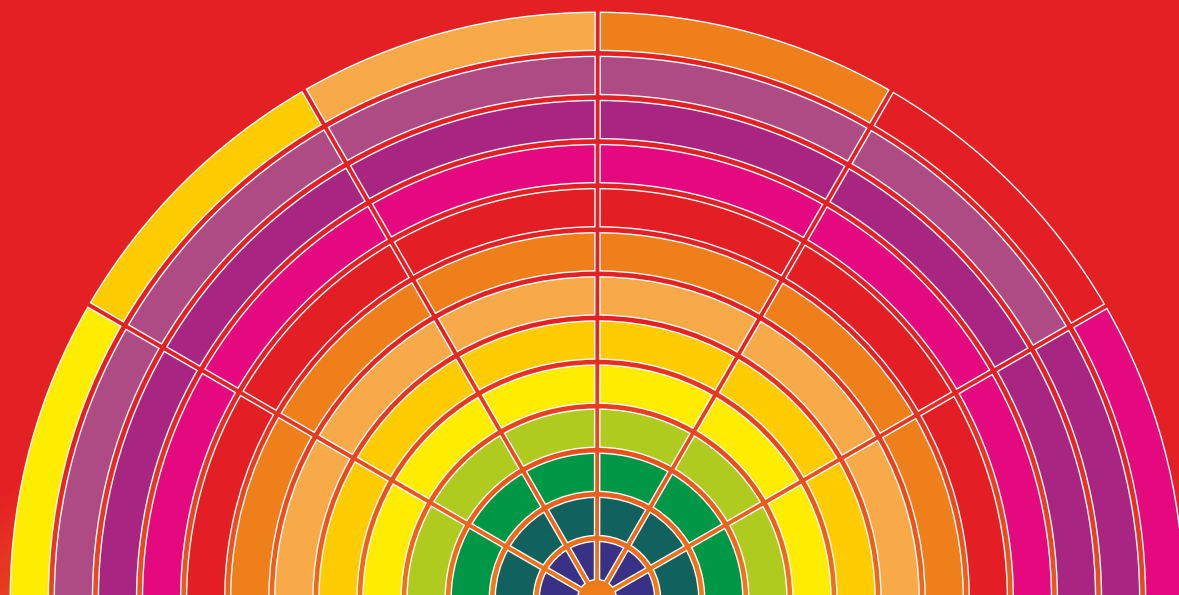
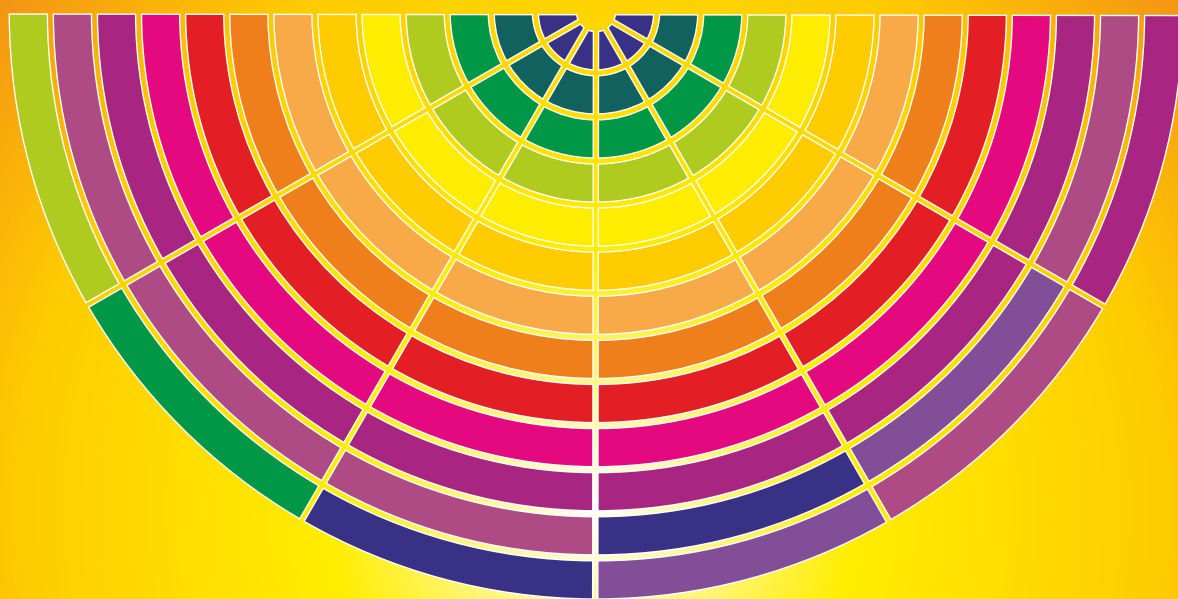


Lubomír Golasovský a kolektiv



Netradiční technologie
pro využívání obnovitelných
a druhotných zdrojů energie



Netradiční technologie pro využívání obnovitelných a druhotných zdrojů energie

Lubomír Golasovský a kolektiv

Obsah

Popis technologie	
Absorpční princip	
Historie	3
Představení absorpčního tepelného stroje	4
Absorpční tepelná čerpadla	5
Využití v ČR	7
Stirlingův motor - princip	
Historie	8
Představení funkce Stirlingova motoru	9
Komerčně využívané principy	12
ORC (Organic Rankin cycle)	
Decentralizované mikrokogenerace	13
Situace na trhu s elektřinou a energetická bezpečnost	14
Teorie Rankinova cyklu	15
Rankinův-Clausiův cyklus, schéma zapojení	15
Volba pracovního média pro ORC	18
Členění ORC z hlediska využití	18
Perspektivy PRC v decentralizované mikrokogeneraci	25
Praktické příklady	
Absorpční chlazení	
Absorpční chlazení s využitím odpadního tepla - Momentive Sokolov	29
Absorpční chlazení s využitím solárního tepla - Tesco Jaroměř	33
Absorpční tepelné čerpadlo	
Absorpční tepelné čerpadlo plynové - GAHP ZŠ Morávka	39
Stirlingův motor	
Mikrokogenerace se stirlingovým motorem spalujícím propan - Wellness hotel	43
ORC	
Jednotka s ORC na bioplynové stanici - BSP Moravská Třebová	48
Jednotka ORC využívající odpadní teplo - Rumpold Jihlava	54

Absorpční tepelné stroje

Historie

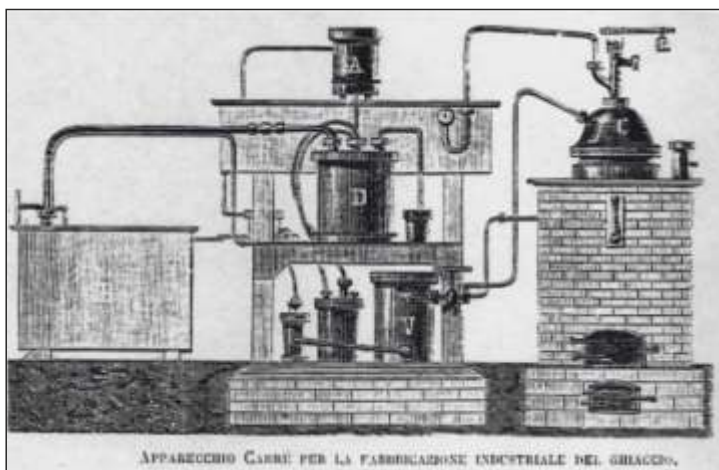
První myšlenky se objevily již na konci roku 1700 a experimentálně byly studovány již v roce 1824 panem Michaellem Faradayem. Absorpční chladicí okruh posunul v před až Francouz Ferdinand Carré v roce 1859 se zařízením na výrobu ledu pomocí odpařování. Také Edmondo Carré, bratr vynálezce „ledového domu“, se podílel na sestavení zařízení s jeho absorpčním cyklem.

Jedna z prvních přeprav mraženého masa na lodi zvané „Paraguay“ v roce 1877 byla realizována Ferdinandem Carré pomocí absorpčním chlazením voda/čpavek.

Absorpční systémy dosáhly převládající pozice na trhu se systémy mechanických kompresorů kolem roku 1875 a držely si svou pozici ještě v prvním desetiletí dvacátého století. S rozmachem elektrické energie a v důsledku dostupnosti elek-trických motorů nastal převrat. Kompresorové systémy získaly převahu v 30. letech díky nástupu uhlíkových chladiv (CFC).



Ferdinand Carré



Absorpční chlazení odešlo díky několika faktorům do ústraní, ale nebylo zapomenuto. Například přirozená cirkulace absorpčních chladniček bez mnoha mechanických částí našla uplatnění v hotelech a karavanech kde byl oceňován jejich velmi tichý provoz.

