Process Control) OLE pro procesní řízení - standard průmyslové komunikace
PAFCs	(Phosphoric-acid fuel cells) Palivové články s kyselinou fosforečnou
PC	(Personal Computer) Osobní počítač
PEFCs	(Polymer electrolyte fuel cells) Elektrolyt na bázi pevných polymerů
PI	Proporcionální, integrační
PID	Proporcionální, integrační, derivační
PLC	(Programmable Logic Controller) Programovatelný logický automat
PWM	(Pulse Width Modulation) Pulzně šířková modulace
SCADA	(Supervisory Control and Data Acquisition) Supervizní řízení a sběr dat
SOFCs	(Solid oxide fuel cells) Palivové články s pevným elektrolytem
SVG	Scalable Vector Graphics

Obsah

1	Úvod	1
2	Kogenerační jednotky	2
2.1	Rozdělení kogenerací	2
2.1.1	Kogenerační jednotky se spalovacím motorem.....	3
2.1.2	Kogenerační jednotky se Stirlingovým motorem.....	4
2.1.3	Kogenerační jednotky s Rankine - Clausiovým cyklem	5
2.1.4	Kogenerační jednotky s plynovou (spalovací) turbínou.....	6
2.1.5	Kogenerační jednotky s paroplynovým cyklem.....	7
2.1.6	Kogenerační jednotky s organickým Rankinovým cyklem (ORC).....	7
2.1.7	Kogenerační jednotky s palivovým článkem	8
2.2	Rešerše současných mikrokogeneračních jednotek.....	10
3	Realizace mikrokogenerační jednotky.....	19
3.1	Návrh řešení.....	19
3.2	Návrh snímačů a akčních členů	20
3.2.1	Snímače teploty	20
3.2.2	Snímač kyslíku	21
3.2.3	Snímač napětí generátoru	22
3.2.4	Snímač proudu generátoru.....	22
3.2.5	Snímač proudění plynů.....	23
3.2.6	Snímač otáček	23
3.2.7	Servopohon FP-S148.....	23
3.2.8	Ventilátor.....	24
3.3	Návrh řídicího systému.....	24
4	Návrh a implementace řídicího softwaru.....	27
4.1	Návrh	27
4.1.1	Podmínky pro start a provoz	28
4.1.2	Regulace spalovací směsi	28
4.1.3	Regulace teploty okolního vzduchu	29
4.1.4	Startovací sekvence	30
4.1.5	Výpočet předané tepelné energie	31
4.2	Implementace.....	32
4.2.1	Vytvoření hardwarové konfigurace.....	32
4.2.2	Vytvoření hlavních bloků a jejich funkce v programu.....	32
4.2.3	Výpočet tepla.....	33
4.2.4	Regulace	34
4.2.5	Startovací sekvence	35
5	Návrh a realizace monitorování procesních dat.....	36
5.1	Návrh	36
5.2	Realizace.....	36
5.2.1	Komunikace	37
5.2.2	Databáze tagů	37
5.2.3	Obrazovky	37
5.2.4	Alarmy.....	38
5.2.5	Trendy	38
6	Testování.....	40

6.1	Testování funkčnosti měřených údajů.....	40
6.2	Testování varovných a poruchových stavů.....	42
6.3	Testování vlivu regulace na spotřebu paliva	43
7	Závěr.....	44
8	Literatura.....	45
9	Seznam příloh.....	47

1 Úvod

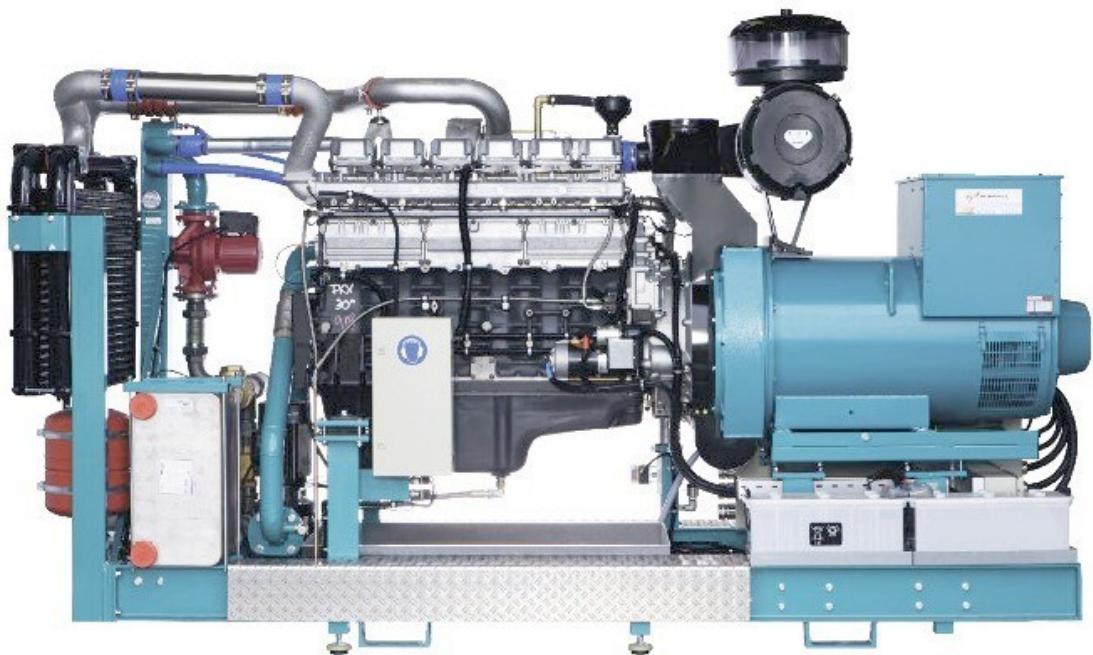
Hlavní zdroje pro výrobu elektrické energie i tepla jsou stále pro svou cenu a dostupnost hnědé a černé uhlí, při jejichž spalování vzniká velké množství oxidu uhličitého, oxidu siřičitého, oxidu dusíku a prašných částic. Účinnost přeměny energie v palivu na elektrickou energii v elektrárnách je stále nízká, pohybující se průměrně okolo 40 %. A právě největší energetické potřeby pro budovy a domácnosti jsou elektrická energie a teplo. Při dodávkách těchto energií z centrálního zdroje přes distribuční sítě dochází k nemalým ztrátám při jejich přenosu. Jeden ze způsobů jak snížit ztráty, je výroba těchto energií v místě spotřeby. Výroba tepla je běžná a nijak složitá na technologii a provozování, kdežto výroba elektřiny je náročnější na tyto aspekty, ale hlavně na řízení celého procesu. Kogenerační jednotky umožňují společnou výrobu elektrické energie a tepla a jsou tak jednou z možností, jak efektivněji využít primární paliva a snížit ztráty při přenosech těchto energií. Navíc kogenerační jednotky umožňují spalování zemního plynu a obnovitelných zdrojů energie, při jejichž správně řízeném spalování vzniká mnohem menší množství škodlivých látek než při spalování uhlí a některé nevznikají vůbec.

A právě správné řízení technologie je nedílnou součástí pro efektivní využití každého procesu ať už výroby energií, nebo jiných zařízení. U velkých výrobních zdrojů energie je řízení na dobré úrovni díky přísnějším nárokům na produkci škodlivých látek a zejména z finančních důvodů a rychlejší návratnosti pořizovacích nákladů za toto řízení. Kdežto u malých zdrojů bývá řízení kvůli ceně jednodušší s menším zaměřením na účinnost a produkci co nejnižšího množství škodlivých látek, což degraduje hlavní výhody mikrokogeneračních jednotek.

Tato práce se zabývá řízením mikrokogenerační jednotky vytvořené za použití vzduchem chlazeného spalovacího motoru. Vytvořená mikrokogenerační jednotka bude součástí realizované sítě alternativních energetických jednotek v Českém Těšíně pro spolek TRIANON, z.s. a její vyrobená elektrická energie a teplo bude sloužit jako primární energie pro tepelné čerpadlo. První část je zaměřena na používanou technologii pro přeměnu energie z paliva na elektrickou energii a teplo. Je zde provedena rešerše současného stavu nabízených mikrokogeneračních jednotek s výčtem jejich hlavních parametrů. V další části je proveden návrh řešení řízení a způsobu získávání tepla z mikrokogenerační jednotky a výběr snímačů, akčních členů a hardwaru řídicího systému. Dále je proveden návrh a implementace řídicího softwaru v TIA Portál V13 do programovatelného logického automatu Siemens Simatic S-1200 s CPU 1212C. Jedná se hlavně o algoritmy pro startování spalovacího motoru a regulaci spalovací směsi pro zvýšení účinnosti a snížení produkce škodlivých látek ve spalínách. Předposlední část se zabývá návrhem a realizací vizualizace procesu navržené mikrokogenerační jednotky v softwaru od firmy mySCADA. Vizualizace umožňuje komplexní řízení provozu, od jejího ovládání, hlídání poruchových stavů, monitorování trendů až po hlídání servisních intervalů související s provozem spalovacího motoru. V poslední části je provedeno testování řízení a vizualizace na jednoválcovém vzduchem chlazeném motoru G340FD s ventilovým rozvodem OHV.

2 Kogenerační jednotky

Pojem kogenerace se využívá k označení kombinované výroby a využití elektrické a tepelné energie. Klasické elektrárny spalují levné fosilní palivo, mají vyšší emise škodlivých látek ve spalinách a pracují s účinností výroby okolo 40 %. Většina kogeneračních jednotek spaluje dražší zemní plyn, mají menší emise škodlivých látek ve spalinách a na rozdíl od klasických elektráren efektivně využívají vzniklé teplo při výrobě elektrické energie. Právě proto se jejich celková účinnost výroby energie pohybuje převážně okolo 90 %, ale není výjimkou účinnosti až 96 %. Použití kogenerační jednotky v místě spotřeby vyrobené energie vede k výrazným úsporám díky snížení ztrát při přenosu těchto energií.



Obrázek 1: Kogenerační jednotka [4]

2.1 Rozdělení kogenerací

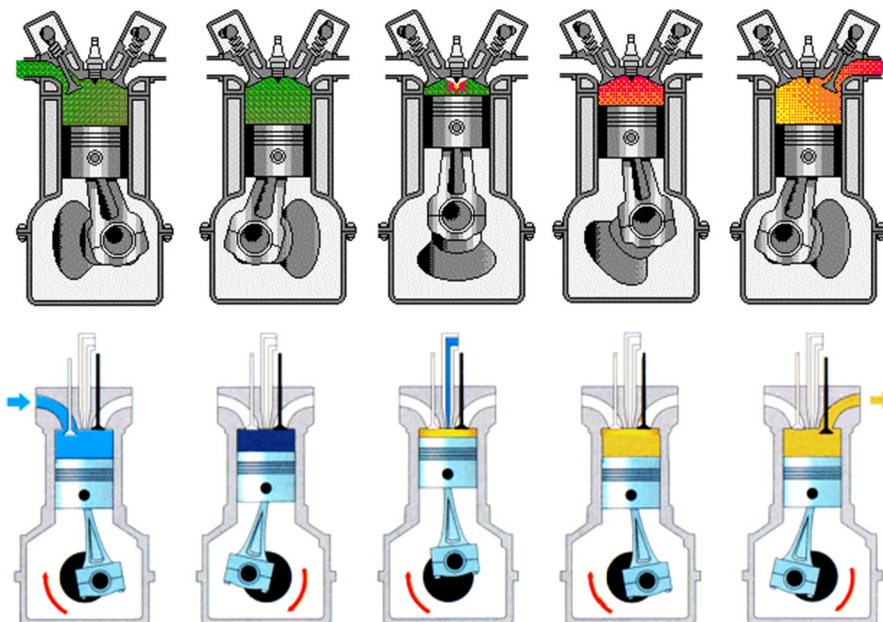
Kogenerační jednotky využívají pro svůj provoz pevné, kapalné a plynné palivo. Podle technologie přeměňující energii primárního paliva na elektrickou a tepelnou energii je můžeme dělit na kogenerační jednotky se spalovacím motorem s vnitřním spalováním, se Stirlingovým motorem se vnějším spalováním, s Rankine-Clausiovým cyklem, s plynovou spalovací turbínou, s paroplynovým cyklem a kogenerační jednotky s palivovým článkem.

2.1.1 Kogenerační jednotky se spalovacím motorem

Jsou to v současnosti nejrozšířenější kogenerační jednotky z důvodu použití dlouhodobě vyvíjející se technologie a technicky dobře zvládnutelné. Tyto jednotky používají pístové motory s vnitřním spalováním. Nejpoužívanější je Ottův zážehový motor, méně pak Dieselův vznětový motor. Používané palivo musí být ušlechtilé bez znečištění, nejčastěji je to pak zemní plyn, bioplyn, skládkový plyn, dřevní plyn, čistírenský plyn a bionafta. Mechanická práce spalovacích motorů je převedena v generátorech na elektrickou energii a odpadní teplo je odvedeno pomocí výměníků z mazacího oleje, chladicí vody a ze spalín. Kogenerační jednotky se spalovacím motorem se vyrábějí v širokém výkonovém rozsahu od jednotek kWe až po několik MWe. U menších kogeneračních jednotek je možno použít asynchronních generátorů, u větších jsou použity synchronní generátory. Účinnost výroby elektrické energie u malých jednotek je 27 - 32 % u větších jednotek je 37 - 41 %. Účinnost výroby tepla u malých jednotek je 48 - 57 %, u větších jednotek je 45 - 52 %. Celková účinnost u malých jednotek je 80 - 84 %, u velkých jednotek je 86 - 90 %.

K hlavním výhodám oproti jiným technologiím patří možnost rychlého najezení a odstávky a velký rozsah modulace výkonu. Pro provozování je velký výběr paliv. Dostupný servis díky používání stejných motorů jako v automobilech. Kogenerační jednotky umožňují bezobslužný automatický dálkově řízený provoz.

Nevýhoda u této technologie je vysoká hlučnost a vibrace, poměrně častý servis díky opotřebení mechanických součástí. Motory jsou náročnější na čistotu paliva a kvůli přerušovanému spalování vzniká větší množství emisí NO_x a CO.



Obrázek 2: Ottův zážehový a Dieselův vznětový motor [9]

2.1.2 Kogenerační jednotky se Stirlingovým motorem

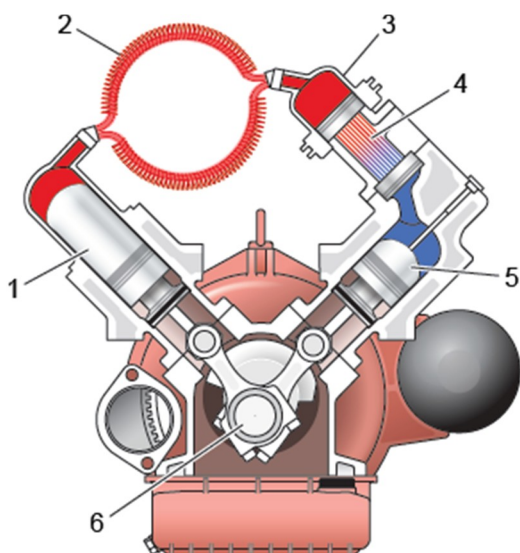
Stirlingův pístový motor s vnějším spalováním byl vynalezen v roce 1816, dříve než Ottův a Dieselův motor. Pracuje s uzavřeným prostorem naplněným stlačeným inertním plynem (nejčastěji heliem, dusíkem nebo vodíkem), který je střídavě ohříván a ochlazován a využívá k pohonu jeho teplotní roztažnost.

„Nově vyvinuté a zdokonalené Stirlingovy motory druhé generace s regenerátorem dosahují při maximálním výkonu až 4000 otáček za minutu a regenerátor umožňuje za 0,02 s změnit teplotu plynu o několik set stupňů Celsia, čímž se zvyšuje účinnost zařízení na 38 až 42 % (odpovídá nejlepším naftovým motorům).

K hlavním výhodám Stirlingových motorů patří možnost přímého využití prakticky jakéhokoliv paliva, popřípadě i odpadního tepla z technologických procesů, a to díky vnějšímu přívodu tepla, dále pak vyšší vnitřní tepelná účinnost oproti motorům s vnitřním spalováním, výrazně nižší servisní náklady díky dlouhým servisním intervalům, dlouhá životnost daná především skutečností, že olej není v přímém kontaktu se spalinami ani horkými díly motoru, nulovou spotřebou oleje a velmi nízkou hlučností.

K hlavním nevýhodám oproti klasickým spalovacím motorům však patří zejména vyšší cena, daná náročnou montáží, speciálními materiály některých komponent a nutností použití technologií nevhodných pro sériovou výrobu. “[2]

Celková účinnost jednotek se pohybuje v rozmezí 60 - 90 %.



- | | |
|------------------|-------------------|
| 1. Expanzní píst | 4. Chladič plynu |
| 2. Ohříváč plynu | 5. Kompresní píst |
| 3. Regenerátor | 6. Kliková hřídel |

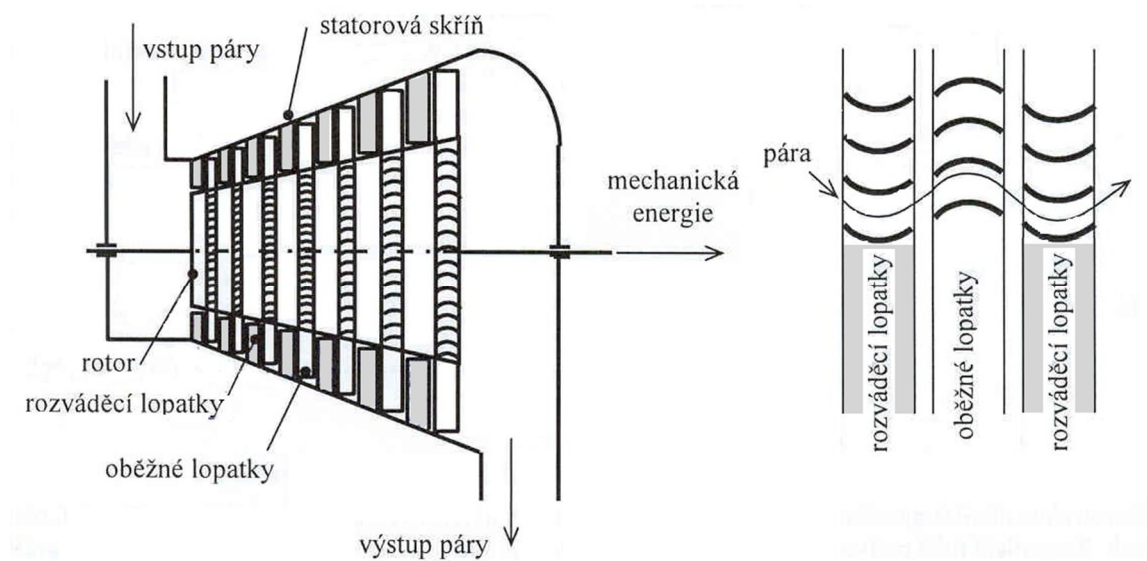
Obrázek 3: Stirlingův motor [11]

2.1.3 Kogenerační jednotky s Rankine - Clausiovým cyklem

Používají parní kotel s vnějším spalováním s parní turbínou (protitlakou nebo kondenzační) na přeměnu části energie v páře na mechanickou a v generátoru na elektrickou energii. U parních turbín je malá účinnost při výrobě elektrické energie, proto se hodí spíše tam, kde je větší spotřeba tepla než elektřiny. Turbíny se vyrábějí v širokém výkonovém rozsahu od jednotek kWe až po stovky MWe. U menších výkonů se používají radiální jednostupňové turbíny u větších výkonů axiální vysoko-otáčkové turbíny. Jako palivo se používají fosilní paliva (uhlí, olej, zemní plyn), nebo biomasa. Účinnost výroby elektrické energie u malých jednotek je 5 - 15 %, u větších jednotek je 20 - 30 %. Účinnost výroby tepla u malých jednotek je 55 - 70 %, u větších jednotek je 60 - 65 %. Celková účinnost u malých jednotek je 65 - 75 %, u velkých jednotek je 85 - 90 %. Rozsah výkonů je 40 - 100 %.

Výhody spočívají ve vnějším spalování, díky tomu je umožněno použití velkého množství paliv i méně hodnotných. Zařízení pracují s vysokou celkovou účinností, nízkými emisemi a dlouhou životností.

Mezi nevýhody patří dlouhá doba pro najetí a odstavení, vysoké pořizovací náklady, vysoké tlaky v systému a většinou potřeba vodního hospodářství na úpravu vody.