Velké absorpční sestavy mají dnes široké uplatnění ve výrobě chlazené vody pro klimatizaci a chlazení technologií, a to zejména tam, kde je nadbytek tepelné energie, která by se jinak musel mařit.

Ve čtyřicátých letech 20. století byly aplikovány nové dvě kapaliny: voda (chladiivo) a lithium bromid (absorbent). To přineslo novou vlnu rozvoje

absorpčních systémů v Evropě a USA a dále v Japonsku a Koreji. V devadesátých letech začala výroba a rozvoj také v Číně.

Rozvoj nových aplikací absorpčních systémů byl povzbuzen energetickou krizí v sedmdesátých letech dvacátého století, tak jako zmenšováním ozonové vrstvy vlivem uhlíkových chladiv a velkému významu optimalizace spotřeby a užití elektrické energie.

V současné době nové technologie a dostupné materiály dovolují znovuzavedení absorpčních strojů v malých klimatizačních systémech. Tyto systémy získaly vysoké termodynamické účinnosti, které lze s výhodou využít v rodinných domech i v komerčních budovách, v obchodech a supermarketech, ve sportovních centrech tak jako v hotelích a zvláště pak v místech kde není dostatek elektrické energie nebo není ekonomické použití tradičního kompresorového systému.

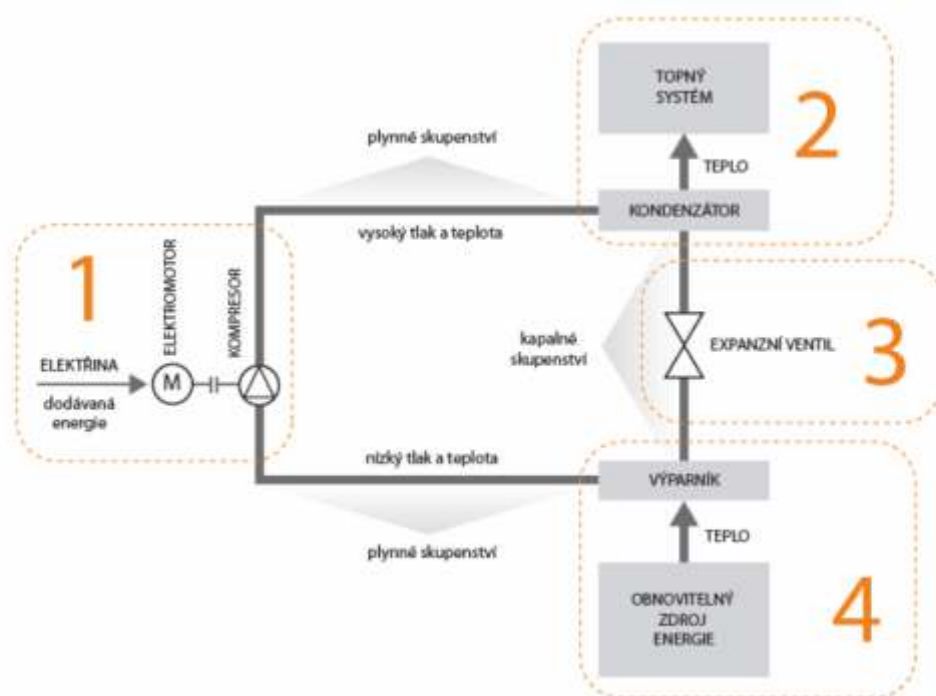
Od počátku roku 1990 se zvyšuje výroba a prodej absorpčního chlazení v USA. Použití absorpčního chlazení v zemích jako je Japonsko, Čína a Korea zaznamenalo exponenciální růst od poloviny 70. let 20. století. Všeobecně lze říci, že důvodem pro nesourodý růst oblíbenosti absorpčního chlazení v Asii a v Americe je rozdíl v rozvoji a pochopení technologie komerčního chlazení vody oproti Evropě s výrazným podílem vlivu nedostatku elektrické energie a její ceny.

Dnes v mnoha částech Asie, kde se používají elektrické chladiče kapalin, není zapotřebí pouze běžná investice do strojniny chlazení, potrubních rozvodů, čerpadel a chladicích věží a kotle pro topení, ale je také zapotřebí velká investice do infrastruktury. A proto je v těchto částech světa ekonomicky výhodnější instalovat absorpční systémy pro chlazení a vytápění.

Představení funkce absorpčního tepelného stroje

Popis funkce

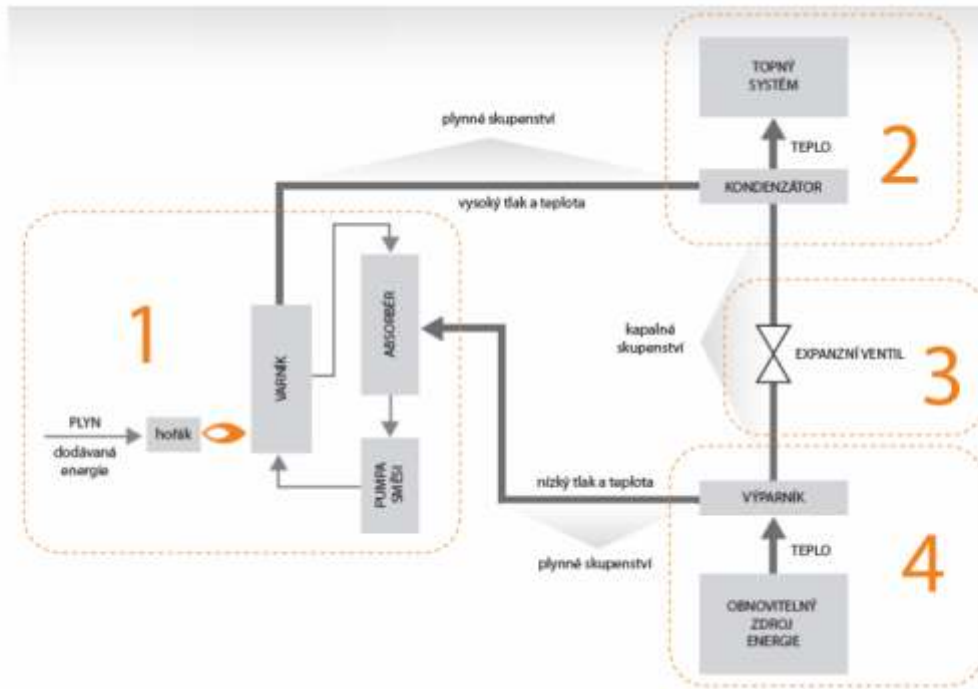
Absorpční chladicí stroje se liší od kompresorových strojů v efektu chlazení, které je poháněno tepelnou energií oproti mechanické u kompresorů. Tato zařízení pracují na principu odebírání tepla (například topným systémem nebo v případě chlazení chladicí věží) z par o vysokém tlaku a teplotě. Po jejich ochlazení a expanzi na škrtícím ventilu dojde k jejich ochlazení a kondenzaci a ve výparníku kapalina o nízkém tlaku naopak teplo ze svého okolí přijímá, aby se mohla odpařovat. Následně jsou páry nasáty a stlačeny kompresorem na vysoký tlak a tím se zvedne jejich teplota a děj se opakuje. Podle toho, co je prostředím, do kterého je teplo dodáváno a ze kterého je odebíráno, jedná se o chladicí stroje, nebo tepelné čerpadlo. Spotřeba energie pro pohon kompresoru je prakticky 2-6 x nižší než množství předaného tepla a závisí především na rozdílu teplot mezi teplotou primárního okruhu, z něhož je teplo odebíráno, a teplotou na výstupu. U tepelných čerpadel je tento poměr označován jako topný faktor. Absorpční chlazení je založeno na fyzikálních vlastnostech dvou látek a také na jejich schopnosti vzájemné absorpce a následnému vypuzení absorbované látky za změněných okolních podmínek - v daném případě dodáním tepla.