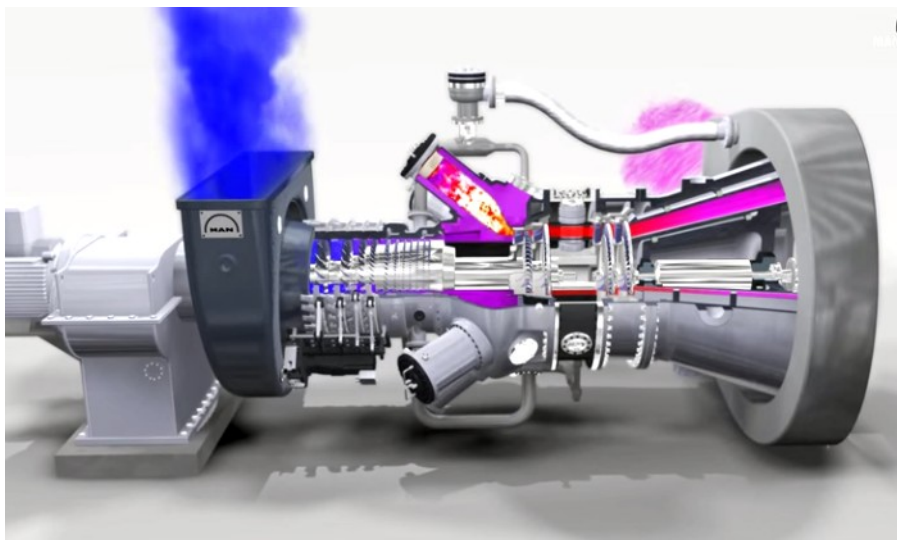
Obrázek 4: Axiální parní turbína [12]

2.1.4 Kogenerační jednotky s plynovou (spalovací) turbínou

Jsou to vysoko-otáčková soustrojí (až několik desítek tisíc ot/min), která se skládají převážně z jednostupňového axiálního kompresoru, který stlačuje nasávaný vzduch na kompresní poměr 10 - 20. Takto stlačený vzduch přichází do spalovací komory, kde se v důsledku hoření s palivem se ohřívá na teplotu 900 až 1300 °C. Takto ohřátá směs expanduje v axiální turbíně, kde se přeměňuje tato energie na mechanickou a následně v připojeném generátoru na elektrickou energii. Spaliny vystupující z turbíny mají teplotu 450 až 570 °C, vstupují do kotle pro výrobu tepla (pára, horká voda). Turbíny se vyrábějí v širokém výkonovém rozsahu od desítek kWe až po stovky MWe. Turbíny se převážně vyrábějí jako jednohřídelové stroje, kdy je na jedné hřídeli umístěna kompresorová i expanzní turbína. Generátor je spojen s turbínou u malých výkonů používajících vysokootáčkové turbíny přes převodovku nebo je použit vysokofrekvenční generátor, u větších výkonů je spojen přímo. Účinnost výroby elektrické energie u malých jednotek je 30 - 40 %, u větších jednotek je 33 - 38 %. Účinnost výroby tepla u malých jednotek je 45 - 55 %, u větších jednotek je 48 - 57 %. Celková účinnost u malých jednotek je 65 - 85 %, u velkých jednotek je 86 - 90 %. Rozsah výkonů je 70 - 100 %. Ke spalování potřebuje kvalitní palivo jako je zemní plyn, svítiplyn, bioplyn a lehký topný olej. Používá se v suchých oblastech v místech těžby a výroby paliva.

Hlavní výhody plynových turbín spočívají v krátké době pro najetí a odstavení, zařízení nepotřebuje chladicí vodu a má nižší pořizovací náklady než klasický parní cyklus. Turbíny se vyznačují nízkými emisemi a dlouhou životností.

Nevýhoda u plynových turbín je jejich vysoká hlučnost, vyšší nároky na čistotu paliva a nízká účinnost při malém zatížení.



Obrázek 5: Plynová turbína od firmy MAN [13]

2.1.5 Kogenerační jednotky s paroplynovým cyklem

Paroplynová kogenerační jednotka kombinuje plynovou s parní turbínou. Zařízení je složeno z plynové turbíny, která je spojená s generátorem. Spaliny z plynové turbíny jsou přiváděny do kotle, kde buď přímo, nebo za pomoci dalšího paliva je vyráběna pára pro pohon parní turbíny. Parní turbína je spojena buď se stejným generátorem jako plynová turbína, nebo s dalším vlastním generátorem. Výkon jednotky až stovky MWe. Účinnost výroby elektrické energie u malých jednotek je 25 - 30 %, u větších jednotek je 40 - 45 %. Účinnost výroby tepla u malých jednotek je 50 - 60 %, u větších jednotek je 38 - 46 %. Celková účinnost u malých jednotek je 70 - 80 %, u větších jednotek je 83 - 86 %. U mikrokogenerací se používá radiálních kompresorů a turbín.

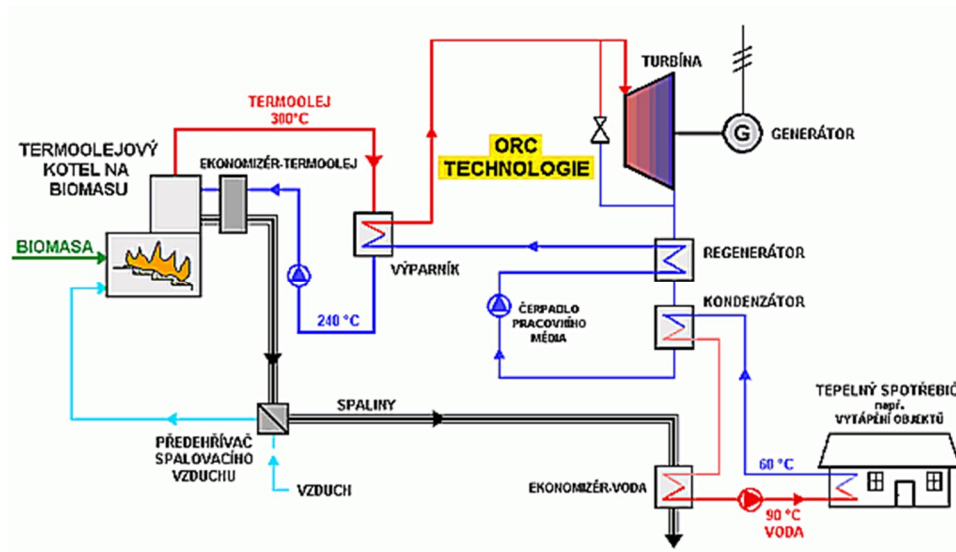
2.1.6 Kogenerační jednotky s organickým Rankinovým cyklem (ORC)

„Jednou z perspektivních technologií, obzvláště ve spojení se spalováním biomasy je tzv. Organický Rankinův cyklus. Pracovní látkou v klasickém Rankinově cyklu je voda, respektive vodní pára. Pro zařízení pracující při nižší teplotě ve výparníku se jeví výhodnější používat jiné pracovní látky než vodu. Tyto pracovní – organické látky jsou charakteristické vyšší molární hmotností, komplexnější molekulovou stavbou a při nasazení pak poskytují vyšší účinnost cyklu při aplikaci jednodušší jednostupňové turbíny. V konstrukčně relativně jednoduchém kotli se ohřívá termoolej, např. na cca 300 °C. Olej jde do výparníku, kde se vyvíjí plyn z organického pracovního média. Plyn je veden do pomaloběžné axiální turbíny. Z turbíny je plyn odváděn do regenerátoru a kondenzátoru, kde je ochlazen a zkapalněn. Tím je uzavřen pracovní cyklus. Teplo pro odběratele se získává z ekonomizéru za kotlem. Pro teploty pod 200 °C se jako pracovní látka používají alkany, freony, případně jiná média známá z chladicí techniky (z reverzního Rankinova cyklu), pro vyšší teploty do 400 °C se používají např. aromatické uhlovodíky, popřípadě jiná organická média či jejich směsi. Většina organických látek má (na rozdíl od vody) kladnou směrnici křivky syté páry, expanze v turbíně pak probíhá do oblasti přehřáté páry a otevírá možnost použití rekuperátoru, který využívá teplo přehřátí k ohřevu kapalné fáze a zvyšuje tak účinnost výroby elektrické energie. Systém je tedy schopen transformovat energii při poměrně nízké teplotě. Použitá turbína má relativně vysokou účinnost zejména při částečném zatížení, její nízké otáčky umožňují přímý pohon generátoru, eroze turbínových lopatek je minimální (nepřítomnost kapiček pracovního média) a významná je rovněž možnost jakékoli regulace výkonu turbosoustrojí v celém výkonovém rozsahu.“[2]

Celková účinnost jednotek je 65 - 85 %.

Mezi výhody patří vysoká celková účinnost, možnost použití velkého množství paliv i méně hodnotných. Zařízení se vyznačuje dlouhou životností, malou citlivostí na změnu zatížení a nižšími teplotami a tlaky než u páry. Pro zdroj tepelné energie ORC lze využít odpadní teploty cca od 120 °C.

Mezi nevýhody patří dlouhá doba pro najetí a odstavení, vysoké pořizovací náklady kvůli složitější technologii a více pracovních látek pro výrobu energií.



Obrázek 6: Blokové schéma výroby ORC technologií [14]

2.1.7 Kogenerační jednotky s palivovým článkem

Palivové články přímo přeměňují chemickou energii paliva na elektrickou energii. Pracují s vysokou účinností a malým vlivem na životní prostředí. Palivem je čistý vodík, nebo paliva vodík obsahující, například zemní plyn, propan a metanol. Palivový článek se skládá z elektrod a elektrolytu, které propouštějí pouze protony vodíku. Elektrony proudí přes uzavřený obvod a společně s protony na druhé elektrodě (katodě) reagují s kyslíkem a vytváří vodu. Na elektrodách vzniká napětí přibližně 1 V, které má při zatížení hodnotu 0,5 - 0,8 V. Palivové články se dělí podle použitého elektrolytu na:

„Palivové články s kyselinou fosforečnou (PAFC) - technologie PAFC je v současnosti ze všech technologií palivových článků v nejvyšším stádiu vývoje a je již v prvním stádiu komercializace. PAFC pracují s celkovou tepelnou účinností vyšší než 80 % (PC 25 firmy ONSI dosahují celkové tepelné účinnosti 85 %). Elektrická účinnost se pohybuje včetně krytí vlastní spotřeby okolo 40 - 45 %.

Karbonátové palivové články (MCFC) - palivové články MCFC pracují s taveninou nasáknutou v keramické membráně. Tavenina je tvořena alkalickými uhličitany. MCFC pracují při vyšších teplotách - okolo 650 °C. MCFC jsou vyvíjeny pro energetické zdroje v průmyslovém sektoru a díky tomu, že pracují při vyšších teplotách, jsou žhavými kandidáty pro aplikace založené na kombinovaném cyklu, kde vystupující plyny jsou využívány na generování další energie. MCFC patří mezi takzvanou druhou generaci palivových článků.

Palivové články s pevným elektrolytem (SOFC) - palivové články SOFC používají keramický pevný elektrolyt, zpravidla obsahující jako základní složku ZrO₂ a pracují při teplotě okolo

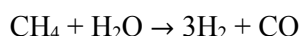
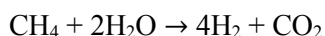
1000 °C. Vysoká teplota dává větší možnosti při výběru paliva, nabízí k využití kombinovaný cyklus a také umožňuje použití interního reformingu. Při vývoji SOFC výrobci převážně předpokládají, že SOFC budou součástí kombinovaného cyklu, kde budou dále napojeny na jednu nebo více plynových turbín. Předpokládaná elektrická účinnost je 62-72 % v závislosti na konstrukci. “[2]

Celková účinnost jednotek je 80 - 90 %.

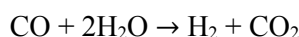
K hlavním výhodám palivových článků patří přímá přeměna energie v palivu na elektrickou energii, vysoká účinnost v celém výkonovém spektru, nízké emise škodlivých látek a tichý provoz. Palivové články umožňují i použití různých plyných paliv.

K hlavním nevýhodám patří jejich zatím vysoká cena a nízká životnost technologie. Mají delší dobu náběhu do plného výkonu a se stárnutím značně klesá jejich účinnost.

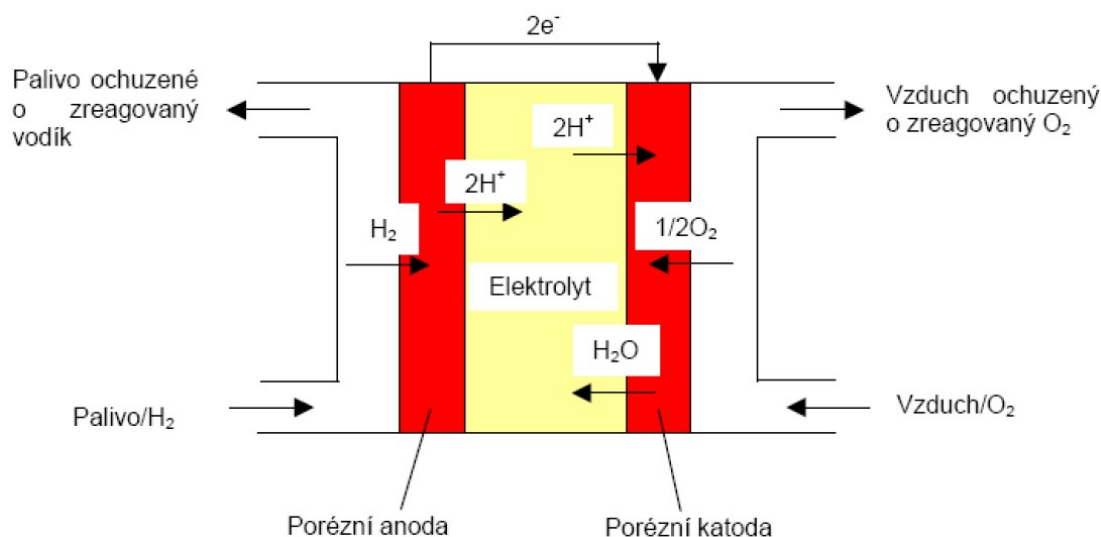
Výroba vodíku v palivovém procesoru: V části reformování paliva za správné teploty je přivedena vodní pára a metan a při reformní reakci se získává vodík, CO₂ a CO.



V části CO posunu se přidá k přeměně CO voda a získá se CO₂ a vodík.



V části čištění CO, se přidává kyslík k přeměně zbývajícího CO na CO₂



Obrázek 7 : Základní princip funkce palivového článku [2]

2.2 Rešerše současných mikrokogeneračních jednotek

Pojmem mikrokogenerace se většinou označuje zařízení pro kombinovanou výrobu a využití elektrické a tepelné energie do 50 kW elektrického výkonu. V posledních letech zažívají tyto jednotky velký rozmach. Jsou určeny převážně mimo průmyslové odvětví do domácností, hotelů, bazénů a všude tam, kde je relativně malá a nestálá potřeba elektřiny a tepla.

XRGI

XRGI jsou jednotky vyráběné dánskou firmou EC POWER, které používají zážehové spalinové motory od firmy Toyota.

Tabulka 1: Technické údaje mikrokogeneračních jednotek XRGI

Typ	XRGI 6	XRGI 9	XRGI 15	XRGI 20
El. výkon v kW (modulovaný)	2,5-6	4-9	6-15	10-20
Tepelný výkon v kW (modulovaný)	8-13,5	14-20	17-30	25-40
El. účinnost v %	28	29	30	32
Tepelná účinnost v % (bez rekuperace)	64	65	62	64
Celková účinnost v % (bez rekuperace)	92	94	94	96
Spotřeba paliva v kW (zemní plyn)	21,4	31	49	62,5



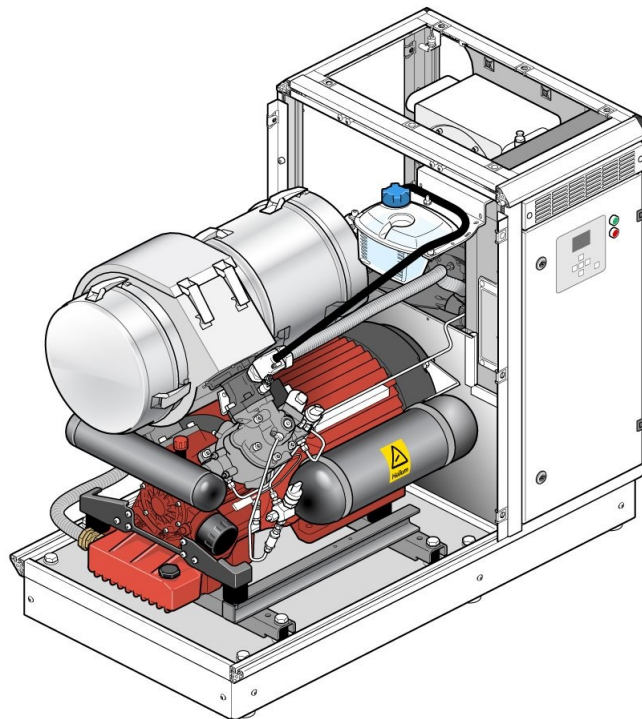
Obrázek 8: Mikrokogenerační jednotka XRGI [16]

Cleanergy C9G

Jednotky Cleanergy C9G využívající pro své kogenerační jednotky Stirlingovy motory, vyrábí firma Ladfill Systems. Pro pohon těchto motorů využívají různé druhy paliv (zemní plyn, LPG, LNG, bioplyn a skládkový plyn) i sluneční energii a jiné odpadní teplo. Motor je dvouválcový posunutý o 90° v provedení Alfa. Pracovní plyn využívá helium o tlaku 20 až 150 barů. Kogenerační jednotky se vyznačují dlouhým servisním intervalem mezi 6000 až 8000 provozních hodin a dlouhou životností okolo 120 tisíc provozních hodin, což je při průměrném zatížení 17 až 29 let.

Tabulka 2: Technické údaje mikrokogenerační jednotky Cleanergy C9G

El. výkon v kW (modulovaný)	9
Tepelný výkon v kW (modulovaný)	25
El. účinnost v %	25
Tepelná účinnost v % (bez rekuperace)	71
Celková účinnost v % (bez rekuperace)	96
Spotřeba paliva v m ³ /h (zemní plyn)	3,4
Zdvihový objem motoru v cm ³	160



Obrázek 9: Mikrokogenerační jednotka Cleanergy C9G [17]

MICRO

Jedná se o jednotku od české firmy TEDOM využívající zážehové spalovací motory vlastní výroby. Původně používali motory od fy Škoda. Je to jedna z prvních firem v České republice, která se už od roku 1991 zabývá výrobou kogeneračních jednotek.

Tabulka 3: Technické údaje mikrokogeneračních jednotek řady Micro

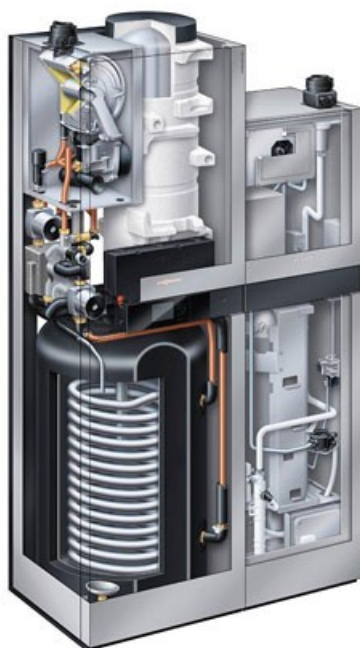
Typ	Micro T7	Micro T30	Micro T30	Micro T50
Palivo	Zemní plyn	Zemní plyn	Bio plyn	Zemní plyn
El. výkon v kW (modulovaný)	7	30	25	48
Tepelný výkon v kW (modulovaný)	17,2	61,6	47,5	91
El. účinnost v %	27	31,2	31,6	32,5
Tepelná účinnost v % (bez rekuperace)	66,3	64,1	60	61,6
Celková účinnost v % (bez rekuperace)	93,3	95,3	91,6	94,1
Spotřeba paliva v kW	25,9	96,2	79,1	148



Obrázek 10: Mikrokogenerační jednotka MICRO T30 [18]

Vitovvalor 300-P

První mikrokogenerace s palivovým článkem v Evropě pro domácnosti, která byla v dubnu 2014 uvedena na německý trh firmou Viessmann. Mikrokogenerační jednotka používá palivové články (PEFC) od firmy Panasonic. V Japonsku bylo od roku 2009 prodáno více než 30.000 mikrokogenerací s palivovým článkem. Jako vstupní palivo je použit zemní plyn, z kterého se reformním procesem získává vodík pro samotný palivový článek. Elektrický výkon mikrokogenerační jednotky dosahuje 750 W, tepelný 1 kW, elektrická účinnost 37 % a celková účinnost je 90 %. Předpokládaná životnost palivového článku je 10 let a celého zařízení 20 let, respektive 60.000 provozních hodin při 4.000 zapnutí. Cena zařízení je okolo 800.000 Kč. Vitovvalor 300-P se skládá ze dvou jednotek, a to integrovaného zásobníku teplé vody společně s kotlem pro pokrytí špičkového zatížení a vlastního palivového článku. Vitovvalor 300-P se dá pomocí aplikace v chytrých telefonech a tabletech monitorovat a ovládat na dálku.



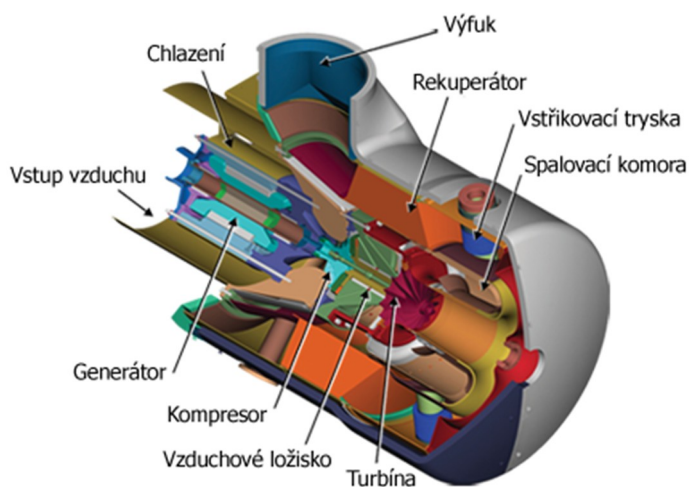
Obrázek 11: Mikrokogenerační jednotka Vitovvalor 300-P [20]

C30 MicroTurbine

Tato jednotka od americké firmy Capstone využívá mikroturbínu s patentovanými vzduchovými ložisky, při jejichž použití odpadá jakékoliv kapalné mazivo. Turbína se otáčí rychlostí 96.000 ot/min.

Tabulka 4: Technické údaje mikrokogenerační jednotky C30 MicroTurbine

El. výkon v kW (modulovaný)	30
Tepelný výkon v kW (modulovaný)	68
El. účinnost v %	26
Tepelná účinnost v % (bez rekuperace)	59
Celková účinnost v % (bez rekuperace)	85
Spotřeba paliva v kW (zemní plyn)	115



Obrázek 12: Plynová turbína C30 MicroTurbine [21]

OEKO

OEKO je jednotka německé firmy SOMMER energy, která využívá spalovací motory pro zemní plyn a mikroturbínu pro olejové paliva.

Tabulka 5: Technické údaje mikrokogenerační jednotky OEKO

OEKO	8 G	33 G	43 G	50 G
El. výkon v kW (modulovaný)	8	33	43	50
Tepelný výkon v kW (modulovaný)	15,8	55	62	78
El. účinnost v %	27,1	31,4	34,4	35,2
Tepelná účinnost v % (bez rekuperace)	53,6	49,6	54,9	54,1
Celková účinnost v % (bez rekuperace)	80,7	83,8	84	90,1
Spotřeba paliva v kW (zemní plyn)	29,5	105	125	142
Zdvihový objem motoru v cm ³	962	4580	4580	4580

OUTDOOR MGM 40

Od české fy MOTORGAS využívající spalovací motory od fy MAN pro zemní plyn a bioplyn.

Tabulka 6: Technické údaje mikrokogenerační jednotky MGM 40

MGM 40	Zemní plyn	Bio plyn
El. výkon v kW (modulovaný)	32,8	28,9
Tepelný výkon v kW (modulovaný)	50,4	43,3
El. účinnost v %	30,4	30,7
Tepelná účinnost v % (bez rekuperace)	46,6	46,1
Celková účinnost v % (bez rekuperace)	77	76,8
Spotřeba paliva v kW	108	94
Zdvihový objem motoru v cm ³	4580	4580



Obrázek 13: Mikrokogenerační jednotka MGM 40 [22]

GB

Od německé firmy GIESE Energie- und Regeltechnik. Firma vyrábí široké výkonové spektrum kogeneračních jednotek 4/ 5,5/ 7,5/ 12/ 18/ 20/ 30 a 49 kWe.

Tabulka 7: Technické údaje mikrokogeneračních jednotek řady GB

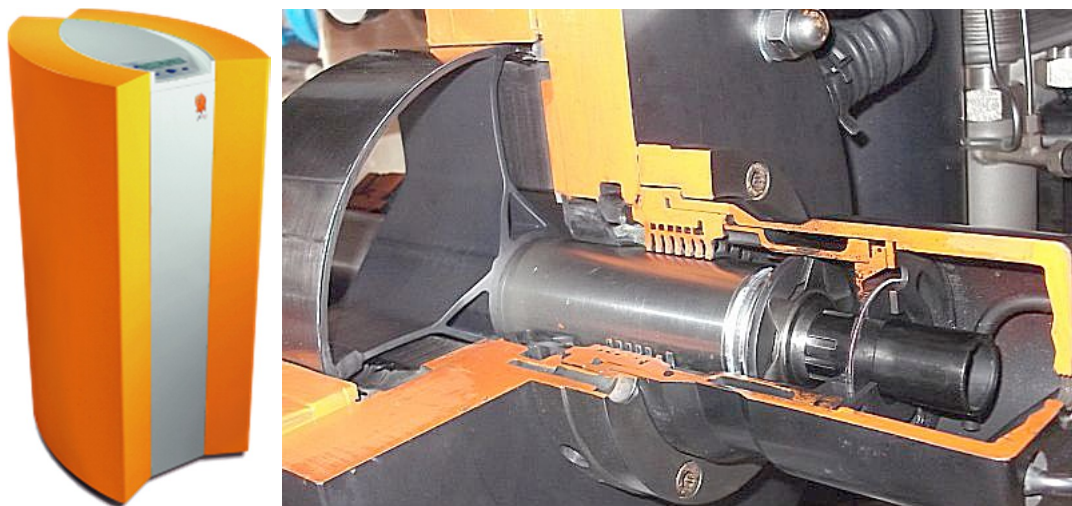
Typ	GB 4-8	GB 12-25	GB 49-90
El. výkon v kW (modulovaný)	4	12	49
Tepelný výkon v kW (modulovaný)	10,9	31,2	110
El. účinnost v %	25,97	27,15	29,61
Tepelná účinnost v % (bez rekuperace)	70,78	70,59	66,47
Celková účinnost v % (bez rekuperace)	96,75	97,74	95,43
Zdvihový objem motoru v cm ³	740	1826	6800



Obrázek 14: Mikrokogenerační jednotka GB [24]

Lion-Powerblocks

Tato jednotka německé firmy OTAG jako jedna z mála využívá pro pohon vodní páru. Jejich motor i generátor je lineární konstrukce, což snižuje mechanické ztráty, avšak výstup z generátoru je o frekvenci 45 až 75 Hz a musí se proto upravovat frekvenčním měničem.



Obrázek 15: Mikrokogenerační jednotka Lion-Powerblocks, detail parního pístu [25]

Tabulka 8: Technické údaje mikrokogenerační jednotky Lion-Powerblocks

El. výkon v kW (modulovaný)	1,5
Tepelný výkon v kW (modulovaný)	16
Celková účinnost v % (bez rekuperace)	94

Sunmachine Pellet

Od německé firmy Sunmachine využívající jednoválcový Stirlingův motor. Sunmachine jako asi jediná firma vyrábí mikrokogenerační jednotku s použitím primárního paliva dřevních pelet. Tyto pelety se ohřívají a vzniká dřevoplyn, který je spalován v plamenu směřujícím dolů o teplotě 850 °C, který ohřívá Stirlingův motor.

Tabulka 9: Technické údaje mikrokogenerační jednotky Sunmachine Pellet

El. výkon v kW (modulovaný)	3
Tepelný výkon v kW (modulovaný)	10,5
El. účinnost v %	25
Tepelná účinnost v % (bez rekuperace)	65
Celková účinnost v % (bez rekuperace)	90
Zdvihový objem motoru v cm ³	520



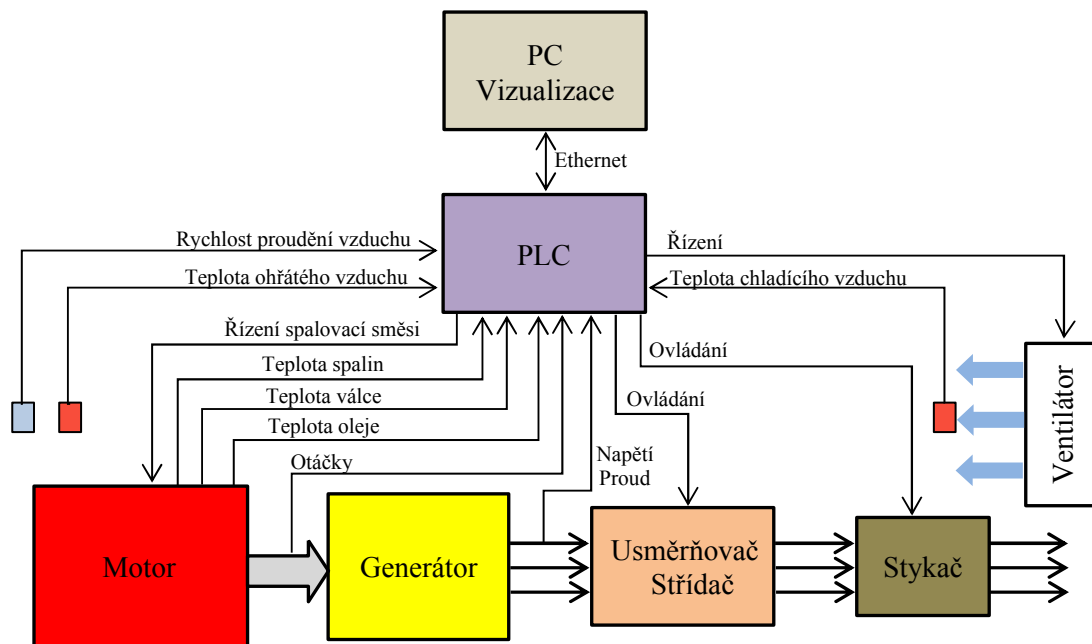
Obrázek 16: Mikrokogenerační jednotka Sunmachine Pellet [26]

3 Realizace mikrokogenerační jednotky

Tato kapitola řeší část projektu realizované sítě alternativních energetických jednotek v Českém Těšíně pro spolek TRIANON, z.s.. Cílem je vytvoření mikrokogenerační jednotky z jednoválcového čtyřdobého vzduchem chlazeného zážehového motoru ST188F se synchronním generátorem. Vyrobená elektrická a tepelná energie z mikrokogenerační jednotky bude sloužit jako primární energie pro tepelné čerpadlo, které bude vytápět přilehlé budovy. Návrh a testování samotného obsahu této diplomové práce bude probíhat na jednoválcovém čtyřdobém vzduchem chlazeném zážehovém motoru G340FD.

3.1 Návrh řešení

Spalovací motor bude osazen snímači a akčními členy pro regulaci a kontrolu chodu vytvořené kogenerační jednotky. Pro zvýšení účinnosti spalování bude provedena elektronicky řízena spalovací směs. Řízení spalovací směsi bude realizováno osazením karburátoru, respektive škrticí klapky vzduchu (sytiče), servopohonem. Spalovací směs bude regulována na základě zbytkového kyslíku ve spalinách, který bude měřen pomocí lambda sondy umístěné na výfukovém potrubí u hlavy válce. Škrcením vzduchu klapkou bude dosažena bohatší směs na palivo. Z důvodu dosažení chudé spalovací směsi při otevřené škrticí klapce, musí být provedena výměna hlavní trysky v karburátoru za trysku s menším průřezem. Odstředivá mechanická regulace otáček zůstane zachována. Pro využití odpadního tepla ze spalovacího procesu, bude spalovací motor umístěn do uzavřeného prostoru, do něhož bude z jedné strany ventilátorem přiváděn chladicí vzduch a na druhé straně bude vývod osazen tepelným výměníkem vzduch voda určeném pro tepelné čerpadlo. Pro efektivnější využití tepelné energie a z důvodu nepřekročení teploty okolního vzduchu kolem spalovacího motoru, bude teplota vnitřního prostoru regulována. Regulace bude provedena změnou průtoku chladicího vzduchu, která bude řízena otáčkami ventilátoru zajišťující nucené chlazení. Chladicímu vzduchu předávaná tepelná energie bude informativně vypočítána z rozdílu teplot ohřátého a nasávaného vzduchu a jeho průtoku. Sání spalovacího vzduchu a odvod spalin z výfuku bude vyveden mimo uzavřený prostor. Pro zjištění informace o stavu a chodu spalovacího motoru, budou měřeny jeho otáčky, teploty hlavy válce, teplota oleje a teplota spalin. Elektrická energie z generátoru bude z důvodu souměrné zátěže měřena jen na jedné fázi a to snímačem napětí a proudu. Výstupní vedení z generátoru bude za měření přiveden do 3-fázového usměrňovače a následně do řízeného měniče, kde bude znovu převedeno na střídavý proud. Za měničem bude instalován stykač, který bude spínat připojenou zátěž.



Obrázek 17: Blokové schéma mikrokogenerační jednotky

3.2 Návrh snímačů a akčních členů

Všechny navržené snímače a akční členy umístěné uvnitř uzavřeného prostoru mikrokogenerační jednotky musí být technologicky navrženy tak, aby mohly být trvale umístěny v prostoru o teplotě 40 °C.

3.2.1 Snímače teploty

Pro měření teplot byl dán požadavek na termočlávkové teploměry. Po zjištění a měření minimálních a maximálních teplot a způsobu uložení měřicích míst byly zvoleny termočlávkové teploměry typu "J", třídy přesnosti 2 dle ČSN EN 60584.

Snímače teploty chladicího vzduchu

- typ MTC 12
- výrobce MAVIS Nový Bor s.r.o.
- s neizolovaným měřicím spojem a rychlou časovou odezvou
- měřicí rozsah do 200 °C

Snímač teploty sání

- typ MTC 12A
- výrobce MAVIS Nový Bor s.r.o.
- s izolovaným měřicím spojem uloženým v nerezové jínce
- měřicí rozsah do 200 °C

Snímač teploty oleje a válce

- typ MTC 13T
- výrobce MAVIS Nový Bor s.r.o.
- s izolovaným měřicím spojem uloženým v nerezové jímce se šroubením pro tlakové potrubí
- měřicí rozsah do 600 °C

Snímač teploty spalin

- typ 113 73
- výrobce ZPA Nová Paka, a.s.
- s izolovaným měřicím spojem uloženým v nerezové jímce se šroubením pro tlakové potrubí s vysokou mechanickou odolností navržený pro spalovací motory
- měřicí rozsah do 700 °C

3.2.2 Snímač kyslíku

Pro zvýšení účinnosti spalování a snížení emisí, zejména CO, NO_x a HC, byla navržena lambda sonda pro určení množství kyslíku ve spalinách motoru, která bude sloužit k regulaci spalovací směsi. Navržený typ je LSM 11, 0 258 104 002 výrobce Bosch, je to referenční snímač zbytkového kyslíku ve spalinách s vlastním vyhříváním snímače používající technologii pro měření keramiku z oxidu zirkonia.

Měřicí rozsah: 0,68 až 1,32 λ

Napájecí napětí: 12 až 14 V_{ss}

Jmenovitý proud vyhřívání: 1,25 A

Chyba měření: < 1,5 % při $\lambda < 1$



Obrázek 18: Lambda sonda Bosch LSM 11, 0 258 104 002 [27]

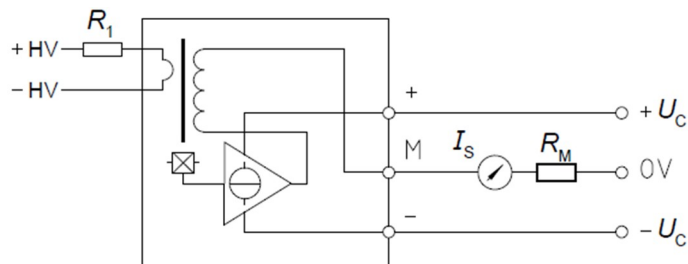
3.2.3 Snímač napětí generátoru

Měření napětí generátoru je provedeno pomocí čidla napětí typu LV 25-P výrobce LEM používající Hallův generátor.

Měřicí rozsah: 10 až 500 V

Výstupní signál: 0 až 25 mA

Napájecí napětí: ± 12 až 15 V



Obrázek 19: Zapojení odporů R_1 a R_M ke snímači LV25-P [28]

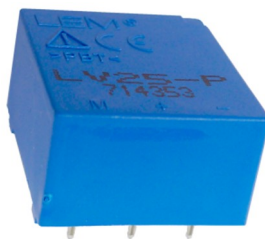
Návrh odporů R_1 a R_M :

U_C volíme ± 12 V

$$R_1 = \frac{U_{PN}}{I_{PN}} = \frac{230}{0,01} = 23 \text{ k}\Omega \text{ volíme } 27 \text{ k}\Omega$$

$$P_{R_1} = U_{PN} \cdot I_{PN} = 230 \cdot 0,01 = 2,3 \text{ W volíme } 3 \text{ W odpor}$$

R_M volíme 68Ω z rozmezí 10 až 100 Ω pro napájení ± 12 V



Obrázek 20: Snímač napětí LV25-P

3.2.4 Snímač proudu generátoru

Maximální odběr připojeného spotřebiče ke generátoru je 5,7 A. Měření proudu generátoru je provedeno pomocí čidla proudu typu LA 25-NP výrobce LEM používající Hallův generátor.

Měřicí nastavitelný rozsah: 0 až 25 A

Zvolený rozsah: 0 až 6 A

Výstupní signál: 0 až 25 mA

Napájecí napětí: ± 12 až 15 V

3.2.5 Snímač proudění plynů

Pro měření rychlosti proudění chladícího vzduchu byl vybrán snímač proudění SNP s typem čidla FS5 výrobce SENSIT s.r.o..

Volitelný měřicí rozsah: 0 až 20 m/s

Výstupní signál: 0 až 10 V

Napájecí napětí: 15 až 30 Vss

Chyba měření: menší než $\pm 3 \%$

3.2.6 Snímač otáček

Podle dokumentace se pohybují otáčky spalovacího motoru při startování okolo 1000 ot/min, při volnoběhu 1450 ot/min a maximální otáčky 3600 ot/min. Maximální frekvence spínání výstupu snímače při 3600 ot/min a 6 sepnutí na otáčku je 360 Hz. Navržený snímač otáček je indukční, typ TS12-02P-1 výrobce Highly.

Měřicí rozsah: 1,5 kHz

Výstupní obvod: PNP, NO (v klidu rozepnutý)

Napájecí napětí : 10 až 30 Vss



Obrázek 21: Indukční čidlo TS12-02P-1 [29]

3.2.7 Servopohon FP-S148

Navržený servopohon nastavující spalovací směs umožňuje vychýlení ze střední polohy 90° na každou stranu. Rychlost natočení z jedné koncové polohy do druhé je 0,66 s. Použitý rozsah natočení pro ovládání škrtkové klapky bude 0 až 80° .

Napájecí napětí : 4,8 až 6 Vss

Jmenovitý proud:	8 mA
Šířka pulzů:	2200 μs krajní poloha proti směru hodinových ručiček, 1250 μs střední poloha, 220 μs krajní poloha ve směru hodinových ručiček
Moment síly:	3,024 kg/cm

3.2.8 Ventilátor

Při maximálním tepelném výkonu ze spalovacího motoru 1,8 kW a maximální vstupní teplotě chladícího vzduchu 30 °C musí ventilátor zajistit odvod tepla, tak aby teplota uvnitř uzavřeného prostoru nepřesáhla maximálně povolených 40 °C.

Výpočet objemového průtoku ventilátoru:

Rozdíl entalpií vlhkého vzduchu mezi 40 °C a 30 °C při tlaku 98030 Pa je přibližně 10 kJ/kg, což je hodnota energie kterou může vzduch pojmout.

Měrná hmotnost vlhkého vzduchu při 30 °C je přibližně 1,11 kg/m³.

Potřebné množství vzduchu pro uchlazení výkonu 1,8 kW (1,8 kJ/s)

$$QV = \frac{P}{\Delta h \cdot \rho} = \frac{1800}{10000 \cdot 1,11} = 0,162 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \cong 584 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

Navržený ventilátor PSD24H0AZBX-A výrobce SUNON

Napájecí napětí :	20,4 až 27,6 Vss
Jmenovitý proud:	2,3 A
Průtok vzduchu:	658 m ³ /h

3.3 Návrh řídicího systému

Funkční analýza řídicího systému

- snímání a zpracování měřených údajů
- vykonání logických operací
- vykonání výpočtů
- ovládání akčních členů
- regulace PI nebo PID
- komunikace

Řídicí systém musí umožňovat snímání teplot z termočláňkových teploměrů v rozsahu -20 až 400 °C měřit napěťové a proudové výstupy z čidel v rozmezí 0 až 10 V, 0 až 5 V, 0 až 2,5 V a 0 až 20 mA, čítat impulzy o frekvenci 0 až 400 Hz, vykonávat kombinační a sekvenční logické obvody,

ovládat akční členy pomocí PWM, umožňovat PI nebo PID regulaci dvou okruhů a komunikovat po rozhraní Ethernet (100 Mbit/s) minimálně se dvěma zařízeními.

Požadavky

- 1 binární vstupy
- 7 analogových vstupů pro termočlánky
- 5 analogových vstupů pro snímače
- 1 vysokorychlostní čítač
- 3 binární výstupy
- 2 výstupy s PWM
- komunikační rozhraní Ethernet

Z důvodu větších zkušeností s PLC než s ostatními zařízeními umožňujícími řídit tuto technologii, byl vybrán PLC Siemens Simatic S7-1200, CPU 1212C, DC/DC/DC spolu se signálními moduly SM 1231 8AI TC a SM 1231 8AI.