Absorpční chladicí cyklus je v podstatě podobný kompresorovému cyklu. Zásadním rozdílem je způsob stlačení par chladiva. V absorpční jednotce je stlačení chladiva (komprese) docíleno nejprve rozpuštěním chladiva v kapalném sorbetu v absorbéru (absorpční teplo je odvedeno) a pak je bohatý roztok přečerpán na vyšší tlak běžným oběhovým čerpadlem. Chladivo s nízkým bodem varu je vypuzeno z roztoku teplem dodaným z externího zdroje do výparníku (generátoru, desorbéru, vypuzovače, varníku). Tímto způsobem je chladivo stlačeno bez vysoké spotřeby mechanické práce jako u kompresorových cyklů. Páry chladiva se pak srážejí v kondenzátoru (kondenzační teplo je odvedeno) a po expanzi na nízký tlak se opět vypařují ve výparníku. Tím je zajištěn chladicí účinek a ve výparníku je odebíráno teplo vodě určené pro účely chlazení (využitelný chlad). Páry chladiva jsou potom absorbovány do roztoku v absorbéru. Mezi absorbérem a generátorem se oběhovým čerpadlem dopravuje bohatý a ochuzený roztok s rekuperací tepla v tepelném výměníku. V praxi jsou absorpční chladicí stroje jsou především lithium bromidové s vodou (LiBr/H₂O) nebo čpavkové s vodou. Systém LiBr/H₂O používá lithium bromid jako absorbent a vodu jako chladivo.¹ Pro úplnost dodáváme, že určitá skupina zařízení využívá obdobného principu, kdy se ovšem páry chladiva vážou na povrch pevného sorbentu – pak hovoříme o „sorpčních“ nebo „adsorpčních“ zařízeních. U těchto strojů se používá jako sorbentu zeolit nebo silikagel a v obou případech je chladivem voda – H₂O. Tepelné stroje pracující na tomto ovšem nejsou běžně komerčně používány a nejsou tedy v publikaci dále rozváděny.

¹ Pro úplnost dodáváme, že určitá skupina zařízení využívá obdobného principu, kdy se ovšem páry chladiva vážou na povrch pevného sorbentu – pak hovoříme o „sorpčních“ nebo „adsorpčních“ zařízeních. U těchto strojů se používá jako sorbentu zeolit nebo silikagel a v obou případech je chladivem voda, H₂O. Tepelné stroje pracující na tomto ovšem nejsou běžně komerčně používány a nejsou tedy v publikaci dále rozváděny.

Čpavkové systémy používají vodu jako absorbent a čpavek jako chladivo. Díky této kombinaci mohou tyto systémy dosahovat hlubokých podnulových teplot chlazení. Jako absorbér se používá převážně čpavek nebo lithiumbromid. Výhodou čpavkuje vyšší rozsah provozních teplot avšak z pohledu ochrany životního prostředí je pokud možno nahrazován lithiumbromidem. V praxi může být zdrojem tepla přímo hořák – tzv. přímo otápěné stroje – nebo teplo v podobě páry, horké vody nebo spalin – nepřímo otápěné stroje. U nepřímo otápěných strojů lze s výhodou využít odpadního tepla z např. z technologických procesů nebo (v letním období) z kogeneračních jednotek (tzv. trigenerace). Množství tepla odebraného okolí je u absorpčního stroje cca 0,6 násobek tepla přivedeného. Toto číslo se může jevit jako nízké ve srovnání s kompresorovým procesem. Ve skutečnosti ovšem pro výrobu elektrické energie pro pohon kompresoru je zapotřebí dodat cca trojnásobek energie, takže pro výrobu stejného množství tepla nebo chladu je ve skutečnosti při využití absorpčního principu zapotřebí přivést méně primární energie, což se rovněž příznivě projeví na nižších emisích CO₂. V případě dostatečně vysokého potenciálu přiváděného tepla (hořák nebo středotlaká pára) se pro zvýšení účinnosti využívají i více-
stupňové stroje u nichž je pak využití dodané energie vyšší a poměr k množství odebraného/dodané tepla je >1.



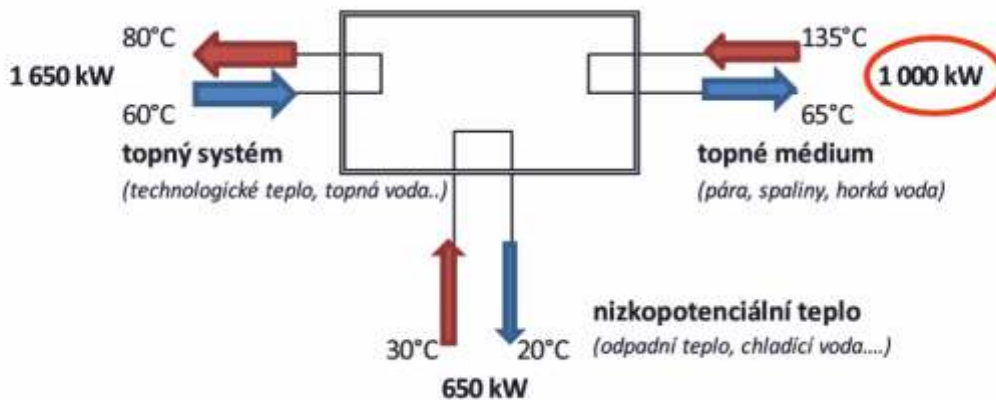
Princip převádění tepelné energie z jedné tepelné hladiny na jinou může dle způsobu provozování být využit pro obě funkce. V případě odebírání tepla ze systému, převádění na vyšší tepelnou úroveň a následném odvodu do okolí, se jedná o chlazení a pak hovoříme o „absorpčním chlazení“. Naopak při zvyšování teploty jinak nevyužitelného potenciálu tepla na takovou úroveň, že toto teplo může být dále využito, lze hovořit o „absorpčním tepelném čerpadle“.

Absorpční tepelná čerpadla

Technologie absorpčních tepelných čerpadel vychází z absorpčních chladicích jednotek. U těchto zařízení však technologický vývoj nastal až po zdokonalení absorpčních chladicích jednotek cca po roce 1950. Oproti mechanickým kompresorovým tepelným čerpadlům jsou absorpční tepelná čerpadla primárně poháněna dodávanou tepelnou energií namísto elektrické energie. Mezi nejrozšířenější typy absorpčních tepelných čerpadel patří plynová tepelná čerpadla tzv. GAHP (Gas Absorption Heat Pump), především pak pro residenční projekty. V průmyslových aplikacích se používají jednotky s výkonem několika MW, které převážně rekuperují odpadní teplotu vodu například v elektrárnách nebo teplárnách. Jako každé tepelné čerpadlo je i absorpční jednotka založena na principu přenosu tepla s nižším tepelným potenciálem na vyšší. Jedná se o modifikovanou absorpční jednotku, která má upravený absorpční cyklus a především pak koncentraci absorpční kapaliny pro přenos tepla s využitím pohonného média v podobě tepelné energie. „Odpadní“ teplo z chladicích zařízení, chemických závodů, oceláren a zároveň teplá voda o teplotě více jak 90°C, pára a různé průmyslové spaliny nad 280°C mohou být použity v tepelném čerpadle a využity pro potřeby okolních budov. Jednoduše lze tedy rekuperovat i velmi nízkou teplotu pro centrální vytápění.

Schéma funkce tepelného čerpadla

Jak již bylo řečeno, absorpční stroje pracující jako tepelná čerpadla vycházejí z chladících zařízení a pro zjednodušení je pro znázornění principu opět použito schéma z kapitoly ORC s tím, že jsou zde uvedeny teploty odpovídající provozu ve funkci tepelného čerpadla.



Rozdělení absorpčních tepelných čerpadel

Zjednodušeně lze jednotky rozdělit na následující typy podle napájecí tepelné energie a jeho zdroje.

Zdroj energie	Zdroj tepla	Energie	Typ stroje	Funkce
Solární energie	Solární paraboly.....	$\geq 0,6$ MPa pára $\geq 160^{\circ}\text{C}$ teplá voda	Více-zdrojový přímo vytápěný stroj	Chlazení / topení / TUV
Geotermální (teplé léto)		$\geq 75^{\circ}\text{C}$ teplá voda	Jednostupňový teplovodní stroj	Chlazení
Zemní plyn, nafta, LTO	Turbína	$230^{\circ}\text{C} + 350^{\circ}\text{C}$ spaliny $\geq 450^{\circ}\text{C}$ spaliny	Jednostupňový spalínový stroj, více-zdrojový přímo vytápěný stroj	Chlazení / topení / TUV
	Motor	$\geq 450^{\circ}\text{C}$ spaliny, $> 90^{\circ}\text{C}$ chladicí voda	Dvoustupňový spalínový stroj, více-zdrojový přímo vytápěný stroj	Chlazení / topení / TUV
Zemní plyn, koksový plyn, propan, nafta, bioplyn	Palivový článek, elektrárna, průmyslové pece, průmyslové kotelny	$\geq 450^{\circ}\text{C}$ spaliny $\geq 0,3$ MPa pára	Dvoustupňový spalínový stroj, dvoustupňový parní stroj, více-zdrojový přímo vytápěný stroj	Chlazení, chlazení / topení / TUV
Odpad	Spalovna odpadů	$\geq 450^{\circ}\text{C}$ spaliny	Dvoustupňový spalínový stroj	Chlazení / topení

Komerčně užívané typy

Současná nabídka trhu není příliš široká - v ČR jsou dle informací zpracovatele používána v současnosti pouze absorpční tepelná čerpadla na bázi čpavku a vody, která slouží především k vytápění budov, případně pro přípravu TV – cca 50 aplikací. Tepelná čerpadla na bázi LiBr/H₂O jsou v nabídce několika specializovaných firem a v současnosti není žádný projekt ani ve stadiu zpracování studie proveditelnosti.