Napájecí zdroj PM 1207

Zdroj napětí 24 V pro řadu Simatic S7-1200

Katalogové číslo:	6EP1332-1SH71
Napájecí napětí:	176 až 264 V
Výstupní napětí:	24 Vss
Proudové zatížení:	0 až 2,5 A
Tolerance výst. napětí:	±3 %

CPU 1212 DC/DC/DC

Katalogové číslo:	6ES7212-1AE40-0XB0
Napájecí napětí:	20,4 až 28,8 V
Jmen. hodnota proudu:	400 mA
Velikost operační paměti:	75 kbyte
Velikost programové paměti:	1 Mbyte
Maximální konfigurace:	3 komunikační moduly, 1 signální karta a 2 signální moduly
Počet binárních vstupů:	8, z toho 4 vysokorychlostní čítače 3 x 100 kHz, 1 x 30 kHz

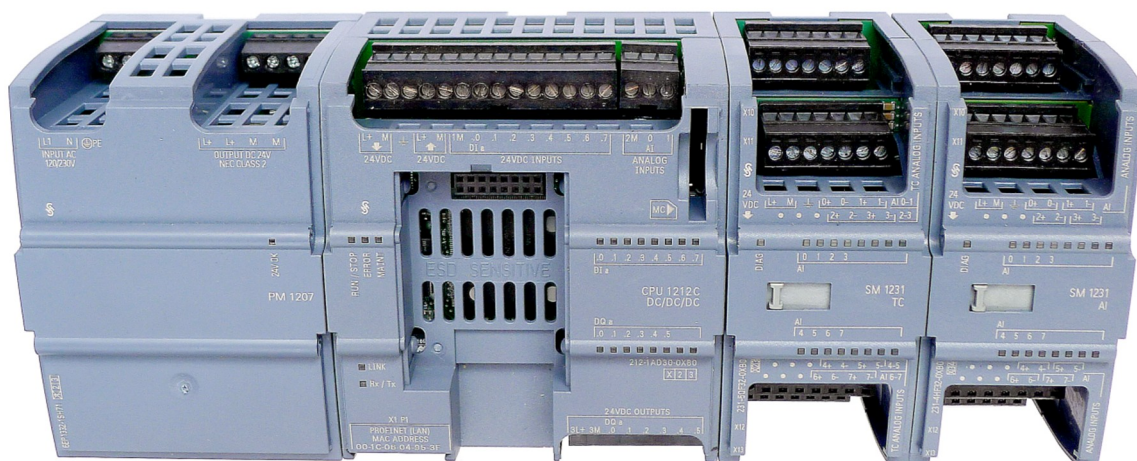
Počet binárních výstupů: 6, z toho 2 PWM s max. frekvencí spínání 100 kHz
 Počet analogových vstupů: 2, 0 až 10 V, 10 b AD převodník
 Komunikační port: PROFINET max. přenosová rychlost 100 Mbit/s, max. 16 zařízení

SM 1231 8AI TC

Katalogové číslo: 6ES7231-5QF30-0XB0
 Napájecí napětí: 24 V
 Jmen. hodnota proudu: 80 mA
 Počet analogových vstupů: 8, termočlávkových typu J, K, T, E, R, S, N, C, TXK/SK(L), napěťový rozsah ± 80 mV
 Rozlišení: 15 b AD převodník

SM 1231 8AI

Katalogové číslo: 6ES7231-4HF32-0XB0
 Napájecí napětí: 24 V
 Jmen. hodnota proudu: 45 mA
 Počet analogových vstupů: 8, volitelných ± 10 V, ± 5 V, $\pm 2,5$ V, 4 až 20 mA, 0 až 20 mA
 Rozlišení: 12 b AD převodník



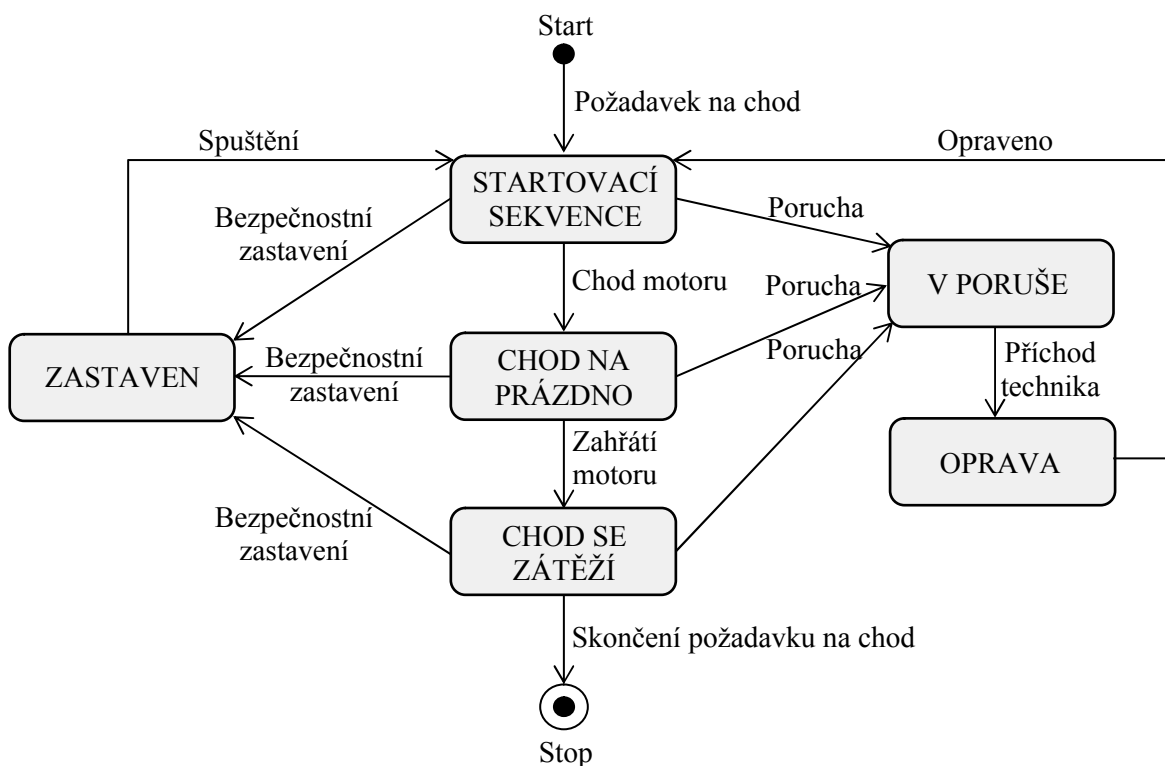
Obrázek 22: Hardwarová konfigurace PLC Simatic S7-1200 bez krycích dvířek

4 Návrh a implementace řídicího softwaru

Cílem řídicího systému je bezobslužný provoz kogenerační jednotky a co nejúčinnější výroba elektrické a tepelné energie. Zároveň bude umožňovat hlídání pravidelných servisních zásahů s možností editace jak časových údajů, tak názvů hlídanych částí. Software musí umožňovat napojení na vizualizaci, která ho bude plnohodnotně ovládat.

4.1 Návrh

Navržený software bude mít šest stavů pro řízení chodu mikrokogenerační jednotky. V závislosti na jeho stavu a požadavcích se budou jeho stavy měnit. Ve stavu "Startovací sekvence" bude ovládaní startéru, a vyhodnocování chodu motoru. Stav "Chod na prázdkno" bude vymezen dostatečným zahřátím spalovacího motoru a současně bude spuštěna regulace chlazení spalovacího motoru. Ve stavu "Chod se zátěží" bude zapnuta regulace spalovací směsi, regulace chlazení, měnič a sepnut stykač. Ve stavech "Zastaven" a "V poruše" je blokováno jak spuštění startéru, tak i zapalování spalovacího motoru.



Obrázek 23: Stavový diagram pro kogenerační jednotku

Tabulka 10: Seznam vstupů a výstupů PLC

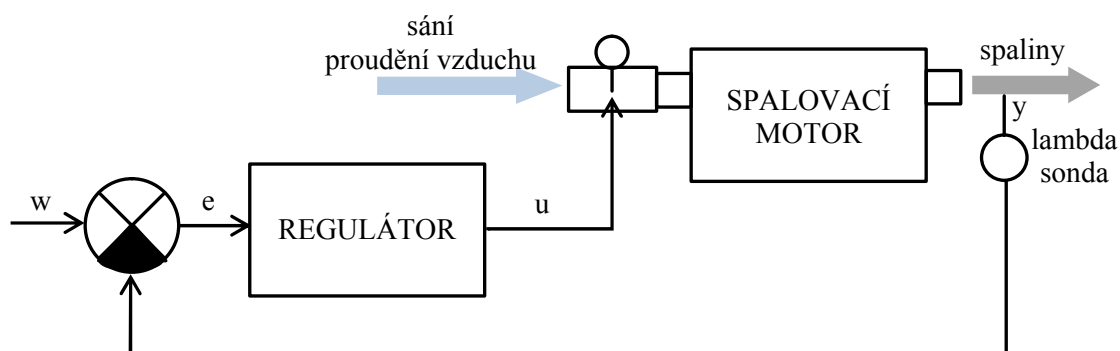
Název tagu	I/O	Karta	Komentář
T_chladiciho_vzduchu	AI0	S	teplota nasávaného vzduchu pro chlazení KGJ
T_ohrateho_vzduchu	AI1	M	teplota ohřátého vzduchu před výměníkem tepla
T_za_vymenikem	AI2	1	teplota vzduchu za výměníkem tepla
T_sani	AI3	2	teplota vzduchu na sání do spalovacího motoru
T_valce	AI4	3	teplota válce spalovacího motoru
T_oleje	AI5	1	teplota oleje spalovacího motoru
T_spalin	AI6	T	teplota spalin spalovacího motoru
Prutok_vzduchu	AI0	C	rychlost proudění chladicího vzduchu
lambda_sonda	AI1	S	množství kyslíku ve spalinách spalovacího motoru
U_generatoru	AI2	M	sdužené napětí generátoru
I_generatoru	AI3	1	fázový proud generátoru
U_baterie	AI4	2	napětí na startovací baterii
Otacky_motoru	DI0	3	otáčky spalovacího motoru
Bezpecnostni_stop	DI1	C	bezpečnostní stop tlačítko
spal_smes	DQ0	P	ovládání spalovací směsi spalovacího motoru PWM
starter	DQ1	U	ovládání startéru
ot_ventilatoru	DQ2	1	ovládání otáček ventilátoru PWM
zapalovani	DQ3	2	povolení, blokování zapalování spalovacího motoru
Stykac	DQ4	C	ovládání stykače pro připojení měniče k spotřebiči

4.1.1 Podmínky pro start a provoz

Vytvořený algoritmus pro řízení bude proveden tak, aby jeho přednostní režim byl autonomní provoz kogenerační jednotky. Ten při spuštění a posléze při běhu bude sledovat stav kogenerační jednotky a kontrolovat, jestli se měřené veličiny nacházejí v zadaných mezích. Při kritických chybách neumožňujících kontrolovaný chod kogenerační jednotky zastaví běh motoru, znemožní startování a zobrazí varovné hlášení o chybě. Při méně závažných poruchách informativního charakteru pouze zobrazí varovné hlášení.

4.1.2 Regulace spalovací směsi

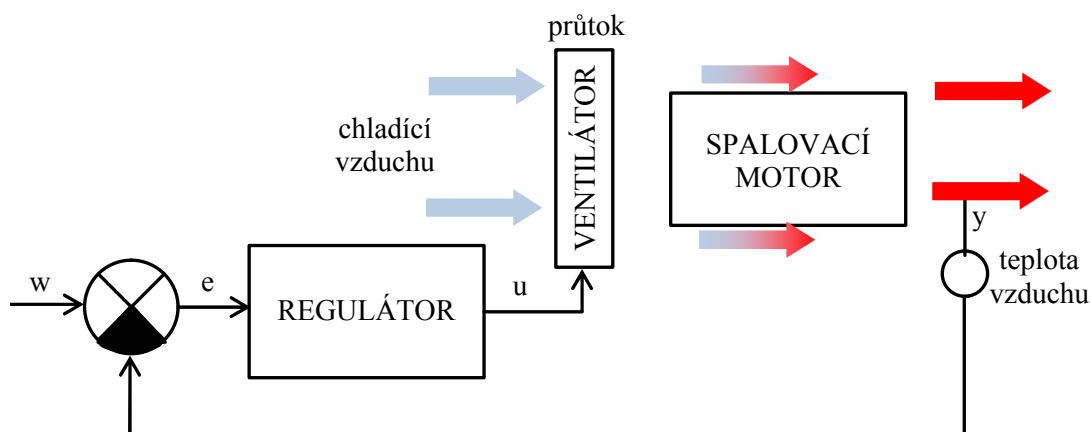
Pro zvýšení účinnosti spalovacího motoru bude řídicí systém umožňovat nastavení a regulaci spalovací směsi na základě změřených hodnot zbytkového kyslíku ve výfukových plynech. Regulace bude udržovat stechiometrickou spalovací směs, při které je největší účinnost spalování a nejmenší spotřeba paliva. Stechiometrická směs pro spalování benzínu je 14,7 kg vzduchu na 1 kg paliva, pro spalování zemního plynu je 9,55 m³ vzduchu na 1 m³ při teplotě 0 °C a tlaku 101325 Pa. Při této hodnotě odpovídá napětí na lambda sondě hodnotě v rozmezí 0,2 až 0,7 V.



Obrázek 24: Blokové schéma regulace spalovací směsi

4.1.3 Regulace teploty okolního vzduchu

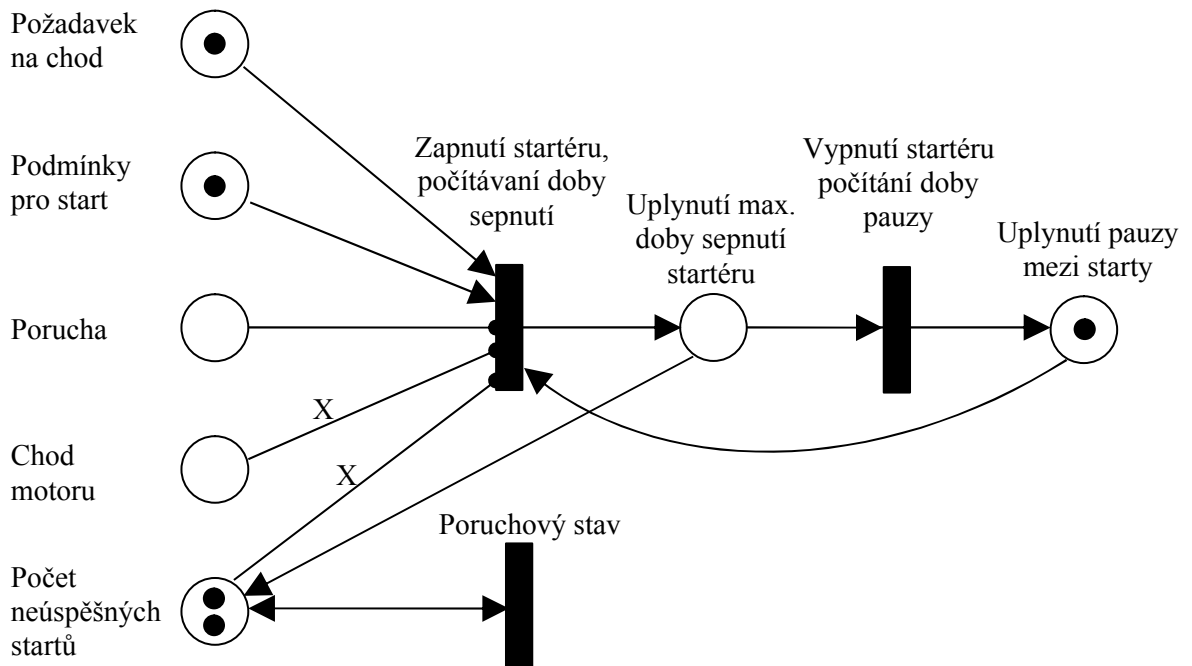
Výrobce spalovacího motoru udává maximální teplotu okolního vzduchu pro provozování zařízení 40 °C. Nejnižší z povolených maximálních teplot ostatních součástí vytvořené kogenerační jednotky jako jsou čidla a kabely je podle výrobce 70 °C, tudíž regulační hodnota se bude řídit podle výrobce spalovacího motoru. Řídicí systém bude schopen nastavit a udržet požadovanou teplotu protékajícího ohřátého vzduchu. Regulace bude spočívat ve změně rychlosti proudění chladicího vzduchu, která bude řízena pulzně šířkovou modulací přivedenou na ventilátor zajišťující nucenou cirkulaci chladicího vzduchu.



Obrázek 25: Blokové schéma regulace teploty okolního vzduchu

4.1.4 Startovací sekvence

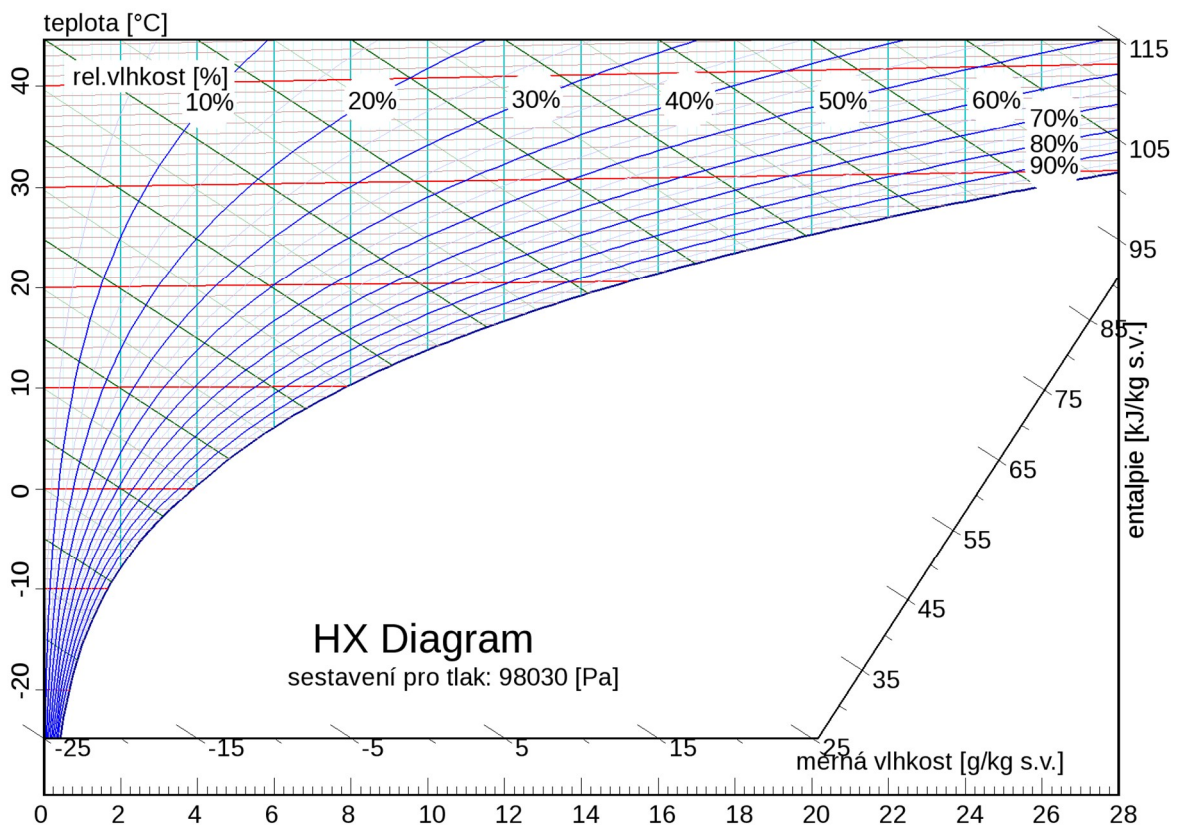
Kogenerační jednotka bude v základním automatickém režimu ovládána externím signálem nadřazeného systému, který bude řídit její najetí a zastavení. Po přepnutí do ručního provozu již, systém nebude reagovat na externí signál požadavku na chod, ale bude umožněno z vizualizace ručně ovládat najetí a zastavení kogenerační jednotky . Spalovací motor má výrobcem předepsané maximální a minimální časy pro startování, které se musí dodržet. Je to zejména maximální doba sepnutí startéru, která nesmí překročit 5 s a pauza mezi jednotlivými starty musí být delší než 10 s, počet pokusů o start výrobcem není omezen. Řídicí systém bude umožňovat nastavení těchto časů v jejich limitech a nastavení maximálního počtu pokusů o start spalovacího motoru. Kdykoliv se od začátku prvního spuštění startéru zjistí chod motoru, vypne se startér a zablokuje se jeho další spuštění do rozběhlého spalovacího motoru. V případě že systém nezaznamená chod motoru ani po skončení posledního pokusu o start spalovacího motoru, zablokuje spuštění další sekvence pokusů o start a zobrazí poruchovou zprávu o neúspěšnosti startování. Ruční ovládání startování zůstává povoleno, zadaným stisknutím startovacího tlačítka se však nespustí celá sekvence ale pouze jeden pokus na jeden požadavek.



Obrázek 26: Zobrazení startovací sekvence Petriho síti po dvou neúspěšných startech, X označuje nastavitelný maximální povolený počet startů

4.1.5 Výpočet předané tepelné energie

Výpočet předávaného tepla spalovacím motorem chladicímu vzduchu se vypočte jako rozdíl entalpie ohřátého vlhkého vzduchu a entalpie přivodního vlhkého vzduchu vynásobena hmotnostním množstvím vzduchu protékajícím kolem spalovacího motoru za jednu sekundu. Pro přesný výpočet by se měla měřit mimo teplotu a rychlost proudění vzduchu, také tlak a vlhkost vzduchu. Pro tento případ je hodnota předávaného tepla pouze informativní, a proto se výpočet bude provádět pouze ze změřených teplot a rychlosti proudění. Tlak vzduchu určíme z nadmořské výšky instalace měření, kdy nadmořské výšce 270 m.n.v odpovídá atmosférický tlak 98030 Pa. Z rychlosti proudění vlhkého vzduchu a průřezu potrubí vypočteme objemový průtok. Ze zlinearizované křivky závislosti teploty a hustoty průměrné roční vlhkosti vzduchu vypočteme hustotu vlhkého vzduchu (zanedbáním přesné vlhkosti vzduchu vnášíme chybu maximálně 1,4 %), kterou vynásobíme objemovým průtokem a získáme hmotnostní průtok vlhkého vzduchu. Z Mollierova h-x diagramu pro atmosférický tlak 98030 Pa v rozmezí -20 až +40 °C vyplývá pro ohřev 1 kg vlhkého vzduchu téměř lineární závislost při jakékoliv vlhkosti vzduchu, která činí 1 kJ/kgK. Z této závislosti při daném atmosférickém tlaku 98030 Pa vyplývá, že pro výpočet předávané tepelné energie stačí vynásobit hmotnostní průtok za sekundu rozdílem teplot ohřátého a vstupního chladicího vlhkého vzduchu.