AtČ na bázi NH₃/H₂O

Endotermické tepelné čerpadlo, které využívá čpavek jako chladivo a vodu jako absorbent může používat horkou vodu, spaliny, páru nebo plyn jako zdroj tepla pro pohon absorpčního cyklu. Taková jednotka pak může rekuperovat nízkopotenciální teplo ze země nebo vzduchu a vyrobit teplou vodu o teplotě až 65°C. Jediný prodejce na trhu nabízí stroje s výkonem v rozmezí 35-42 kW. Výkon je odvislý od jednotlivých typů jednotek, které mohou jako primární zdroj využívat okolní vzduch, zemní vrt nebo vodu. Dále jsou jednotlivá nabízena provedení jako „reverzibilní“, „s vyšší teplotou“, s nižší hladinou hluku. S ohledem na charakter provozu, kterým je vytápění, jsou jednotky pro dosažení požadované ekonomiky provozovány s bivalentním zdrojem, který slouží pro pokrývání špičkových potřeb tepla.

AtČ LiBr/H₂O

Endotermické tepelné čerpadlo se zdrojem tepla (pára, horká voda, spaliny, plyn) jako hnací zdroj pro absorpční proces obsahující roztok lithium bromid jako absorbent a voda jako chladivo umožňuje recyklaci teplot vyšších jak 5°C pro potřeby vysoké teploty teplé užitkové vody (až 90°C) a zajišťují tak přenos tepla z chladu do tepla. Sporadicky nabízené jednotky jsou díky konstrukci především vyšších výkonů – od 250 kW do 7 MW.

Využití v ČR

Jak již bylo uvedeno, využití absorpčních tepelných čerpadel je v současnost omezeno pouze na vytápění budov – cca aplikací. Největší počet aplikací má společnost Abastor, která provozuje v Jablonci nad Nisou na střeších cca 25 bytových domů „kotelny“ sestavené z kaskády absorpčních tepelných čerpadel ROBUR spolu s plynovými kondenzačními kotli. Aplikace absorpčních tepelných čerpadel na bázi LiBr/H₂O není v ČR autorovi známa. Nejbližší známou aplikací je využití odpadního tepla z chlazení ložisek turbíny v městské teplárně v litevské Rize. Ekonomiky provozu je dosaženo i skutečností, že převedením tepla odvedeného z ložisek na tepelnou úroveň, která umožňuje přehřev zpátečky topné vody, je umožněno odstavení celého příslušného vodního hospodářství vč. chladících věží, sloužících pro chlazení ložisek. Skutečnost, že využívání technologie je v ČR nízké je možno předpokládat její značné rozšíření, protože podmínky pro toto lze objektivně považovat za velice vhodné. Především plynová absorpční tepelná čerpadla bude možno při rostoucím legislativním tlaku na snižování spotřeb energií v budovách považovat za vhodnou náhradu dožívajících plynových kotlů. Jejich instalace a významně pomohou k dosažení požadovaných energetických standard především u budov u nichž je masivní zateplení z architektonického hlediska obtížné – např. značné prosklené plochy nebo historicky cenná fasáda atd. Rovněž použití absorpčních tepelných čerpadel vyšších výkonů je v našich podmínkách možno považovat za vysoce perspektivní. Ve značně rozvinutém průmyslu lze nalézt množství odpadního tepla s teplotou, která je pro další využití příliš nízká. Obecně je možno uvažovat především o rekuperace odpadního tepla z průmyslového chlazení – kondenzátory elektráren, vstřikovací lis, chlazení ložisek, chlazení průmyslových pecí atd. Za zajímavé lze považovat i teplo z oteplených vod za čistírnami odpadních vod. Dále značně rozvinuté teplárenství skýtá významný potenciál spotřeby tepla o teplotě, která odpovídá charakteristikám absorpčního tepelného čerpadla.

Seznam použití literatury

- 1) Thévenot, R. 1979. *A History of Refrigeration Throughout the World. Translated from French by J.C. Fidler. Paris, France: International Institute of Refrigeration (IIR)*
- 2) Douglas Mahone 1998. *ABSORPTION CHILLERS GUIDELINE, New Buildings Institute, NJ USA*
- 3) *BROAD IFA and DFA chillers*

Stirlingův motor

Historie

Je dobrým zvykem začínat odborné články rčením „Již Leonardo da Vinci...“. Mohlo by to platit i v tomto případě. Ale první funkční teplo-vzdušný stroj sestrojil někdy okolo roku 1807 Sir George Cayley. Patent na něj ovšem získal až reverend **Dr. Robert Stirling** (1790-1878), který se vyznačoval velkým nadáním pro strojírenství. Již v raném věku byl Robert veden ke strojírenství jeho otcem Patrickem Stirlingem, který pomáhal svému vlastnímu otci Michaelovi v údržbě mlátiček. Vždy ukazoval horlivý zájem o mechaniku a zvláště ve zdrojích síly pro strojní zařízení.

Reverend Stirling zdokonalil tento motor použitím regenerátoru nebo ekonomizéru, jak jej nazýval, a 27. září 1816 zažádal o udělení patentu pro jeho nyní dobře známý motor, tzv. regenerátor tepla. Jeho patent byl zapsán 20. ledna 1817. Tento britský patent měl číslo 4081 a byl jím popsán stroj, který vytváří hnací sílu. Největší odlišností od do té doby používaných motorů byl uvedený regenerátor, který zvyšoval účinnost tepelného pracovního stroje dodáním tepla pracovní látce ještě před hlavním přísunem tepla. Po vykonání práce bylo teplo z pracovní látky odvedeno zpět do regenerátoru, aby mohlo být znovu použito při dalším pracovním cyklu. Další zajímavostí je, že Stirlingův motor nemohl explodovat, protože pracoval při nízkých tlacích. A právě tato skutečnost přivedla reverenda Stirlinga k uvedenému vynálezu, když se obával o zdraví a životy pracovníků, kteří pracovali s tlakovými systémy parních kotlů.



Robert Stirling



Stirlingův motor byl vynalezen asi 80 let před dieslovým motorem a mohl využívat jakýkoliv druh paliva, a proto se těšil značné oblibě až do počátku dvacátého století. Již v roce 1818 postavil Robert Stirling velký motor s výkonem 2 HP (1,49 kW), aby čerpal vodu z kamenolomu v Ayrshire ve Skotsku. Jiné pumpovaly vodu pro dobytek na vyprahlém západě Spojených států, na železnicích, v dolech a dodávaly vodu bezpočtu sídlům a statkům. Malé Stirlingovy motory poháněly zubařské vrtačky, domácí ventilátory, šicí stroje atp.. Používala se kapalná, pevná i plynná paliva.

Mnohé z těchto motorů byly vyvinuty švédským vynálezcem Johnem Ericssonem. Uvědomoval si výhody Stirlingova motoru a svými konstrukcemi předběhl svou dobu. Příkladem může být replika Stirlingova motoru pohánějícího čerpadlo – viz foto. Postavil rovněž například Stirlingův motor poháněný pouze sluneční energií.

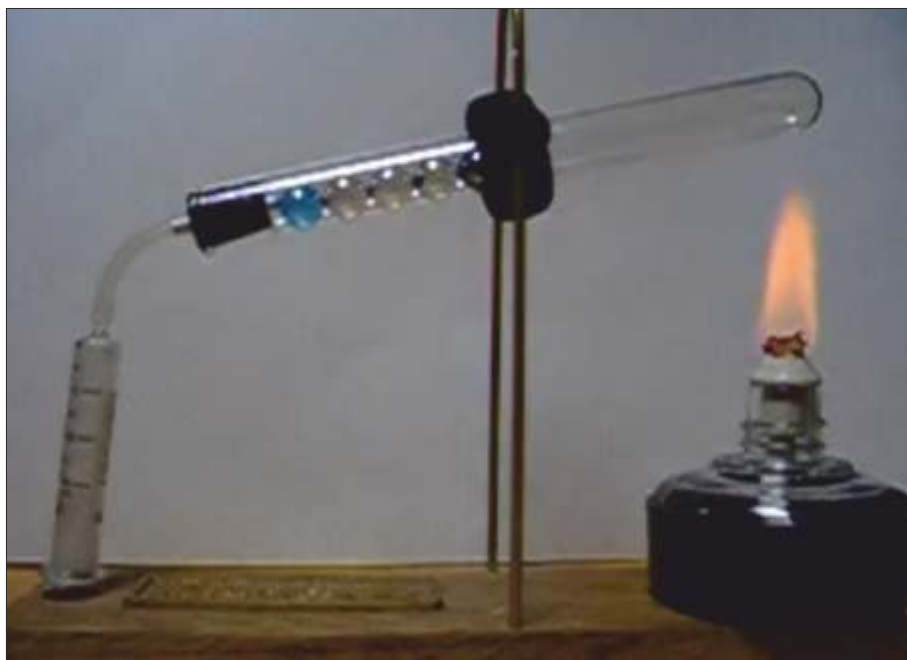
Ve své době (19. století) byly tyto motory limitovány metalurgickými možnostmi materiálů, jejich dalším zpracováním a vyšší hmotností, proto byly vytlačeny novými a stále se zdokonalujícími elektromotory a spalovacími motory které při vyšším výkonu pracovaly s výrazně menší spotřebou paliva, zejména motory plynosacími (dřevoplyn, koksový plyn).