Obrázek 27: Mollierův h-x diagram vlhkého vzduchu [8]

4.2 Implementace

Vzhledem k vybranému hardwaru byl použit pro implementaci řídicího softwaru TIA Portál V13 od společnosti Siemens. TIA - Totally Integrated Automation obsahuje STEP 7 Professional pro programování PLC a WinCC Basic pro tvorbu vizualizací pro HMI panely. Navržený software byl implementován pomocí grafického jazyka Ladder diagram.

4.2.1 Vytvoření hardwarové konfigurace

Prvním krokem před samotným programováním je vytvoření hardwarové konfigurace skutečného provedení PLC. Z hardwarového katalogu se podle projektové dokumentace vyberou příslušné moduly se stejným typem a objednacím číslem, ale určení verze firmwaru se musí nastavit podle fyzického modulu. Po dodání modulu s CPU, bylo zjištěno, že tato verze firmwaru neumožňuje libovolné přiřazení vstupů a výstupů k vysokorychlostním čítačům a generátorům PWM. Proto bylo třeba je před dalšími kroky aktivovat, aby se při implementaci tyto vstupy neobsadily k jiným účelům. U vysokorychlostního čítače využívaného jako vstup z indukčního snímače otáček, se nastavil typ čítání "Frekvence" s měřicí periodou 1 s. Generátory PWM budou ovládat ventilátor chladícího vzduchu spalovacího motoru a servopohon řízení spalovací směsi. U těchto generátorů se nastaví jejich název, perioda výstupního signálu a formát řízení šířky pulzu.

4.2.2 Vytvoření hlavních bloků a jejich funkce v programu

Implementovaný software je rozdělen kvůli funkčnosti a přehlednosti do několika bloků. Vývojové prostředí umožňuje pracovat s několika typy bloků jako je Organizační blok (OB), Funkce (FC), Funkční blok (FB), Datové bloky (DB), systémové funkční bloky a funkce (SFB, SFC). V řídicím systému jsou použity organizační bloky (OB), které jsou volány operačním systémem PLC v daných nebo zadaných časových intervalech, nebo za určitých událostí jako je přerušení, chyba programu atd. Další použité bloky jsou funkce (FC), které obsahují uživatelský program bez pevně přidělené paměti. Poslední typ použitých bloků jsou datové bloky (DB), které obsahují uživatelská data v pevných místech paměti.

OB1 - Základní cyklicky se opakující organizační blok, ve kterém se volají všechny funkce.

OB30 - Cyklicky se spouštějící blok v periodě 100 ms, obsahující PID regulaci spalovací směsi.

OB31 - Cyklicky se spouštějící blok v periodě 100 ms, obsahující PID regulaci teploty chladícího vzduchu.

FC1 - Funkce zajišťující převedení vstupních signálů z analogových snímačů na reálnou hodnotu odpovídající měřené veličině pomocí konverzních, škálovacích a normalizačních instrukcí.

FC2 - Funkce zajišťující převedení vstupních signálů z termočlávkových teploměru z datového typu Integer na datový typ Real odpovídající měřené teplotě.

- FC3 - Funkce vyhodnocuje poruchové a varovné stavy z měřených veličin podle zadaných parametrů. Slouží hlavně pro vizualizaci.
- FC4 - Funkce v níž se provádí startovací sekvence spalovacího motoru.
- FC5 - Funkce v níž se provádí výpočet tepelné energie předané spalovacím motorem chladicímu vzduchu.
- DB2 - Datový blok, v němž jsou uložena data, proměnné a mezní parametry související s regulací a provozem mikrokogenerační jednotky.
- DB3 - Datový blok, v němž jsou uloženy veškeré měřené a převedené hodnoty z analogových vstupů termočlánků.
- DB10 - Datový blok, v němž jsou uloženy veškeré měřené, přeškálované a vypočtené hodnoty pocházející z analogových vstupů.
- DB11 - Datový blok, v němž jsou uloženy veškeré hodnoty a výpočty související s poruchovými stavy.

4.2.3 Výpočet tepla

Linearizace křivky závislosti měrné hustoty vlhkého vzduchu na teplotě je rozdělena na dvě části. První část je od -20 °C do +20 °C a druhá od +20 °C do +40 °C. Po přiřazení teploty vzduchu v místě instalace snímače rychlosti proudění do první nebo druhé části je teplota pomocí konverzního bloku NORM_X převedena na hodnotu z intervalu 0 až 1. Hodnotě 0 odpovídá v druhé části zlinearizované křivky teplota 20 °C a hodnotě 1 teplota 40 °C. Dále by tato hodnota mohla být převedena pomocí dalšího konverzního bloku SCALE_X, ale závislost měrné hustoty vzduchu na teplotě je nepřímo úměrná a konverzní blok SCALE_X umí převádět jenom přímo úměrnou závislost, je třeba převést hodnotu z intervalu 0 až 1 na interval 1 až 0. Tato konverze byla provedena odečtením čísla 1 a následnou negací, takto upravená hodnota již může být přivedena ke konverznímu bloku SCALE_X a převedena na měrnou hustotu vlhkého vzduchu odpovídající změřené teplotě. Měrná hustota je pak vynásobena objemovým průtokem chladícího vzduchu a rozdílem teplot ohřátého a přivedeného vzduchu. Z tohoto vzorce dostaneme předávané teplo spalovacím motorem chladicímu vzduchu v kW.

4.2.4 Regulace

Pro regulaci teploty chladicího vzduchu a pro řízení spalovací směsi jsou použity technologické objekty typu PID Compact, používající pro výpočet výstupní hodnoty vzorec:

$$y = K_p \left[(b \cdot w - x) + \frac{1}{T_I \cdot s} (w - x) + \frac{T_D \cdot s}{a \cdot T_D \cdot s + 1} (c \cdot w - x) \right]$$

w - žádaná hodnota

a - derivační koeficient ($T_I = a \cdot T_D$)

x - hodnota regulované veličiny

b - proporcionální váhový faktor

K_p - proporcionální zesílení

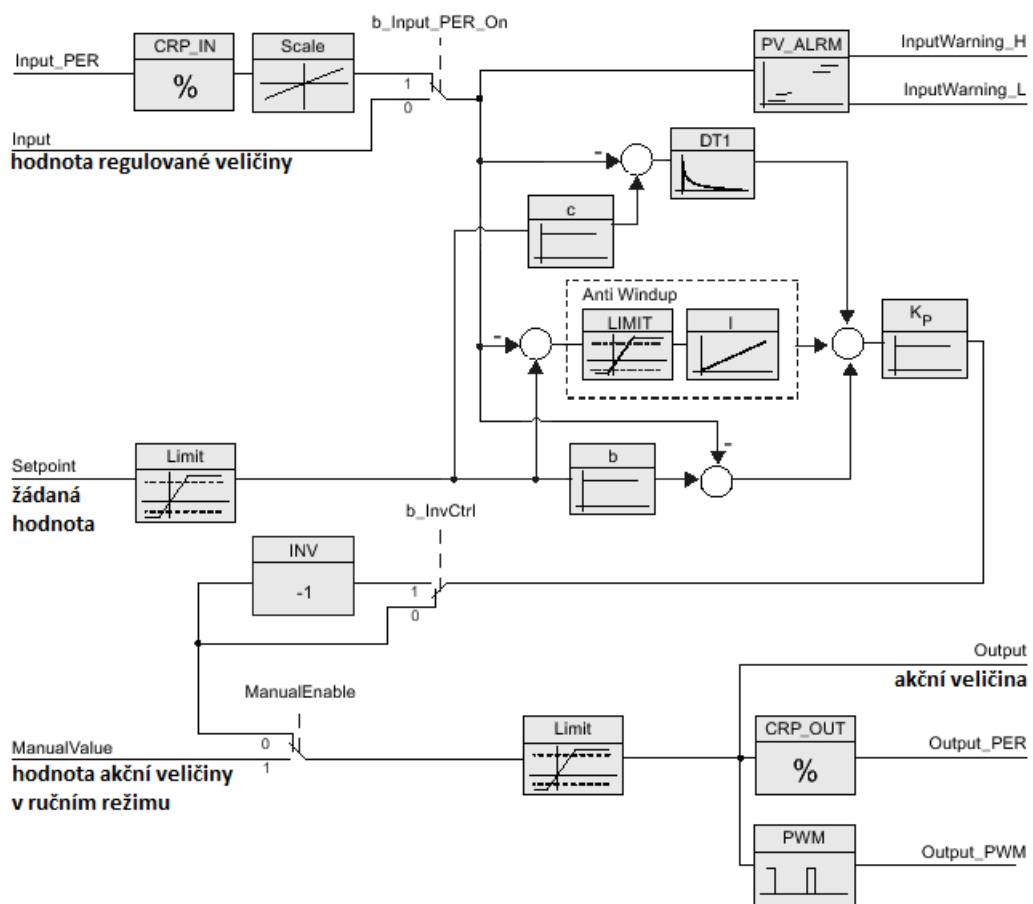
c - derivační váhový faktor

T_D - derivační časová konstanta

s - Laplaceův operátor

T_I - integrační časová konstanta

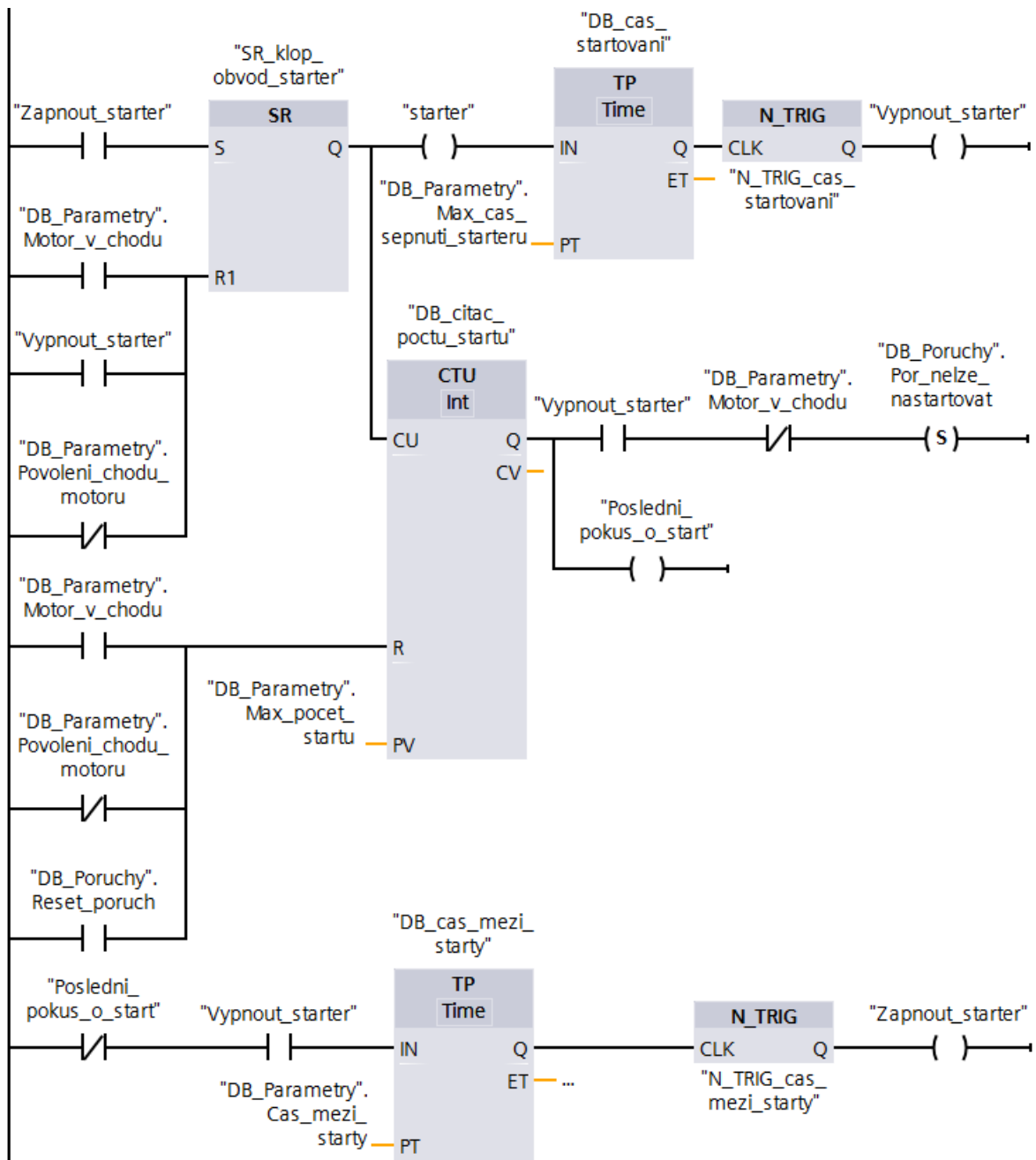
y - výstupní hodnota regulace



Obrázek 28: Blokové schéma technologického objektu PID Compact [30]

4.2.5 Startovací sekvence

Pro implementaci startovací sekvence jak znázorňuje Obrázek 29, byly použity dva časovače označené TP, jeden čítač označený CTU, jeden klopný obvod SR a dva obvody reagující na sestupnou hranu označené N_TRIG. Horní časovač slouží k hlídání maximální doby sepnutí startéru a dolní k hlídání dodržení minimální pauzy mezi pokusy o start. Klopný obvod SR je využit pro spínání a blokování startéru.



Obrázek 29: Implementace startovací sekvence v Ladder diagramu [30]

5 Návrh a realizace monitorování procesních dat

Provoz a řízení kogenerační jednotky je jednou z částí realizované sítě alternativních energetických jednotek, které mají společnou vizualizaci v programu od firmy mySCADA Technologies s.r.o.. K vytvoření vizualizační aplikace byl pro jednotnost použitý software myPROJECT Designer od firmy mySCADA Technologies s.r.o. Tento software je multiplatformní, umožňuje komunikaci s mnoha typy PLC včetně Ethernet/ IP, Siemens S7, Modbus, Melsec, Toypuc a OPC UA. Podporuje webové standardy jako je HTML5, JavaScript a SVG. Pracuje na libovolném zařízení od stolních počítačů, operátorských panelů, serverů, smart phonů a tabletů, nebo na mini kompaktních počítačích jako je Raspberry. Software mySCADA používá vektorovou grafiku, díky níž lze zobrazovat stejnou aplikaci na různých zařízeních s odlišným rozlišením zobrazování.

5.1 Návrh

Požadavky na návrh monitorování:

- Vizualizace musí zobrazovat všechny naměřené a vypočtené hodnoty, které přehledně zobrazí, nejlépe na místě umístěného snímače v technologii.
- Zobrazovat stavy a chod jednotlivých částí technologie.
- Zobrazení a archivace časových trendů všech zobrazovaných hodnot.
- Informovat o procesních a systémových podmínkách pomocí varovných a alarmových hlášení.
- Zobrazovat a editovat provozní parametry umožňující nastavení regulace, servisních intervalů, varovných a alarmových stavů.

Vizualizace řízení by měla co nejvíce odpovídat provozované technologii a spolu s jejími hlavními ovládacími a měřicími prvky by měla být zobrazována nejlépe na jedné obrazovce. Ve spodní polovině obrazovky by měla být zobrazena technologie mikrokogenerační jednotky a hodnoty měřených částí umístěných uvnitř uzavřeného prostoru. V horní polovině by měly být zobrazeny ostatní měřené a vypočtené hodnoty spolu s ovládacími prvky a signalizací poruch a varování. Budou zde i ovládací prvky pro zobrazení všech ostatních obrazovek vyskytující se ve vizualizaci. Ovládání provozu zařízení bude provedeno třípolohovým přepínačem zobrazující režimy (ruční, automatický, vypnuto). Ovládání startéru v ručním režimu bude provedeno pomocí dvou tlačítek, pro startování a pro zastavení.

5.2 Realizace

Realizace monitorování byla provedena v softwaru myPROJECT Designer verze 6.2.18. Byla v něm nastavena komunikace s PLC a vytvořeny tagy pro přenos hodnot. Pro zobrazení a ovládání byly sestaveny obrazovky se zakreslenou technologií obsahující ovládací a zobrazovací prvky. Byly vybrány hodnoty, pro něž jsou nastavena alarmová hlášení o jejich stavu. V poslední

části byla vytvořena skupina trendů pro možnost zobrazování a ukládání časových údajů vizualizovaných hodnot.

5.2.1 Komunikace

Prvním krokem pro ve vizualizace bylo vytvoření komunikace a nastavení jejich parametrů. Pro nastavení je nutno zadat:

- název spojení
- typ komunikačního protokolu - "Siemens S7 connection"
- IP adresu PLC
- typ PLC - "S7-1200"
- typ zařízení na kterém poběží vizualizace - "PC"

5.2.2 Databáze tagů

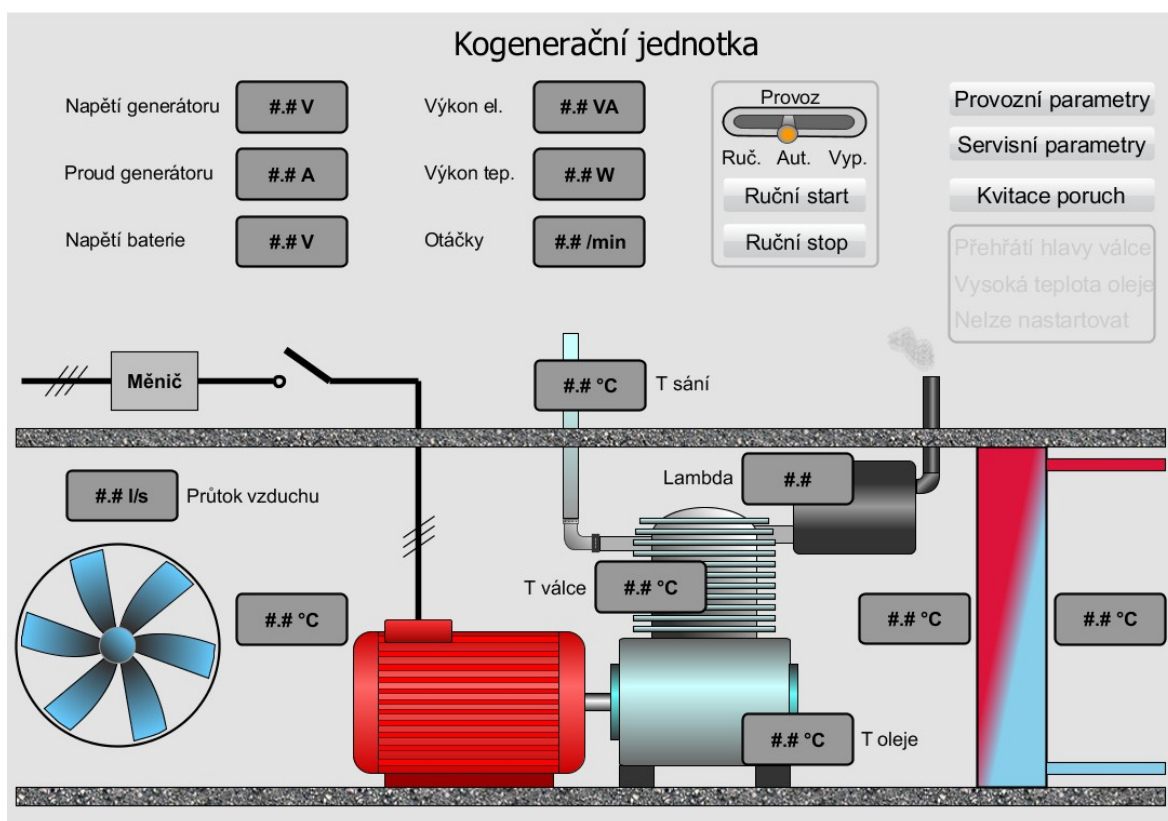
V databázi byly vytvořeny tagy odkazující na hodnoty v PLC. Obsahuje aktuální hodnoty všech položek v databázi, které se můžou načítat, ale také zapisovat do PLC. Pro zobrazení a editaci dat z PLC je nutno zadat u každého tagu adresu umístění jednotlivých hodnot a jejich datový typ. My PROJECT Designer umožňuje načítání hodnot z PLC Siemens ze vstupů, výstupů, paměti, datových bloků, čítačů a časovačů. V databázi je umožněno každý tag škálovat nebo ho použít jako proměnnou ve vzorci a upravit si tak načítaná data na požadovaná zobrazení.