Svůj „návrat“ zažil Stirlingův motor až v 20. století. Vývoj materiálů a techniky šel rychle kupředu, což mělo za následek prudký skok ve vývoji a zdokonalování Stirlingova motoru. S moderními poznatky a novými materiály nastává renezanse těchto motorů. Zejména pro tu jejich vlastnost, že dokáží využívat odpadní teplo a měnit je na mechanickou práci, aniž by při tom vznikal odpad zatěžující životní prostředí. Jinou možností je použití řízeného spalování tuhých paliv (pilinové brikety, spalovny odpadů) nebo teploty v ohnisku zrcadlových solárních systémů.

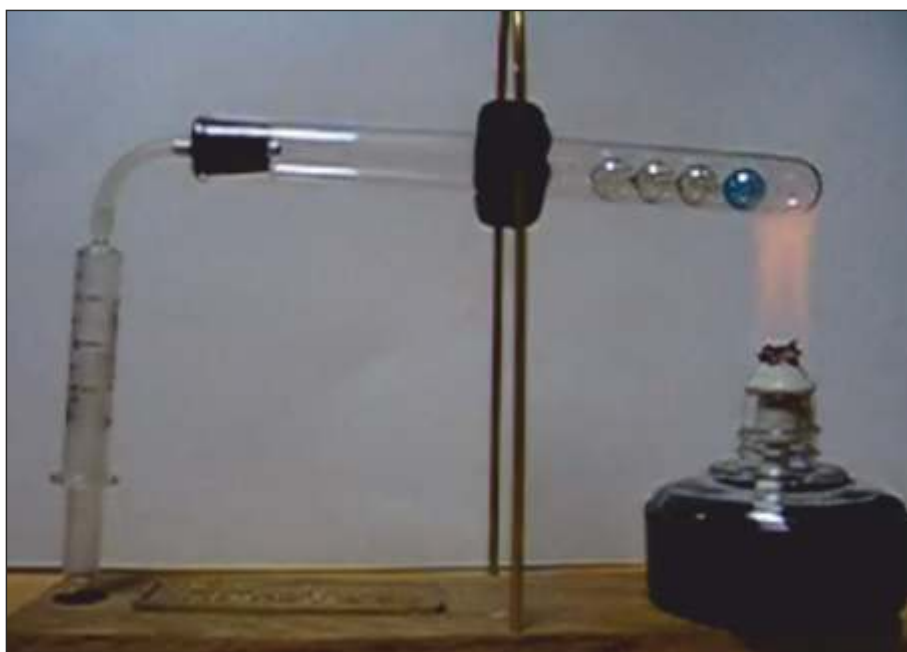
Při použití pracovních médií s nižší molekulovou hmotností jako helium nebo vodík, které mají vyšší tepelnou vodivost a menší turbulentní ztráty, se účinnost motoru zvýšila oproti do té doby používanému vzduchu. Kvalitní žáruvzdorné oceli umožňují ohřev až na 1000 °C. Jeho mechanická konstrukce i koncepce se oproti původním typům zcela změnila. Za těchto podmínek se stává Stirlingův motor vážným konkurentem současných stabilních spalovacích motorů na kapalná paliva. Vývoj a výzkum tohoto motoru stále pokračuje.

Představení funkce Stirlingova motoru

Popis funkce



Stirlingovy motory jsou unikátní tepelné motory, poněvadž jejich teoretická účinnost je téměř rovna jejich teoretické maximální účinnosti, známé jako účinnost Carnotova cyklu. Tyto motory jsou poháněny expanzí ohřívání plynu následovanou kompresí plynu ochlazeného. Stirlingův motor obsahuje pevné množství plynu, který je přenášen opakovaně mezi studeným a horkým koncem. Přemístovací píst pohybuje plynem mezi dvěma konci a vlastní práci konající píst mění vnitřní objem v závislosti na tom, jak plyn expanduje a kontrahuje. „Studený konec“ může být ochlazován především okolním vzduchem nebo chladicí vodou, která v případě využití Stirlingova motoru jako kogenerační jednotky může sloužit jako topná voda nebo teplá užitková voda. Pro realizaci „teplého konce“ lze v demonstračních aplikacích použít např. lihový kahan. U kogeneračních jednotek se Stirlingovým motorem se používá integrovaný hořák, v dalších případech lze využít např. odpadní teplo.

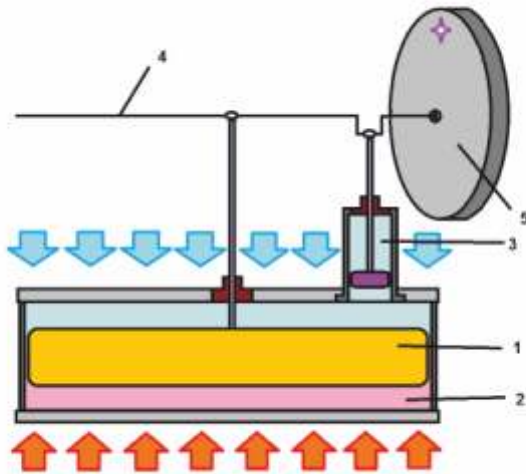


Demonstrativním příkladem „motoru“ pracujícím na principu Stirlingova motoru je zařízení, jehož základem je

zkumavka s několika kuličkami, vnější tepelná energie (lihový kahan), stativ na zkumavku, injekční stříkačka a spojovací hadici se zátkou na zkumavce. Zkumavka je ve stativu umístěna kyvně. Spojovací trubička propojuje střídavě vzduch ve zkumavce se vzduchem v pracovním prostoru nad pístem injekční stříkačky. Vzduch ve zkumavce je ohříván plamenem kahanu a ohřátý se roztahuje a postupně se plášť injekční stříkačky vysune nad píst a překlápí zkumavku. Kuličky se skutálí do ohřívajícího konce zkumavky a vytlačí vzduch do neohřívajícího konce zkumavky, kde je okolním vzduchem ochlazen. Ochlazený vzduch zmenší svůj objem a v prostoru nad pístem stříkačky se vytvoří podtlak. Plášť zkumavky se přesune dolů, kuličky se opět přesunou do neohřívající oblasti a vzduch do oblasti ohřívající a děj se opakuje.

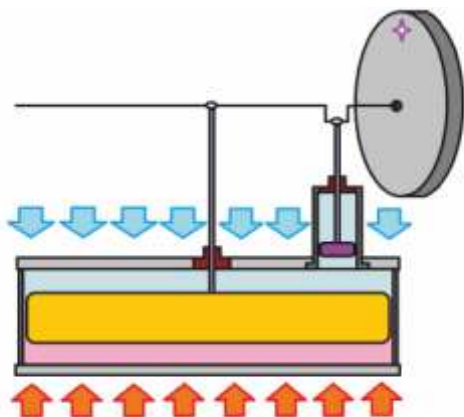
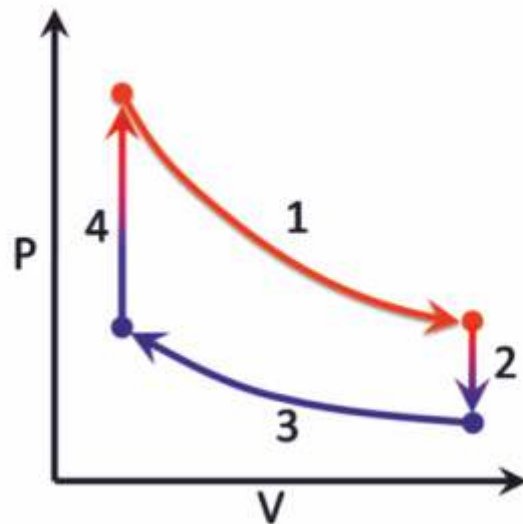
Popis procesů ve skutečném motoru je pochopitelně složitější. Kutálející se kuličky jsou nahrazeny zařízením,

které se nejčastěji nazývá „přesuvný píst“ nebo „přehaněč“ - 1. Pak se „expanzní válec“ - 2 nemůže pohybovat, je pevný a je v zásadě základní částí těla Stirlingova motoru. Další nezbytnou součástí je „pracovní válec s pracovním pístem“ - 3, který vykonává práci. Pohyb pracovního pístu je svázán s přesuvným mechanismem přesuvného pístu - v případě na obrázku prostřednictvím klikového hřídele - 4, kde jsou zalomení táhel obou pístů proti sobě posunuta o 90°. Pokud se nejedná o několikaválcový stroj, je jeho nezbytnou součástí i „setrvačnick“, který pomáhá překlenout „mrtvou polohu“ - 5.