5.2.3 Obrazovky

Hlavní obrazovka - prvním krokem k vytvoření této obrazovky bylo zobrazení technologie kogenerační jednotky. Z důvodu nepřiliš bohaté knihovny komponentů a s cílem co nejpochoptelnějšího zobrazení bylo přistoupeno k vlastnímu nakreslení technologie. Pro vykreslení technologie se používala výhradně vektorová grafika, aby byla zachována kvalitní grafická i textová čitelnost při spuštění na různých zobrazovacích jednotkách s odlišným rozlišením. Na této obrazovce se podařilo umístit celou technologii kogenerační jednotky a všechny měřené a vypočtené údaje, což je nejlepší řešení pro obsluhu konající dohled nad zařízením. Je zde využito animací pro zjištění stavů jednotlivých částí technologie, kdy chod spalovacího motoru je signalizován vycházejícími spaliny z výfuku, pomalejšími pro startování a rychlejšími pro plynulý chod od volnoběžných otáček. Chod ventilátoru je signalizován jeho otáčením a stav stykače pro měnič je signalizován animací pohybů kontaktů. Na této obrazovce jsou umístěna tlačítka pro zobrazení dalších obrazovek trendů, provozních a servisních obrazovek.

Obrazovka s provozními parametry - se otevírá jako nové samostatné okno, aby bylo umožněno při změnách parametrů v pozadí stále sledovat chod kogenerační jednotky. Zde je umožněno měnit žádané hodnoty pro regulaci spalovací směsi a teploty chladícího vzduchu, parametry související se startovací sekvencí a nastavovat limity pro hlídání teplot jednotlivých částí kogenerační jednotky.

Obrazovka se servisními parametry - se také otevírá jako nové samostatné okno a je zaměřena na zadávání period a názvů hlídaných servisních intervalů souvisejících s chodem kogenerační jednotky vztahené k jejím provozním motohodinám.



Obrázek 30: Hlavní obrazovka vizualizace

5.2.4 Alarmy

Alarmy slouží k upozornění na určité podmínky v procesu, kdy došlo k nežádoucím stavům jako například překročení povolené hodnoty, odpojení ochranných prvků v elektroinstalaci, nesplnění zadaných akcí atd. U každého alarmu se dá nastavit upozorňující text, zvuk (u mobilních zařízení i vibrace) a priorita. Pro vytvořenou mikrokogenerační jednotku byly vybrány alarmové stavy pro hlídání nastavitelných mezí teplot válce a oleje a neúspěch při nastartování spalovacího motoru.

5.2.5 Trendy

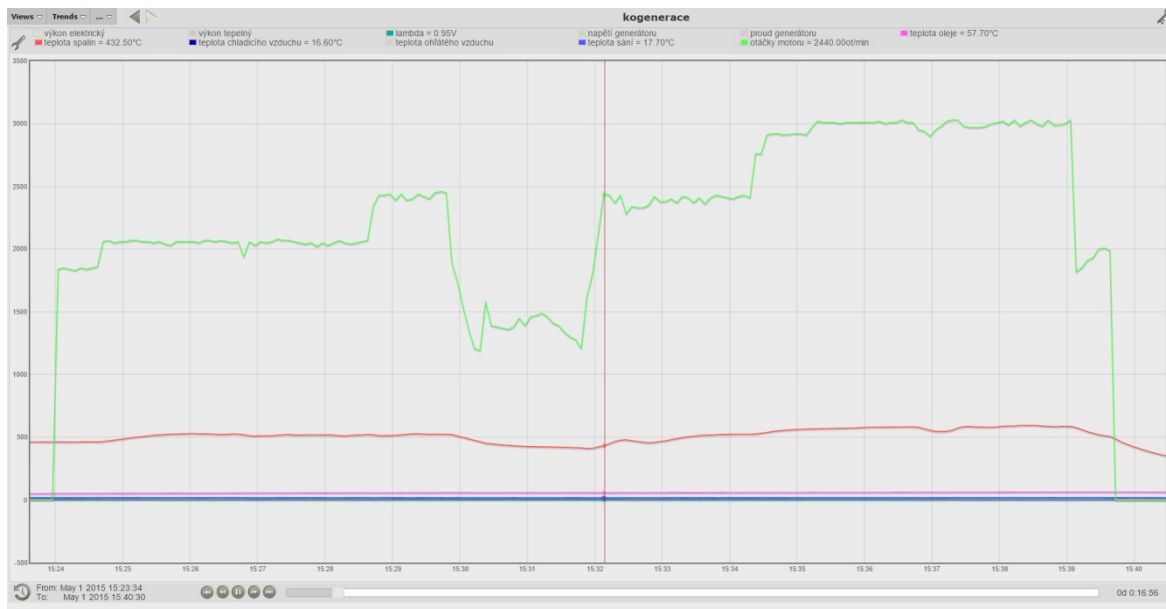
Pro zobrazování a ukládání jednotlivých trendů byly vytvořeny v Datalogu skripty odkazující na tagy jednotlivých přenášených hodnot z PLC, od kterých můžou převzít názvy a jednotky

jednotlivých veličin. Poté byly všechny zobrazované číselné hodnoty přidány do jedné skupiny trendů s nastaveným intervalem ukládání jedna sekunda.

Scripty slouží pro ukládání hodnot podle zadaného časového intervalu ve skupině trendů. Uložené hodnoty trendů lze pro další zpracovávání uložit do tabulky programu Microsoft Office Excel.

Datalog	Tag/Name	Description	Unit	Color	Second Axis	Type
kogenerace	DB2,REAL40@S	výkon elektrický	W	yellow	none	analog
kogenerace	DB2,REAL44@S	výkon tepelný	W	red	none	analog
kogenerace	DB10,REAL8@S	lambda	V	cyan	none	analog
kogenerace	DB10,REAL16@S	napětí generátoru	V	green	none	analog
kogenerace	DB10,REAL20@S	proud generátoru	A	magenta	none	analog
kogenerace	DB3,REAL20@S	teplota oleje	°C	pink	none	analog
kogenerace	DB3,REAL24@S	teplota spalin	°C	orange	none	analog
kogenerace	DB3,REAL0@S	teplota chladicího vzduchu	°C	blue	none	analog
kogenerace	DB3,REAL4@S	teplota ohřátého vzduchu	°C	brown	none	analog
kogenerace	DB3,REAL12@S	teplota sání	°C	purple	none	analog
kogenerace	DB10,DINT4@S	otáčky motoru	ot/min	light green	none	analog

Obrázek 31: Nastavení trendů v programu myPROJECT Designer



Obrázek 32: Ukázka vizualizace trendů

6 Testování

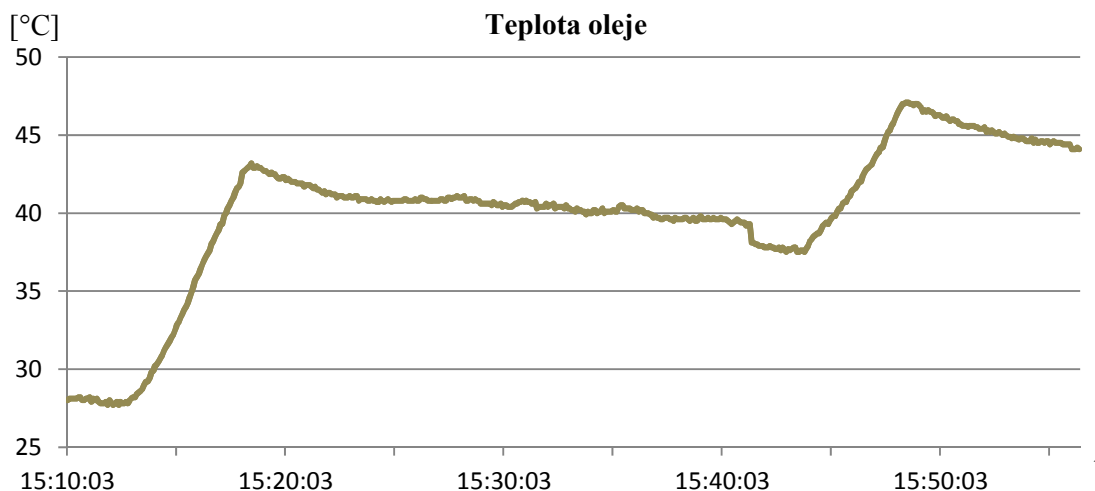
Ověření funkčnosti navrženého řízení a vizualizace procesních dat byla provedena na jednoválcovém čtyřdobém vzduchem chlazeném motoru modelu G340FD s ventilovým rozvodem OHV. Zkušební motor nebyl osazen generátorem a tak zkouška probíhala bez zatížení a měření elektrických veličin.

Technické údaje motoru G340FD:

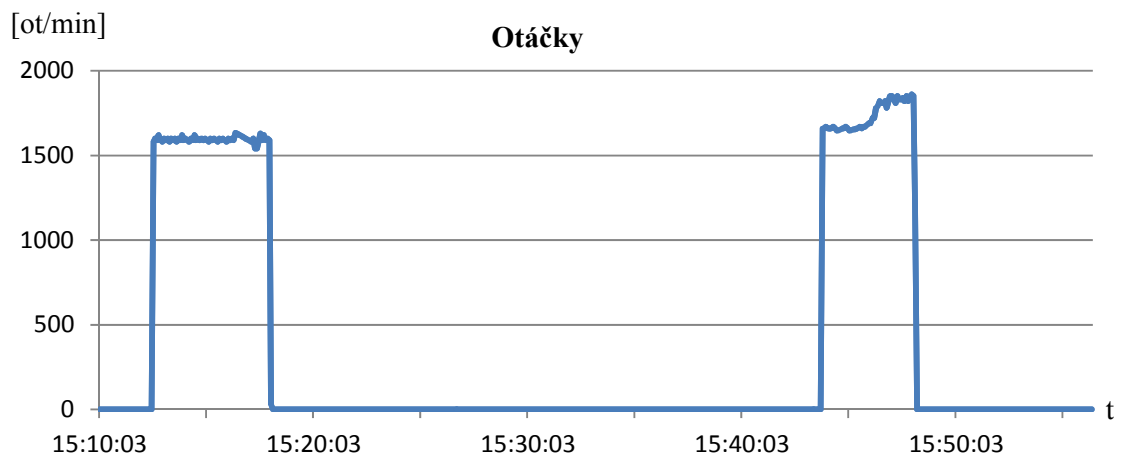
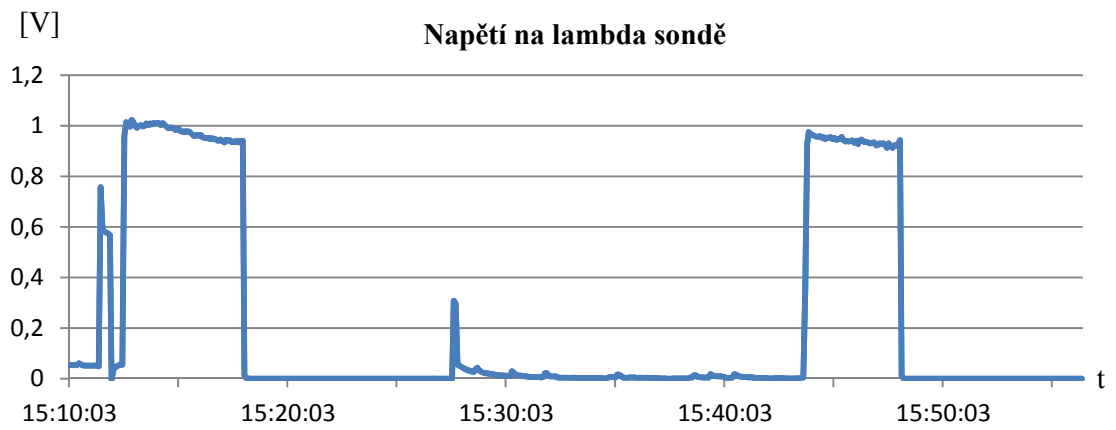
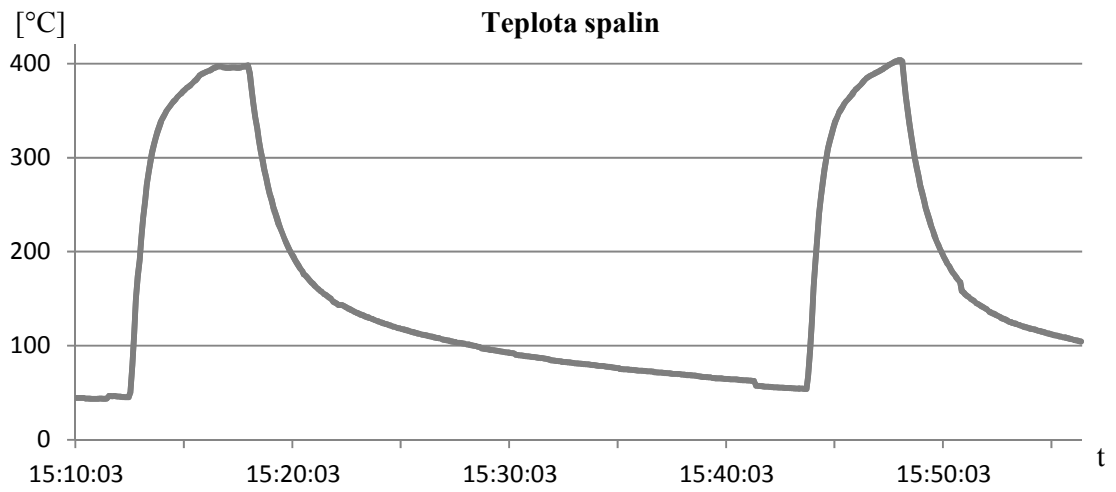
- Výkon 7 kW při 3600 ot/s
- Maximální točivý moment 23,5 Nm při 3000 ot/s
- Zdvihový objem 337 cm³
- Kompresní poměr 8:1
- Spotřeba paliva ≤ 395 g/kW·h

6.1 Testování funkčnosti měřených údajů

Motor byl několikrát spuštěn do provozu a po zahřátí vypnut a při různém stupni vychlazení znovu spuštěn. Při tomto provozu byly zaznamenávány průběhy naměřených hodnot které zobrazuje Obrázek 33 a Obrázek 34. Z těchto naměřených údajů byla ověřena funkčnost snímačů a bylo rovněž zjištěno, že napětí na lambda sondě, se pohybuje okolo průměrné hodnoty 0,94 V. Tato hodnota odpovídá spalovací směsi bohaté na palivo, kvůli dosažení co největšího výkonu spalovacího motoru, což ale vede k vyšší spotřebě paliva.



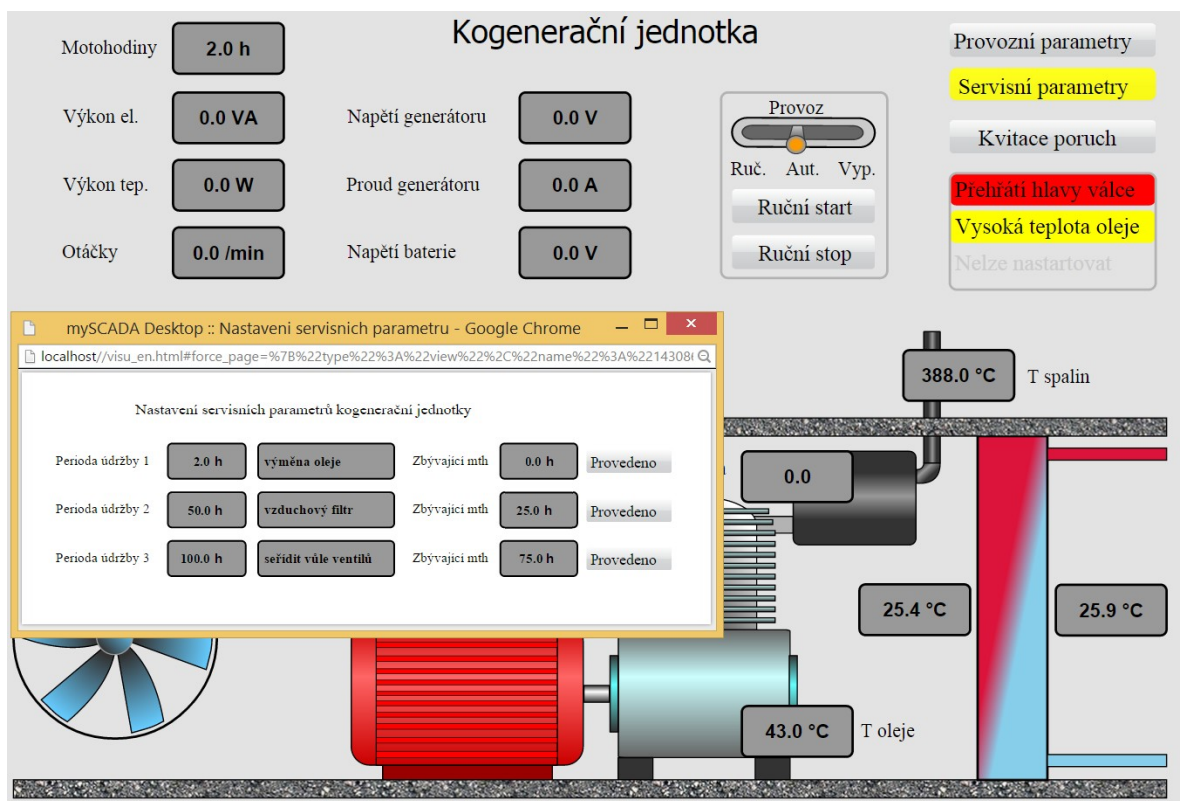
Obrázek 33: Průběh naměřených hodnot



Obrázek 34: Průběhy naměřených hodnot

6.2 Testování varovných a poruchových stavů

Testování bylo provedeno za chodu motoru snížením nastavených maximálních povolených limitů jako je teplota hlavy válce a teplota oleje. Při dosažení teploty hlídanych částí o pět stupňů nižší než je maximální povolená hodnota se zobrazilo varování, které informuje o blížící se maximální hodnotě sledované teploty. Při tomto stavu se neprovede žádný zásah do řízení mikrokogenerační jednotky, jinak je tomu při dosažení maximální povolené teploty, kdy se zobrazí poruchová signalizace a zastaví se spalovací motor. Současně při tomto testování proběhlo ověření hlídání časových intervalů pro nastavenou údržbu mikrokogenerační jednotky. Všechna tato varování informující žlutou barvou a poruchové stavy informující červenou barvou zobrazuje Obrázek 35.



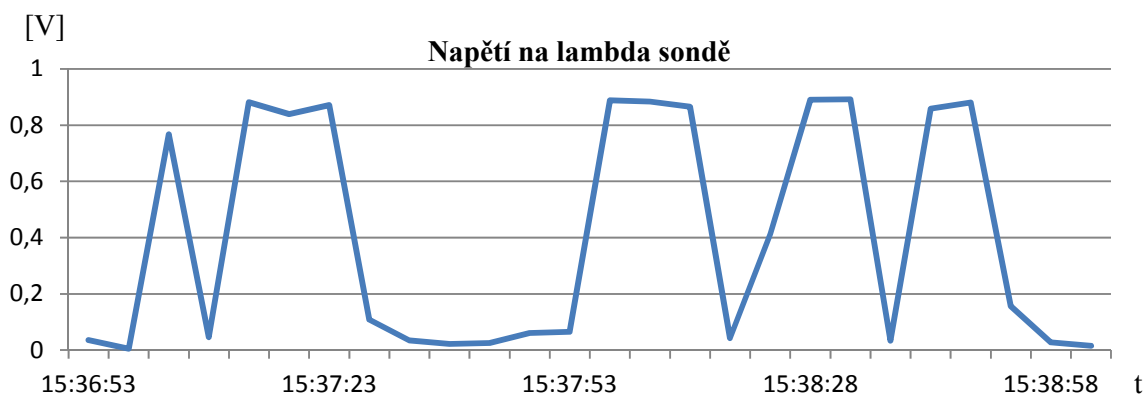
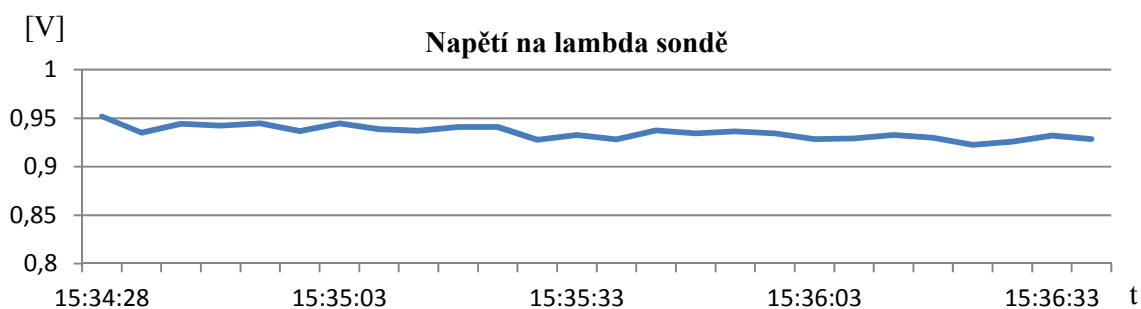
Obrázek 35: Testování varovných a poruchových stavů

6.3 Testování vlivu regulace na spotřebu paliva

Posledním testem bylo zjištění vlivu regulace spalovací směsi na spotřebu paliva spalovacího motoru. Testování proběhlo při zahřátém motoru při dvou hodnotách otáček spalovacího motoru. U každé hodnoty otáček bylo provedeno měření bez vlivu regulace spalovací směsi a druhé měření se zmenšením průchodnosti hlavní trysky v karburátoru a ručním doregulováním škrticí klapkou sytiče na přibližně stechiometrickou spalovací směs. Objemová spotřeba spalovacího motoru byla měřena pomocí pipety (třídy A o objemu 25 ml) připojené ke karburátoru a při testování se měřil čas spotřeby 20 ml benzínu. Následně byla v laboratoři změřena hustota používaného benzínu, s jejíž hodnotou 741 kg/m^3 byla přepočtena objemová spotřeba na hmotnostní. Úspora při regulaci spalovací směsi se pohybovala při 2000 ot/min okolo 13 % a při 3000 ot/min až 26 %.