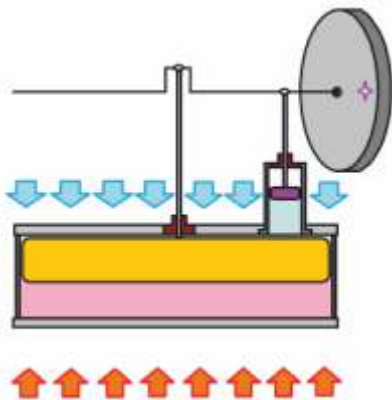
se v motoru během cyklu děje. Protože je Stirlingův motor tepelný motor s vnějším přívodem tepla, je jeho pracovní médium uzavřeno permanentně v oběhu a není vyměňováno po provedení cyklu jako např. u vznětových motorů. V ideálním případě, kdy jsou splněny všechny podmínky ideálního plynu, jsou také zanedbány škodlivé prostory ve válci, termodynamické děje jsou vratné a izotermické děje **uvažují** nekonečně rychlý přestup tepla mezi stěnou válce a pracovním médiem.

Ideální Stirlingův cyklus se skládá z těchto dějů:



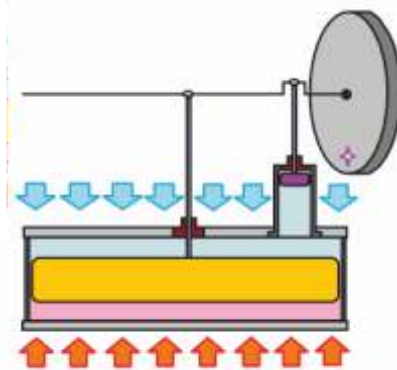
- **1-2 izotermická komprese** – přemístovací píst zůstává ve své horní úvratí, proto v horké části válce není pracovní médium. Kompresní píst se pohybuje směrem k horní úvratí a zvyšuje tlak pracovního média, tím nastává odvod tepla ze studeného válce (chladiče) do okolí za konstantní teploty.

- **2-3 izochorický ohřev** – při cestě z chladiče do horké části válce probíhá ohřev Q_{H2} stlačeného pracovního média v regenerátoru. Při tomto ději je kompresní píst ve své horní úvratí a přemístovací píst se pohybuje směrem

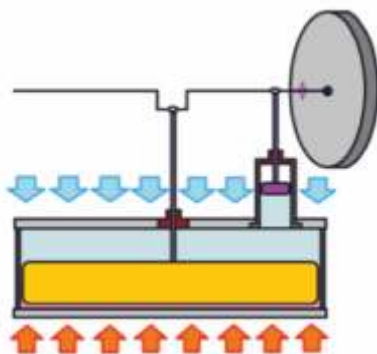


k dolní úvrati a vytlačuje tak pracovní médium z chladiče do ohříváče přes regenerátor.

- **3-4** izotermická expanze – je způsobena vnějším přívodem tepla Q_{H1} v horké části válce (ohříváče) do pracovního média, které začne expandovat a začne přemísťovat kompresní píst směrem k dolní úvrati a přemísťovací píst se drží ve své horní úvrati.



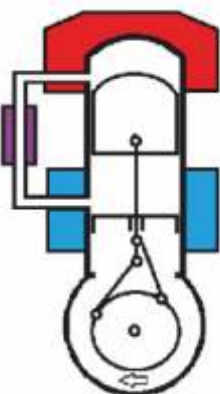
- **4-1** izochorické chlazení – pracovní médium se dostává z ohříváče přes regenerátor, který odebere pracovnímu médiu teplo, do chladiče. Kompresní píst se dostal do dolní úvrati a přemísťovací píst se pohybuje směrem k horní úvrati, aby se všechno pracovní médium dostalo z ohříváče do chladiče.



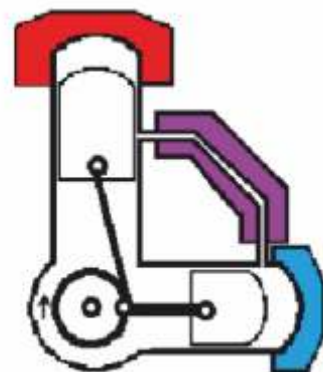
Rozdělení

Základem Stirlingova motoru tedy jsou dva písty, v nichž se nachází média o různých teplotních hladinách, mající objemy, které se mohou cyklicky měnit; ty jsou spojeny skrz regenerativní tepelný výměník a přídavné tepelné výměníky. Tyto jednoduché části mohou být spojeny v širokou škálu mechanických uspořádání. V zásadě však lze rozlišit tři základní modifikace – α , β a γ :

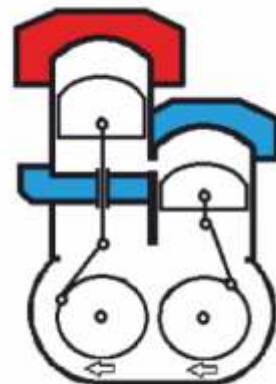
Modifikace α je koncepčně nejjednodušší modifikací. Je tvořena dvěma oddělenými válci – kompresním a expanzním, kde každý válec obsahuje jeden píst. Oba válce jsou spojeny regenerátorem a ojnice obou pístů jsou připojeny na kliku se stejnou rychlostí otáčení nebo společnou osou. V tomto případě je fázový posun zajištěn úhlem mezi osami válců. V případě fázového posunu 90° svírají tedy osy válců tento úhel.



Modifikace β je klasickou modifikací Stirlingova motoru. Ve svém patentu představuje Robert Stirling právě tuto modifikaci. Oba písty se zde pohybují ve společném válci. Kompresní píst zde bývá označován jako pracovní, neboť koná práci. Expanzní píst naopak jako přemísťovací, neboť slouží pouze k přemísťování plynu z expanzního prostoru přes tepelné výměníky a regenerátor do kompresního a naopak.



Principiální rozdíl mezi pracovním a přemísťovacím pístem je v tom, že pracovní píst (přemísťovací nikoli) je utěsněn tak, aby nedocházelo k průniku pracovního média z jedné strany pístu na druhou. Takže tlak média na jedné i druhé straně přemísťovacího pístu je stejný (vlivem aerodynamického tření) až na tlakové ztráty a při pohybu nekoná tento píst na plynu téměř žádnou práci.



V případě pracovního pístu je tlak nad a pod pístem rozdílný, kromě jednoho možného bodu v cyklu. Tato modifikace je velmi výhodná pro svou kompaktnost. Navíc při každé otáčce zaujímá přemístovací i pracovní píst určitou stejnou část válce, avšak v různých okamžicích. Toto překrývání představuje další zmenšení motoru; je zde ovšem obtížnější oddělení ohřívané a ochlazované části.

Obecně je varianta s přemístovacím pístem výhodná, neboť je potřeba těsnit pouze jeden píst. U modifikace β ovšem zase vzniká problém s těsněním pístní tyče přemístovacího pístu procházejícího pracovním pístem, nehledě na omezené možnosti konstrukce pracovního pístu. Fakt, že přemístovací píst teoreticky nekoná práci a musí překonávat pouze síly vznikající aerodynamickým třením plynu a vlastní setrvačné síly, umožňuje lehčí a menší pístnici a příslušné díly, což podstatně snižuje hmotnost a ztráty mechanickým třením.

Modifikace γ obsahuje podobně jako β pracovní a přemístovací píst. Každý se však pohybuje v jiném válci. Kompresní prostor je zde tvořen prostorem nad pracovním a pod přemístovacím pístem a vzhledem k uspořádání nemůže být nikdy nulový. Výhodou však je snadné oddělení ohřívané a ochlazované části motoru. Ostatní výhody plynoucí z existence přemístovacího pístu jsou stejné jako u modifikace β . Navíc pístní tyč tohoto pístu neprochází pracovním pístem a její utěsnění je ještě snadnější než u druhého pístu v případě modifikace α , neboť těsnění okolo pístní tyče je mnohem menší než těsnění okolo pístu, navíc dochází k menším průnikům média a také tření je menší. Tato modifikace se omezuje na motory o malém výkonu a demonstrační modely.