Tabulka 11: Hodnoty z testování spotřeby paliva

Regulace	Doba chodu	Otáčky	Objemová spotřeba	Hmotnostní spotřeba
bez regulace	125 s	2000 ot/min	0,579 l/h	427 g/h
s regulací	144 s	2000 ot/min	0,500 l/h	370 g/h
bez regulace	55 s	3000 ot/min	1,309 l/h	970 g/h
s regulací	75 s	3000 ot/min	0,960 l/h	711 g/h



Obrázek 36: Napětí na lambda sondě horní průběh bez regulace, spodní průběh s regulací

7 Závěr

Hlavním cílem této práce bylo navrhnout řídicí systém a vizualizaci technologie pro bezobslužný a účinný provoz vytvořené mikrokogenerační jednotky ze vzduchem chlazeným spalovacím motorem. V první části jsem krátce pojednal o výhodách a nevýhodách používaných technologií v mikrokogeneračních jednotkách pro přeměnu energie v palivu na elektrickou energii a teplo. V další části návrhu řídicího systému jsem vybral PLC Simatic S-1200 s CPU 1212C a k němu odpovídající snímače a akční členy, které jsem následně vhodným způsobem umístil na testovaný motor. Pro jednotnost vizualizace realizované sítě alternativních energetických jednotek, jejíž součástí je i navrhovaná mikrokogenerační jednotka, jsem použil doporučený software od firmy mySCADA Technologies. Řídicí systém spolu s vizualizací jsem navrhl tak, aby umožňoval komplexní řízení provozu od jejího ovládní, hlídání poruchových stavů, monitorování trendů až po hlídání servisních intervalů související s provozem spalovacího motoru.

Testování jsem provedl na jednoválcovém čtyřdobém vzduchem chlazeném motoru modelu G340FD. Testovaný motor bohužel nebyl osazen generátorem a ani nebyl umístěn v uzavřeném prostoru. Nebylo mi proto umožněno otestovat jej v zátěži. Protože se mi nepodařilo odzkoušet řídicí systém a vizualizaci komplexně na jednom zařízení, musel jsem měření elektrických veličin provést na jiném zařízení. Ověření výpočtu tepelné energie bylo simulováno ručním nastavením rychlosti proudění chladicího vzduchu a ohříváním teploměru měřícího teplotu vzduchu za spalovacím motorem. Těmito testy a dalšími simulacemi se potvrdilo, že navržený řídicí systém spolu s vizualizací umožňuje vytvořenou mikrokogenerační jednotku bezpečně řídit a monitorovat a je aplikovatelný na obdobné zařízení i s použitím větších výkonů motorů. Testováním spotřeby paliva při nasimulované regulaci spalovací směsi se sice podařilo ušetřit až 26 % paliva, ale tato hodnota byla změřena při nezátíženém motoru a v reálném provozu se tento stav vyskytuje jen krátkou dobu. Reálná úspora při zatížení by se měla pohybovat podle výrobce lambda sond fy BOSH do 15%. Při tomto testování regulace se mi nepodařilo udržet konstantní hodnotu na lambda sondě odpovídající chudé směsi, která se často skokově měnila buď z důvodu složení spalovací směsi velmi blízké stechiometrické, nebo z důvodu nevhodné konstrukce karburátoru pro tuto regulaci. Poněvadž skutečně realizovaná mikrokogenerační jednotka spaluje zemní plyn a její spalovací směs se vytváří mimo karburátor, už jsem se dále s jeho úpravou nezabýval.

Pro lepší účinnost motoru by se měl kromě spalovací směsi řídit také velikost předstihu zapalování, který by měl být závislý na otáčkách a zatížení motoru. Pro větší tepelný zisk ze spalovacího procesu bych osadil výfukové potrubí spalínovým výměníkem chlazeným kapalinou, kterým by se měl tepelný zisk z procesu zvýšit minimálně o 30 % energie obsažené v palivu. Ačkoliv navržený systém pracuje podle požadavků téměř bezchybně, přesto by bylo z finančního hlediska vhodnější použít jiný levnější řídicí systém, nejlépe mikrokontrolér, případně hradlové pole. Důvodem je nepoměr ceny řídicího systému vůči ceně řízeného zařízení, v tomto případě je cena řídicího systému vyšší než cena řízeného zařízení.

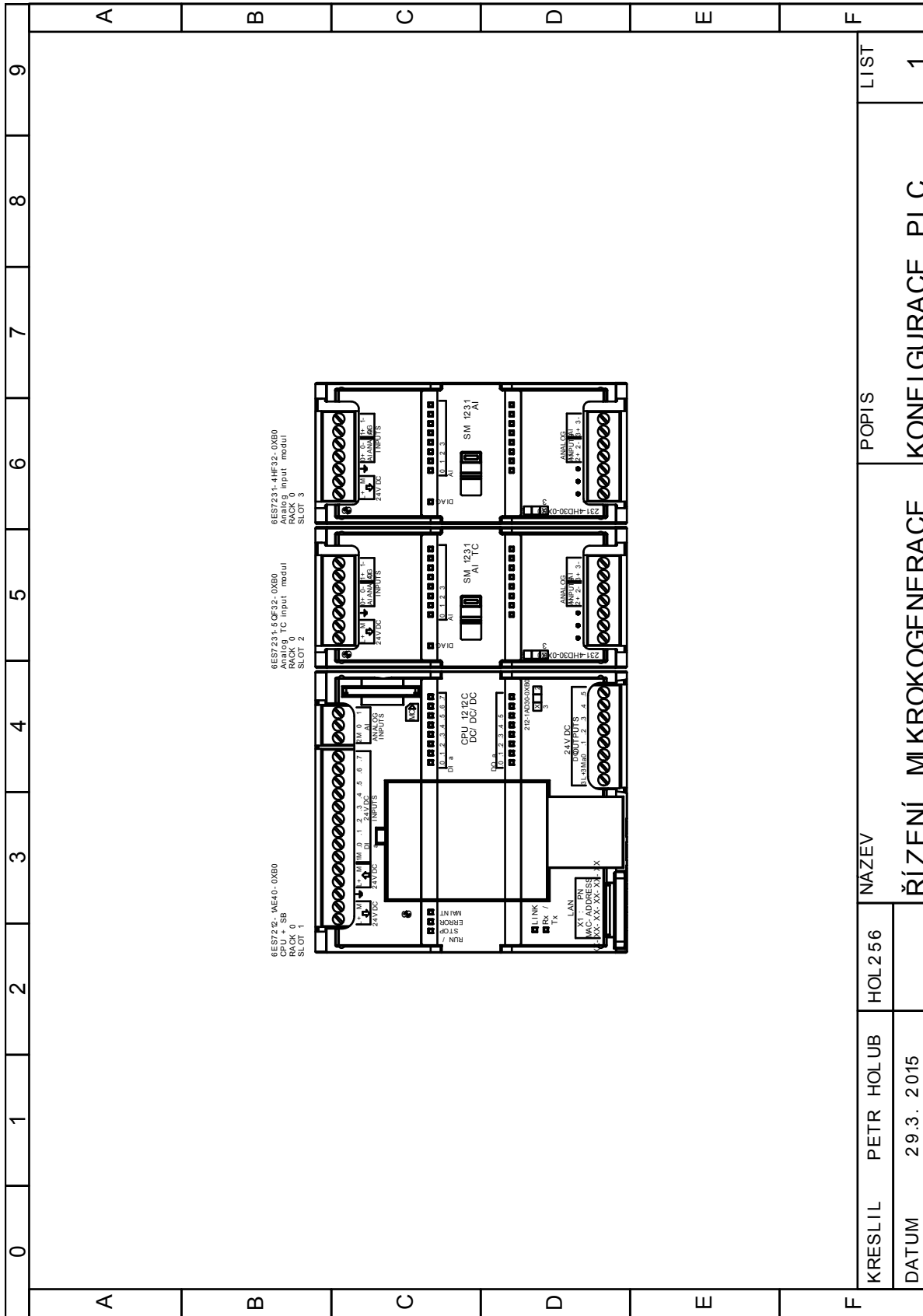
8 Literatura

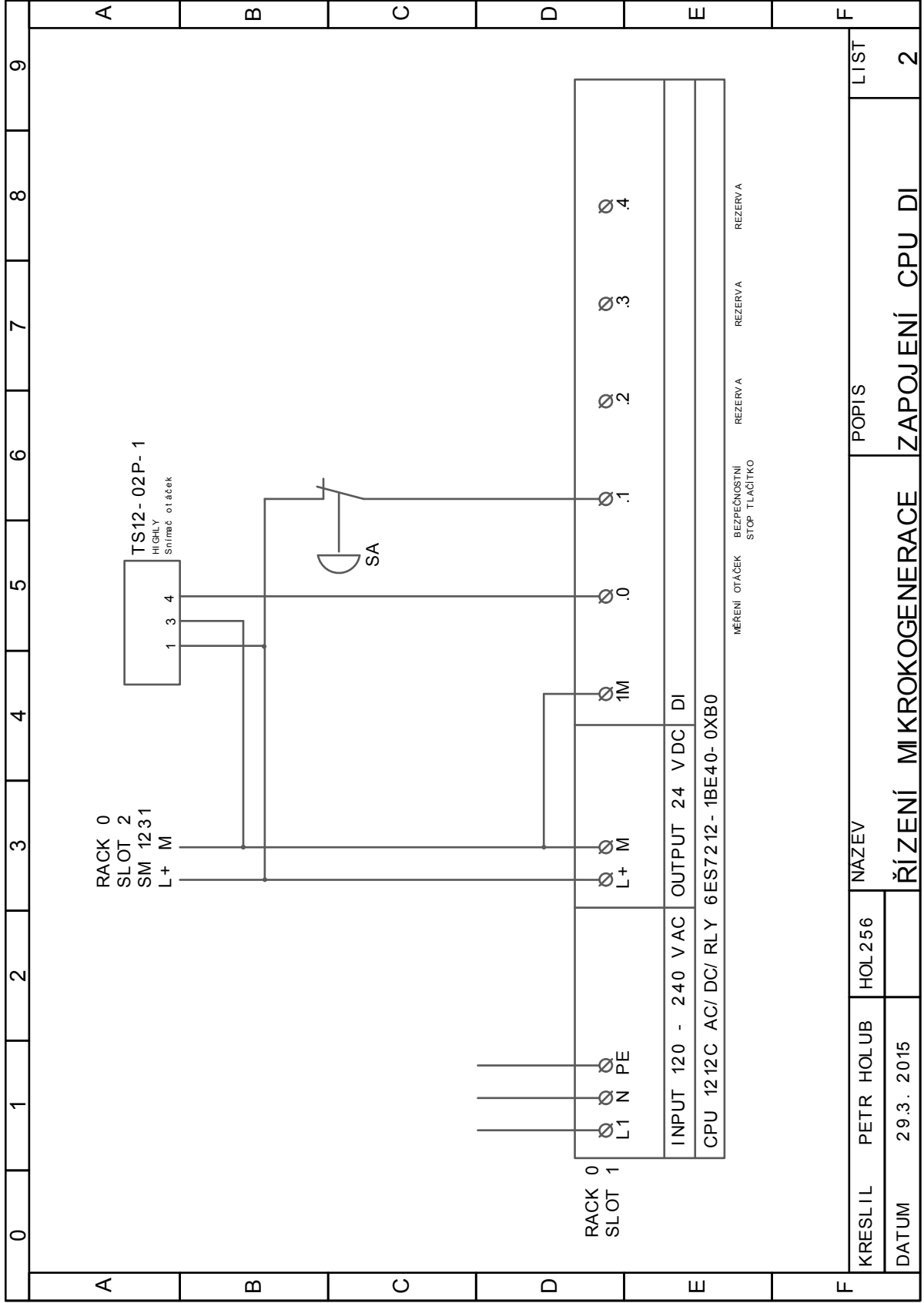
1. DVORSKÝ, Emil; HEJTMÁNKOVÁ, Pavla. *Kombinovaná výroba elektrické a tepelné energie*. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2006. 287 s. ISBN 978-80-7300-118-7.
2. KARAFIÁT, Josef. *Sborník technických řešení zdrojů s kombinovanou výrobou elektřiny a tepla*, Praha: ORTEP, s.r.o., 2006. 66s. <<http://www.mpo-efekt.cz/dokument/15.pdf>>
3. HORÁK, Bohumil; FRIEDRISCHKOVÁ, Kristýna; OTEVŘEL, Vít; SLANINA, Zdeněk; VALA, David. *Smart sítě a jejich infrastruktura*. 1. vyd. VŠB-TU Ostrava, 2014. ISBN 978-80-248-3534-1.
4. CZ Biom. *BIOM.CZ* [online]. [cit. 2014-12-20]. <<http://www.biom.cz/cz/obrazek/agregaty-na-rostlinny-olej-180-kw-250-kw-265-kw>>
5. EkoWATT Praha. *EkoWATT centrum pro obnovitelné zdroje* [online]. [cit. 2014-12-10]. <<http://www.ekowatt.cz>>
6. Topinfo s.r.o.. *tzbinfo* [online]. [cit. 2014-11-29]. <<http://www.tzb-info.cz>>
7. ŠKOPÍK, Jiří. *Transformační technologie* [online]. [cit. 2014-12-27]. <<http://www.transformacni-technologie.cz/>>
8. VOPÁLKA, Karel. *Technika prostředí* [online]. [cit. 2015-2-12]. <<http://www.qpro.cz/Mollieruv-diagram>>
9. *Audiklub.cz* [online]. [cit. 2014-12-20]. <<http://www.audiklub.cz/techwiki/ctyrdoby-zazehovy-motor>>
10. Viessmann, spol. s.r.o. [online]. [cit. 2014-12-20]. <<http://www.viessmann.cz>>
11. STIRLING ENERGY s.r.o. [online]. [cit. 2014-12-20]. <<http://www.stirlingenergy.cz>>
12. Jihočeská univerzita. *eAMOS* [online]. [cit. 2014-12-20]. <<http://www.eamos.pf.jcu.cz>>
13. MAN Diesel & Turbo. *MAN Turbomachinery* [online]. [cit. 2014-12-20]. <<http://www.turbomachinery.man.eu>>
14. RŮŽIČKA, Jan. *TZB-info* [online]. [cit. 2014-12-29]. <<http://www.tzb-info.cz/1247-nova-technologie-pro-vyrobu-elektricke-energie-a-tepla-z-biomasy>>
15. Panasonic Corporation. *Panasonic* [online]. [cit. 2014-12-20]. <http://panasonic.co.jp/ap/FC/en_doc02_02.html>
16. EC POWER A/S. *EC Power* [online]. [cit. 2014-12-20]. <<http://www.ecpower.eu/>>
17. STIRLING ENERGY. *STYRLING ENERGY* [online]. [cit. 2014-12-20]. <<http://www.stirlingenergy.cz/galerie/2012/12.html>>
18. TEDOM a.s.. *TEDOM* [online]. [cit. 2014-12-20]. <<http://kogenerace.tedom.com>>
19. Viessmann, spol. s.r.o.. *Viessmann climate of innovation* [online]. [cit. 2014-12-20]. <<http://www.viessmann.cz>>
20. ARTEK - Massivhausprojekte mit System. *ARTEK Massivhausprojekte mit System* [online]. [cit. 2014-12-20]. <<http://www.artek-massivhaus.de/innotek-viessmann-brennstoffzellen.html>>

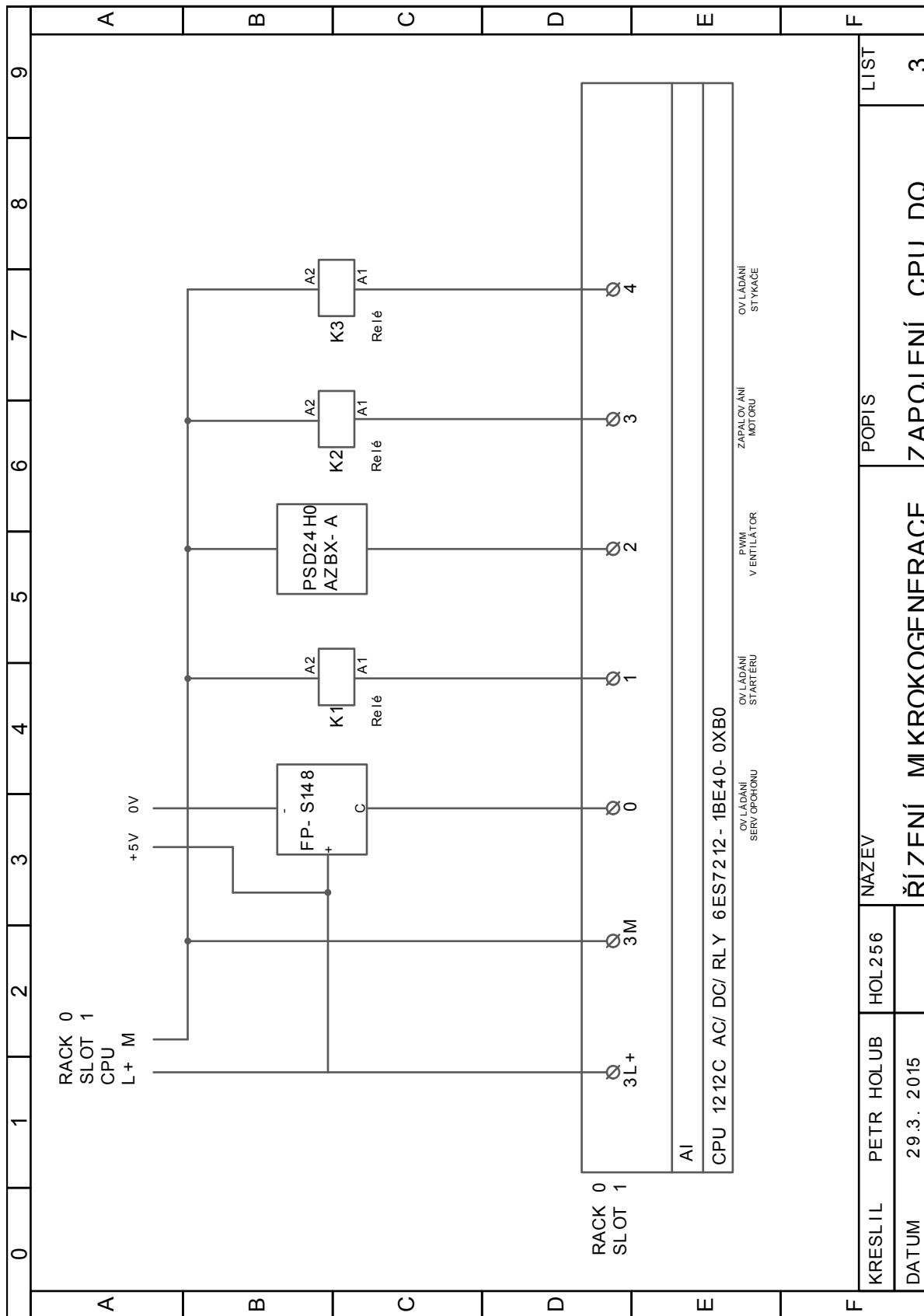
21. GGC ENERGY. *GGC ENERGY* [online]. [cit. 2014-12-20]. <<http://www.ggcenergy.cz/produkty>>
22. MOTORGAS s.r.o.. *motorgas* [online]. [cit. 2014-12-20]. <<http://www.motorgas.cz>>
23. GIESE Energie- und Regeltechnik GmbH. *GIESE Energie- und Regeltechnik GmbH* [online]. [cit. 2014-12-20]. <<http://www.giese-gmbh.de>>
24. *Die BHKW-Infotek* [online]. [cit. 2014-12-20]. <<http://www.bhkw-infothek.de/nachrichten/21622/2012-06-25-der-energator-von-giese-ein-bhkw-urgestein/>>
25. lion energy GmgH & Co. KG. *lion POWERBLOCK* [online]. [cit. 2014-12-20]. <<http://www.powerblock.eu>>
26. *strom prinz* [online]. [cit. 2014-12-20]. <<http://www.strom-prinz.de/news/article/sunmaschine-gmbh-neustart-oder-letztes-aufbaeumen>>
27. Robert Bosch GmbH. *Katalog Bosch Automotive* [online]. [cit. 2014-12-20]. <<http://www.bosch-automotive-catalog.com>>
28. LEM. *Voltage Transducer LV 25-P*. Verze 18, poslední aktualizace 20.11.2012. <<http://www.lem.com/docs/products/lv%2025-p.pdf>>
29. HIGHLY ELECTRIC CO.,LTD. *PROXIMITY SWITCH*. <http://www.highlyelec.com.tw/pic/product/pd44_20130815090418.pdf>
30. Siemens AG. Totally Integrated Automation Portal [software]. Verze 13. Siemens AG, 2014.

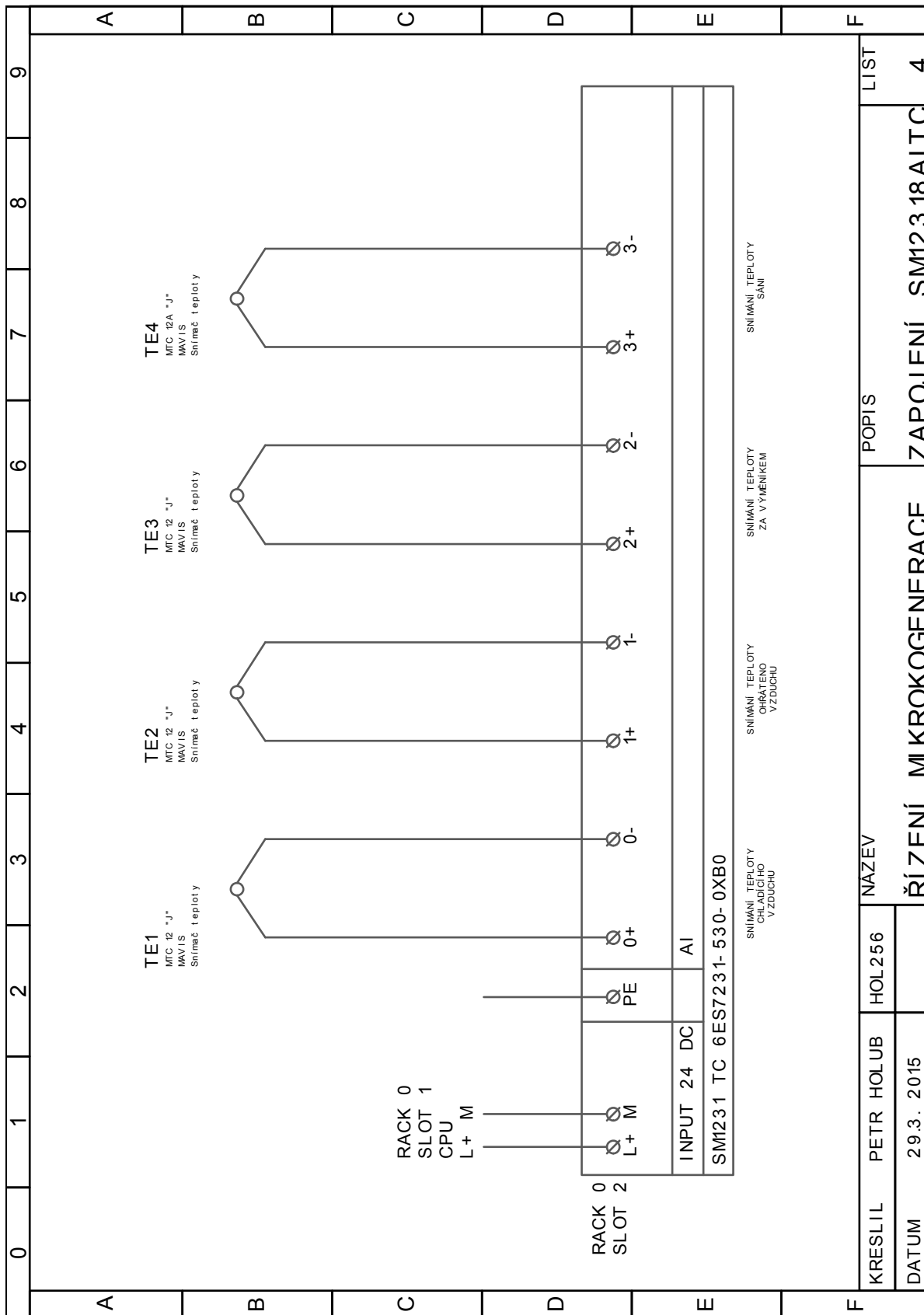
9 Seznam příloh

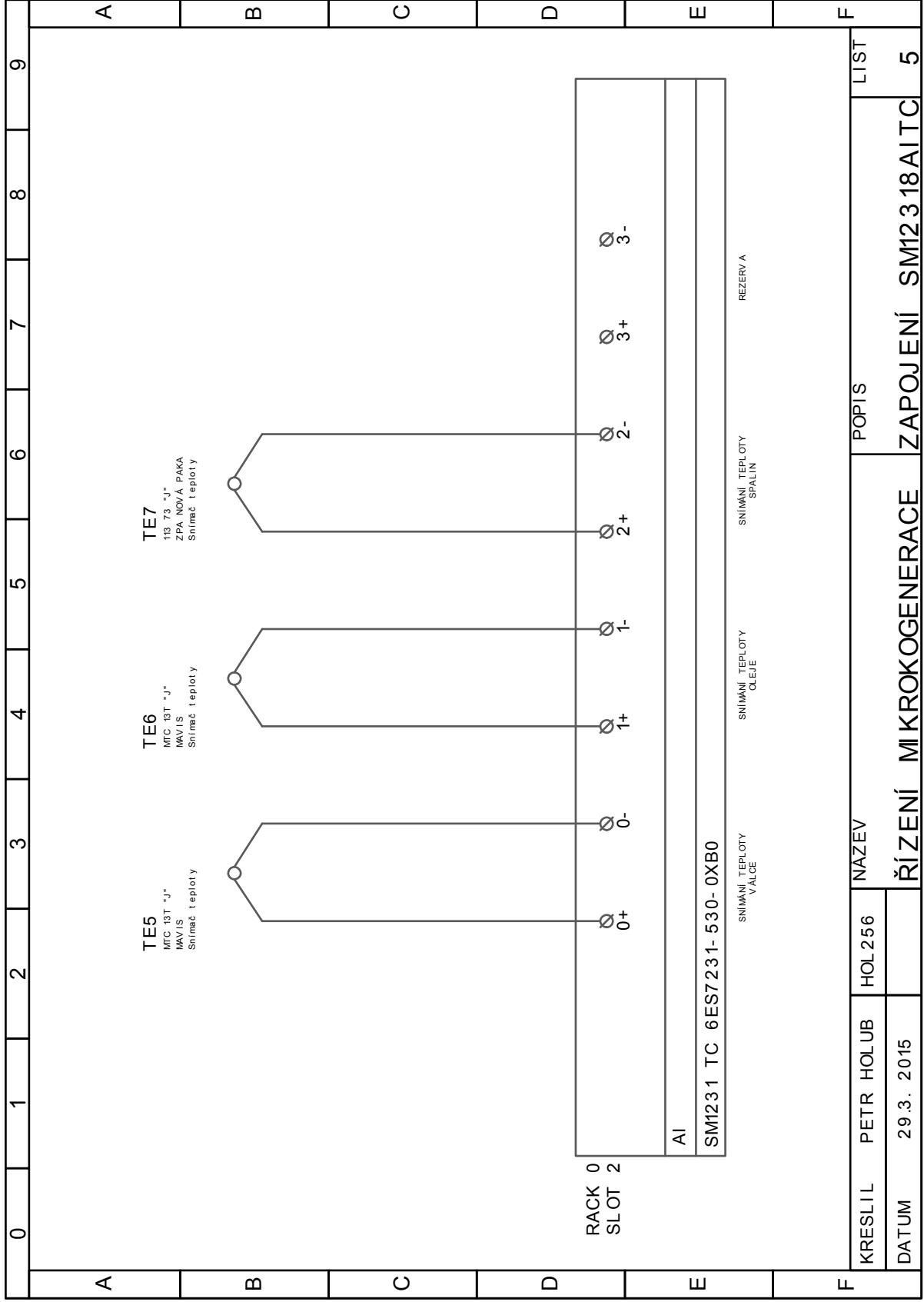
Příloha č. 1	Výkresy projektové dokumentace.....	I
Příloha č. 2	Fotodokumentace testování.....	VIII
Příloha č. 3	Příložené CD	

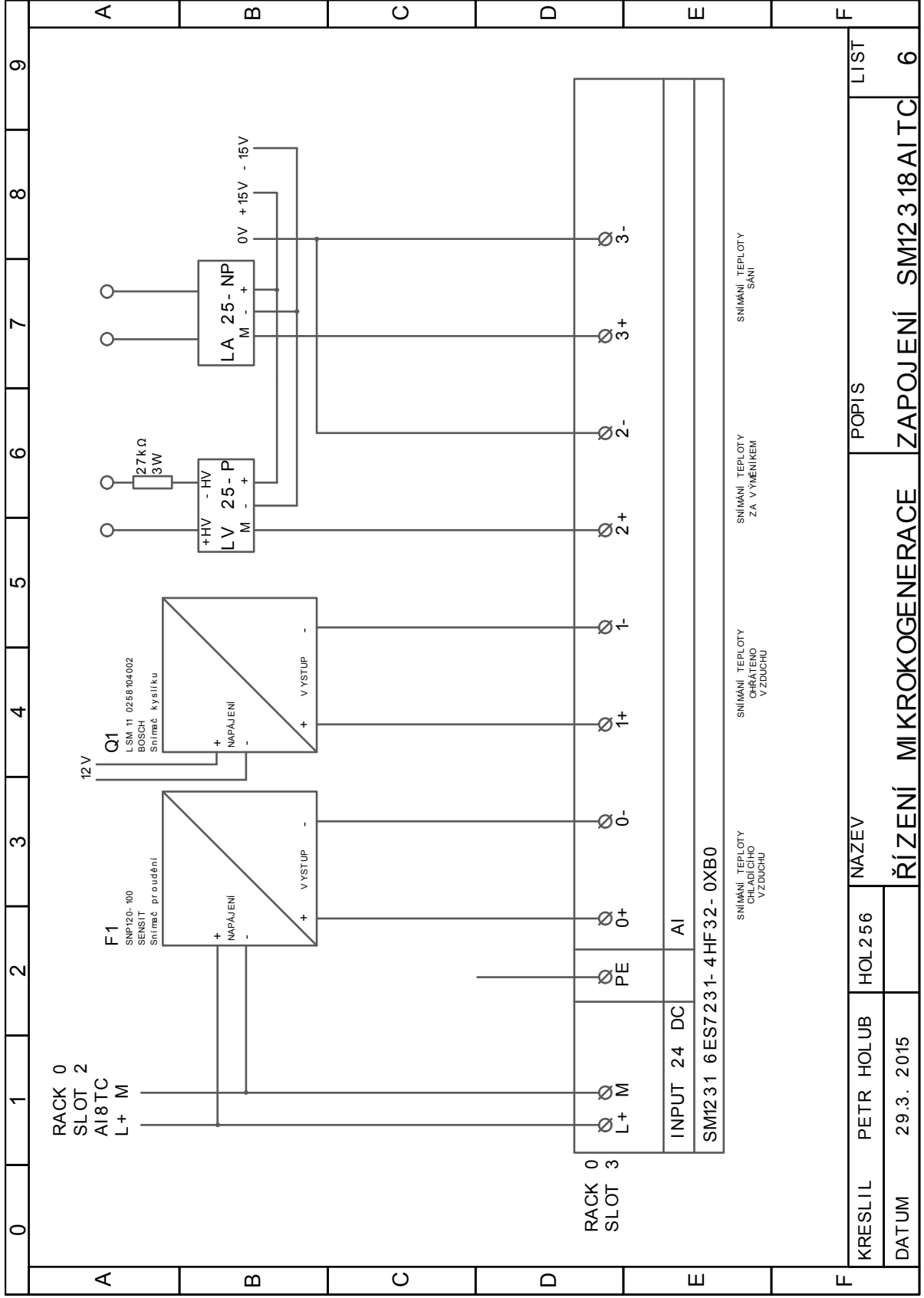


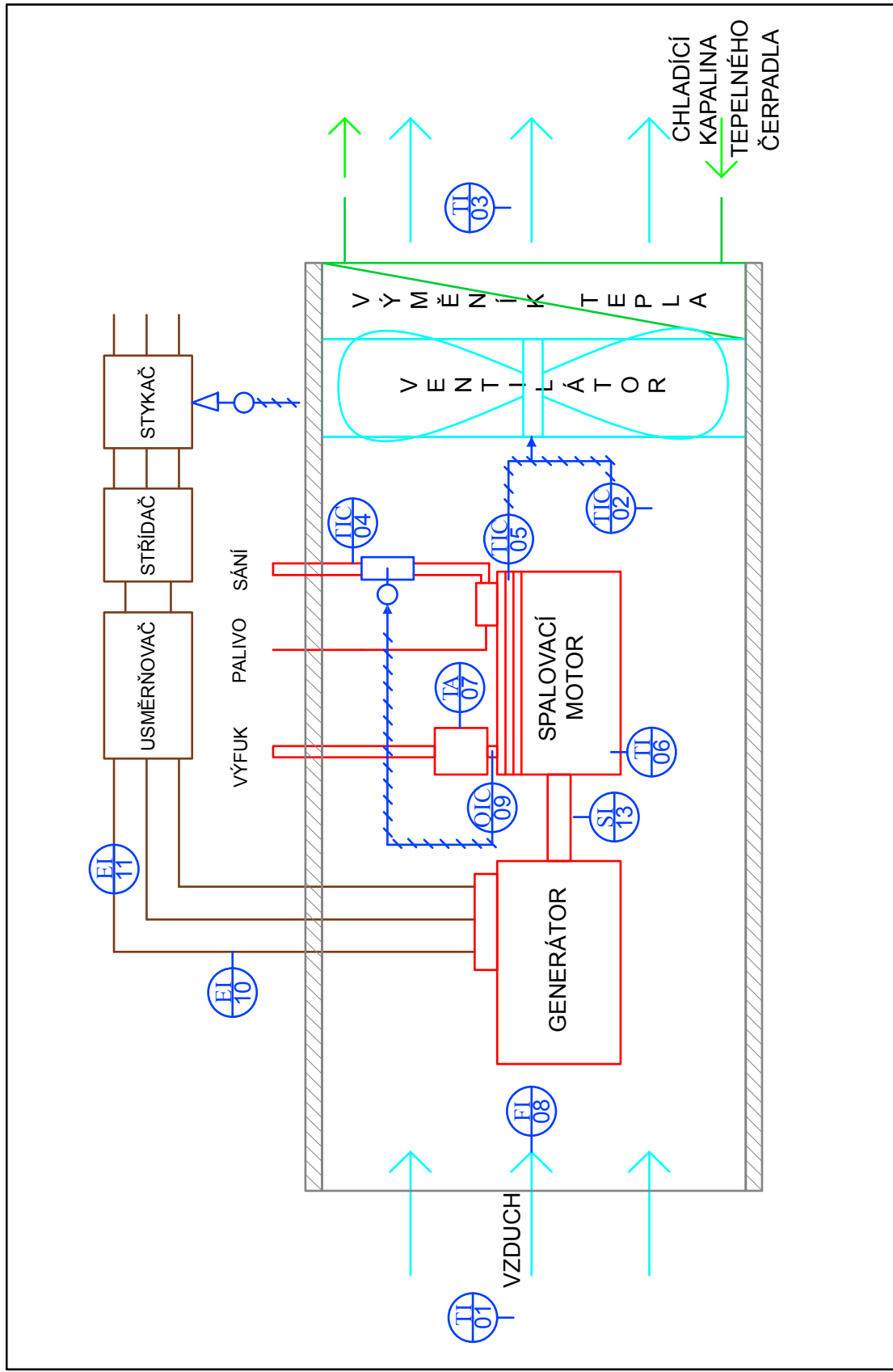








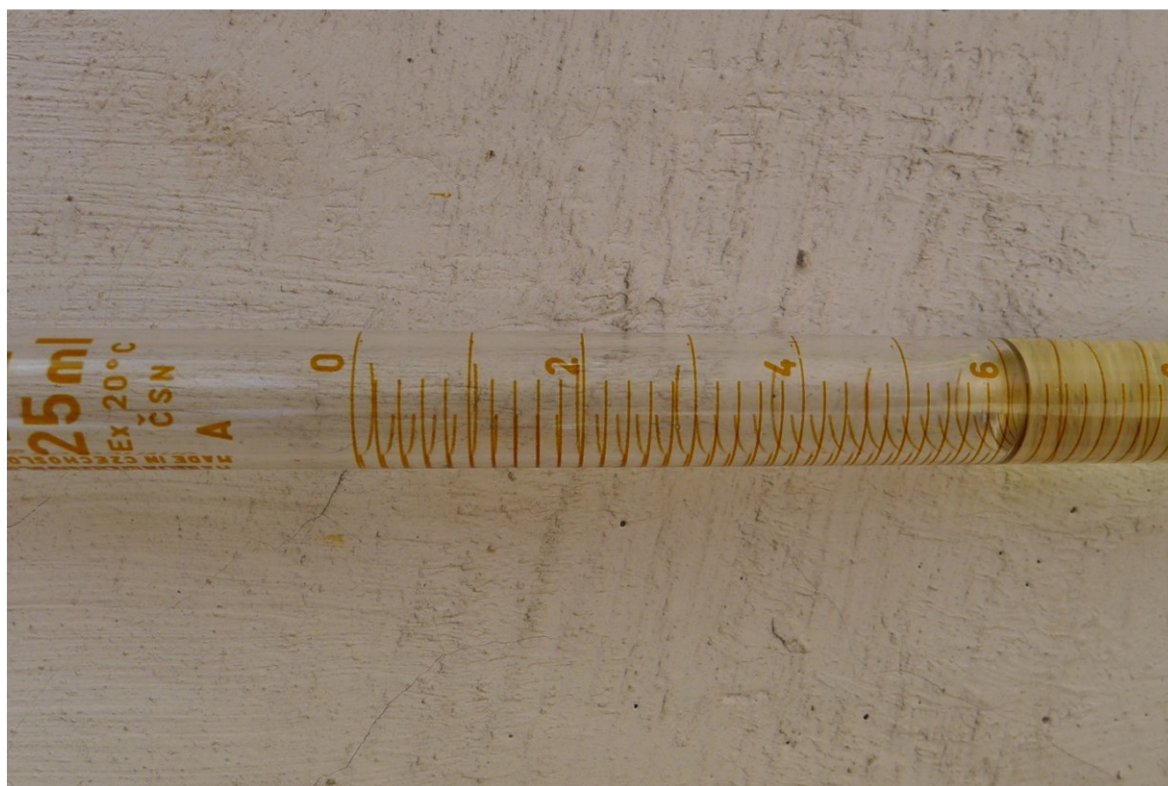




KRESLIL	PETR HOLUB	HOL256	NAZEV	ŘÍZENÍ MIKROKOGENERACE	POPIS	TECHNOLOGICKÉ SCHÉMA	LIST	7
DATUM	29.3.2015							



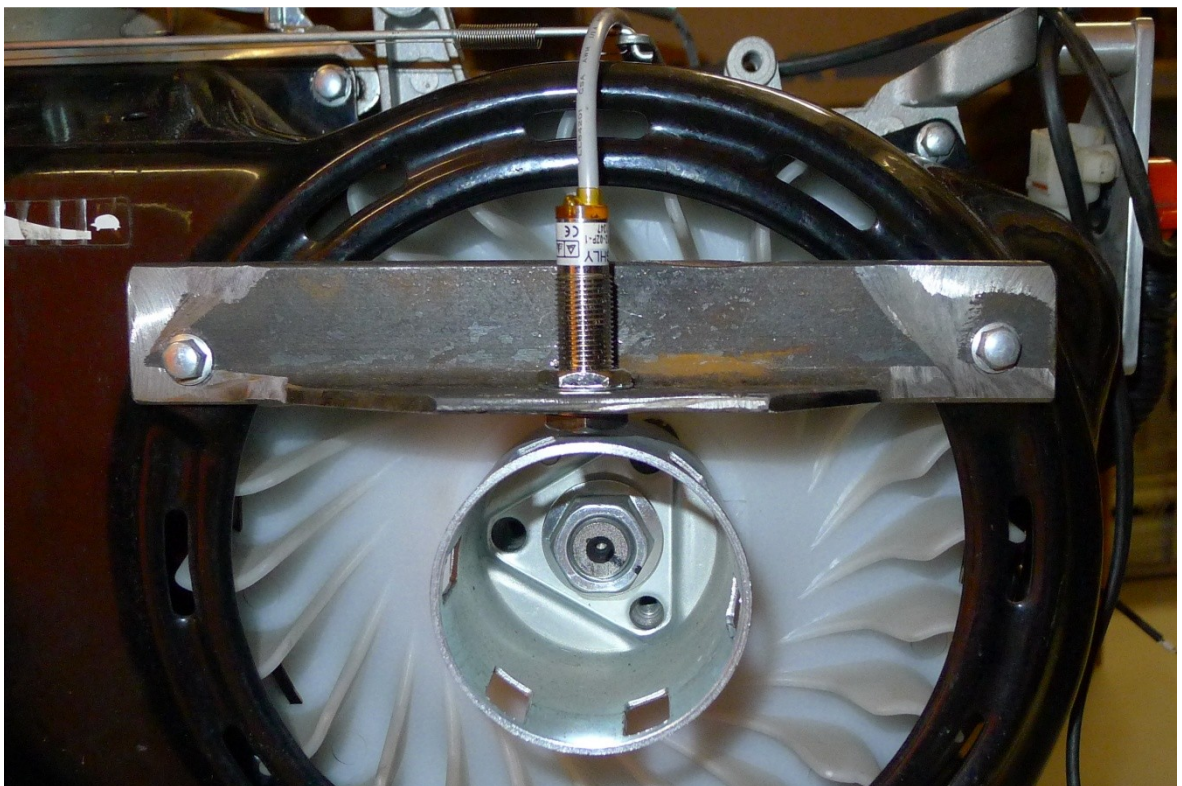
Obrázek 37: Testování řídicího systému a vizualizace



Obrázek 38: Měření spotřeby benzínu pomocí pipety



Obrázek 39: Umístění lambda sondy a teploměru spalin



Obrázek 40: Umístění indukčního snímače otáček