Komerčně užívané produkty

Skutečný Stirlingův motor je navrhován v několika typových modifikacích. Maximální pracovní tlak u realizovaných motoru se pohybuje v mezích 15 až 20 MPa, maximální teplota plynu 630-730 °C (vyžaduje speciální žáruvzdorné materiály). Tyto parametry dovolí dosažení elektrické účinnosti 30-33 %, což je účinnost u motoru o jednotkovém výkonu 8-25 kW vynikající. Teplo pro topné účely je v kogeneračním zapojení získáváno odváděním tepla z chladiče prostřednictvím např. topné vody a dále ochlazením spalin vnějšího spalování, vystupujících z motoru. Moderní Stirlingův motor se vyznačuje dobrou účinností, spolehlivostí, tichým chodem a nižšími emisemi škodlivých plynu. Hlavní výhodou je skutečnost, že tento motor může pracovat s nejrůznějšími zdroji tepla počínaje sluneční energií a konče libovolným fosilním palivem či biomasou. Lze využít i odpadního tepla technologických procesů. Motor má nulovou spotřebu oleje, výrazně nižší servisní náklady, dané dlouhými intervaly mezi údržbovými odstávkami (až 10000 hodin) a dlouhou životnost. Nevýhodou těchto typu motoru je složitost zařízení, vyšší měrná hmotnost na jednotku výkonu, technická náročnost těsnění tlakového prostoru válců a vyšší cena, daná dosud malou sériovostí výroby a náročnou montáží, nutností použití speciálních materiálů a technologických postupů.

Decentralizovaná mikrokogenerace a organický Rankinův cyklus (ORC)

Decentralizovaná mikrokogenerace

Pojem decentralizovaná energetika je autory odborných publikací používán různě s ohledem na zaměření jejich práce a zvyklosti. Nejprve připomínáme, že pod pojem energetika není v obecné rovině vhodné zařazovat jen výrobu a distribuci elektřiny - elektroenergetiku. Pojem energetika by měl obsahovat různé formy energie v obecnějším slova smyslu. V praxi se s ohledem na praktické použití pojmu tento rozsah přirozeně redukuje, v souladu se Šurovským (2003) budeme v našem případě označovat decentralizované energetické zdroje jako seskupení technologií výroby tepla, elektřiny a případně chladu. Pod pojem decentralizovaná výroba zahrnujeme lokální přípravu energií optimalizovanou s ohledem na jejich spotřebu. Naproti tomu o centralizovaných systémech lze říci, že jsou optimalizovány s ohledem na výrobu a transport energií (Maščuch, Hrdlička, 2009).

Kombinovaná výroba energií (kogenerace) je jednou z perspektivních cest k efektivnějšímu využívání primárních energetických zdrojů (PEZ). Tuto výrobu je podle (Dvorský, Hejtmánková, 2005) možné označit jako společnou (integrovanou) postupnou nebo současnou produkci konečných forem energií přeměněných z primární formy v transformačních řetězcích a připravených k využití u spotřebitele. Nejčastějšími formami koncových energií využívaných ve spotřebě je elektřina a tepelná energie, jejich kombinovaná výroba je pak kombinovanou výrobou elektřiny a tepla (KVET). V případě, kdy se část tepelné energie využívá k odnímání tepla jinému médiu (k výrobě chladu), jde o tzv. trigeneraci (Dvorský, Hejtmánková, 2005). Pod pojem mikrokogenerace můžeme zařadit jednotky pro kombinovanou výrobu elektřiny a tepla o elektrickém výkonu v rozmezí stovek W do 50 kW (Maščuch, Hrdlička, 2009). Systémy decentralizované mikrokogenerace se ukazují být ve stále větší míře konkurenceschopné k tradičním konceptům zásobení domácností. Výroba elektřiny v těchto zařízeních totiž může zásadním způsobem změnit strukturování nákladů domácnosti na energie a přinést značné úspory.

Zaměříme-li se na klíčový energetický zdroj moderní společnosti, tedy elektřinu, významnými producenty jsou v celosvětovém měřítku tzv. síťové elektrárny. Jde o zařízení s výkony ve stovkách MW, která se obvykle sestávají z několika výrobních bloků. Důležité je si uvědomit, jak bylo efektivní výroby elektřiny ve velkých zařízeních v minulosti dosaženo. Za připomenutí stojí zejména tyto skutečnosti:

- faktor měřítka – u principiálně srovnatelného zařízení (stejný tepelný cyklus) je účinnost vyšší u vyšších výkonových hladin než u nízkých. Z hlediska dosažitelné účinnosti jsou tedy ve výhodě velká zařízení – zřejmě neexistují fyzikální procesy, které by znemožnily aplikaci některé z výhod ekonomiky velkého zařízení (Willis, Scott, 2000).;
- relativně nízké náklady na přenos a distribuci v porovnání s náklady na výrobu silové elektřiny.

V současné době se ukazuje, že nad výhodami nízkých měrných investičních nákladů velkých zařízení mohou převážet výhody masové produkce zařízení malých. Toto je velmi významné a může mít v budoucnu rozhodující vliv na celkovou úspěšnost decentralizované mikrokogenerace. Cena za 1 kWh elektřiny navíc podle informací uvedených v práci (Willis, Scott, 2000) s klesajícím výkonem roste podstatně mírněji, než tomu bylo v minulosti. To je způsobeno zejména:

- technologickými zlepšeními v energetických transformacích (nové typy oběhů, atp.);
- efektivnějším projektováním, výrobou a provozem nejrůznějších typů zařízení, atp.;
- pohyby na trzích s palivy – v posledních letech se ukazuje, že ceny paliv oproti nákladům na zařízení, kontrolu emisí, přenos a distribuci vyrobených produktů, atp. relativně klesají. To pak může do značné míry eliminovat dosavadní výhodu v palivové ekonomii velkých zařízení (nízká cena velkých množství paliva);
- automatizace a řízení – efektem bouřlivého rozvoje v oblasti MaR je dramatické snížení nákladů na pořízení nejrůznějších typů regulátorů.

Do této skupiny je třeba zařadit výrazné změny ve strojírenské technologii, které umožňují efektivní počítačem řízenou výrobu malých a velmi přesných součástí. Obdobný nebo ještě významnější vývoj jako ve strojírenské technologii se odehrál ve všech oblastech techniky, které mohou s decentralizovanou kogenerací souviset. Všechny tyto skutečnosti otevírají jednotkám malých výkonů možnosti, které ještě před několika lety nepřicházely do úvahy. Mohou pro ně znamenat dokonce klíč k prosazení na trhu.

Zařízení decentralizované výroby mají potenciál překonat své centrální konkurenty nikoliv v účinnosti transformací, ale v možnosti eliminovat transportní a distribuční náklady a ztráty ve vedení. Důležitou výhodou decentrálních zařízení, kterou lze účinnost využití paliva zlepšit, je možnost kombinace tepelných cyklů. Do úvahy připadá například kombinace mikroturbíny a organického Rankinova cyklu (ORC). Touto kombinací lze dosáhnout poměrně vysoké elektrické účinnosti celého zařízení. V této souvislosti je třeba poznamenat, že pro velké síťové zdroje je toto řešení nevhodné až nerealizovatelné (používá se tzv. paroplyn, tedy kombinace spalovací turbíny a klasického Rankinova cyklu). Z uvedeného příkladu vyplývá, že na decentralizované mikrokogenerační zdroje je třeba pohlížet jako na svébytnou skupinu energetických zdrojů, kde není možné spoléhat na úsudek získaný zkušenostmi v tzv. klasické energetice. V současnosti by tedy nemělo být nejdůležitější otázkou, zda jsou decentralizovaná zařízení v účinnější či investičně výhodnější než klasické provoz. Důležité je komplexní hodnocení zahrnující investiční náklady, náklady na provoz a údržbu, palivové náklady a zejména náklady na přenos a distribuci elektřiny. Neopomenutelnou součástí všech analýz by mělo samozřejmě být posouzení dopadu na životní prostředí (zejména ochrana ovzduší) a vliv na bilanci primárních energetických zdrojů. Efektivní řešení pro budoucnost by měly představovat prostor pro úsporu primárních energetických zdrojů, která je jedním ze základních východisek k požadované ekonomické i ekologické efektivitě výroby elektřiny i energií obecně.

S decentralizovanou mikrokogenerací, tedy výrobou energií v místě spotřeby, úzce souvisí nasazení počítačem (respektive mikrokogenerační jednotkou) řízené optimalizace výroby a spotřeby energií domácnosti. To umožní, kromě potenciální úspory PEZ, dosáhnout optimálního využití všech energetických zdrojů s ohledem na jejich cenu, tedy i úspory v poplatcích za energii.

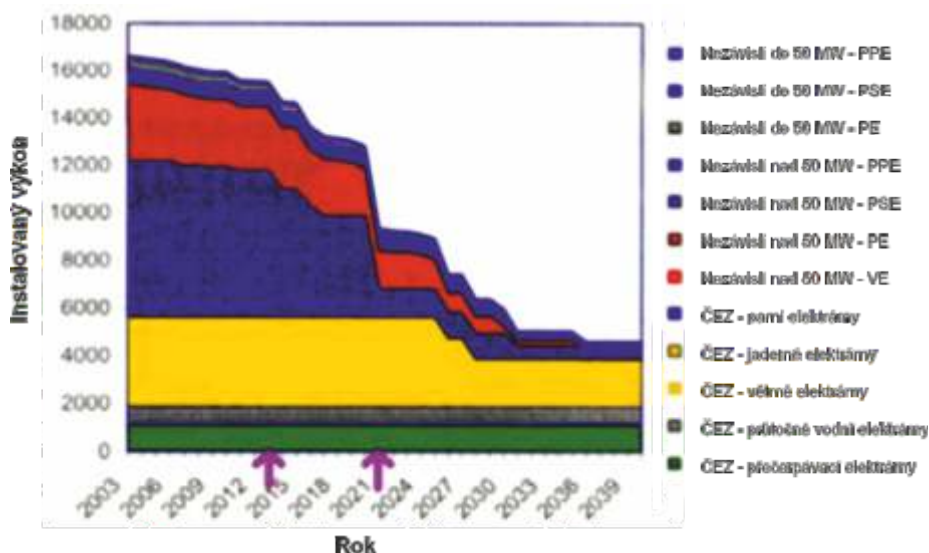
Decentralizovaná energetika na úrovni domácnosti pak bude vyžadovat i jistou kvalitativní změnu v přístupu k nákupu a využívání spotřebičů. Jedná se tedy o přizpůsobení spotřeby. Podle Dvorského a Hejtmánkové (2007) se přizpůsobení spotřeby realizuje převody spotřeby mezi teplem a elektřinou a možnostmi trigenerace, tedy doplnění výroby chladu z tepla. Zřejmě je pak třeba hledat optimum v kombinaci všech zdrojů a spotřebičů v domácnosti, významnou roli pak bude hrát akumulace energií. V této souvislosti se ukazuje jako vhodné otevřít otázku využití vyrobené energie pro pohon automobilů, kde se dnes ukazuje možnost využití tzv. plug-in hybridů. Jedná se automobily, jejichž pohonná jednotka je kombinací spalovacího motoru s elektromotorem a doplňování energie do elektrických akumulátorů je možné ze zásuvky 230V. Po posouzení a optimalizaci všech energetických toků je možné zajistit požadovaný komfort spotřebitele při nejmenších možných nákladech. Rozsah kogenerace bude pro každého spotřebitele velmi individuální s ohledem na jeho zvyky a možnosti zabezpečení PEZ. Kogenerační jednotka by pak měla být pokud možno univerzální z hlediska PEZ.

Důležitou otázkou je volba elektrického výkonu kogenerační jednotky pro domácí použití. Dvorský a Hejtmánková (2007) uvádějí hodnotu 1kW_{el} pro bytovou jednotku a 2-3kW_{el} pro domovní jednotku. Kogenerační jednotky mají být schopné pokrývat střední hodnoty elektrického příkonu, není nutné je dimenzovat na maximální hodnoty. Podmínkou je paralelní provoz systému s elektrizační soustavou a vhodná dimenze akumulátoru elektřiny i tepla.

Situace na trhu s elektřinou v ČR a energetická bezpečnost

Rozvoj jakéhokoliv energetického systému závisí na vnějších i vnitřních podmínkách jeho fungování. Velmi významná závislost EU a ČR na dovozu primárních paliv je všeobecně známa a byla jednou z motivací k přijetí obecné energetické strategie 20-20-20 (20 % snížení produkce CO₂ oproti současné úrovni, 20% snížení spotřeby PEZ, 20 % PEZ z obnovitelných zdrojů.) Jak dále konstatuje Hrdlička (2008), setrvačnost energetiky jako sektoru je velmi vysoká z důvodů dlouhé časové přípravy otevírání nových energetických zdrojů a zdrojů paliv, které navíc vykazují dlouhou životnost. Dopad dnešních rozhodnutí se pak počítá v desítkách let. Navíc upozorňuje, že pouze fosilní PEZ nebudou s to

zabezpečit dlouhodobý udržitelný rozvoj energetiky. V ČR mají dominantní postavení v produkci elektřiny parní uhelné elektrárny na konci morální životnosti s netto účinností pod 30%. Podle Hrdličky (2008) z toho vyplývá, že v ČR je elektřina tím energeticky nejnáročnějším výrobkem a má-li být v budoucnu snížena energetická náročnost na jednotku HDP, bude nutné začít právě zde. Výše uvedené doplňuje konstatováním, že využití perspektivních obnovitelných zdrojů energie (OZE) roste velmi pomalu a předpokládané hodnoty jejich podílu 13,5% na primární spotřebě v roce 2020 bude dosaženo jen při značném úsilí. Současné výrobní kapacity navíc rychlým tempem dožívají.



Obrázek 1 - Dožívání instalované kapacity pro výrobu elektřiny v ČR (převzato z Hrdlička, 2008)

Mezi lety 2014–2021 tak již bude instalovaný výkon nižší, než je nezbytná úroveň pro pokrytí vlastních potřeb. Konstatována je obdobná situace v celé EU, Hrdlička (2008) navíc zmiňuje nedostatečné projekční, výpočtové, výrobní, montážní i provozní lidské zdroje, které by mohly výpadek nahradit.

Pro současný energetický systém se tak situace zdá být velmi napjatá. Nemůže nakonec být řešením všech uvedených problémů a cílů instalace desetitisíců mikrokogeneračních jednotek? Rozptýleného investičního kapitálu je v moderní společnosti dostatečná zásoba, široké nasazení kogenerace a využívání odpadního tepla přinese významné úspory PEZ a emisí. Navíc je změny možné realizovat relativně rychle a investiční rozhodnutí nemusejí být vázána dlouhou životností zařízení. Pokud dojde k masivnějšímu využívání biomasy (v nejrozmanitějších formách) v občanském sektoru a sektoru drobného a středního podnikání, bude dosaženo i vyšších podílů OZE v primárních energetických zdrojích. Všechny uvedené scénáře ovšem předpokládají současnou úroveň spotřeby elektřiny a nereflktují nejruznější možnosti úspor, které by mohly prezentované trendy poněkud relativizovat.

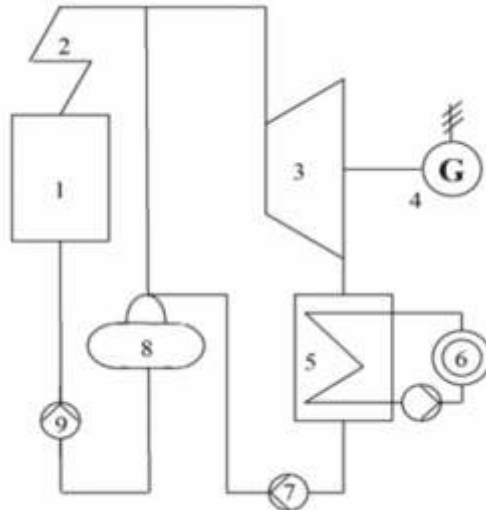
Teorie organického Rankinova cyklu (ORC)

V posledních letech stoupá zájem o výstavbu malých elektráren s výkonem na úrovni jednotek MW, které využívají jako palivo biomasu. Principiálně jde o elektrárny či teplárny (KVET) nejčastěji založené na klasickém parním Rankine-Clausiově (R-CI) oběhu. S ohledem na nízkou výkonovou úroveň a často i problematické vlastnosti biomasy bývají navrhovány relativně nízké parametry páry, takže výsledná účinnost zařízení je relativně nízká. Navíc je nabídka parních turbín pro toto nejnižší výkonové pásmo velmi omezená. Vzniklý prostor se snaží vyplnit výrobci zařízení, která pracují na bázi tzv. organického Rankinova cyklu (ORC). Dále bude ukázáno, že ORC představuje vhodnou alternativu i pro výkony na úrovni 1 kW, kde je využití klasické parní technologie ještě více problematické.

Rankinův-Clausiovův cyklus, schéma zapojení

Schéma zapojení Rankinova cyklu s vodou - vodní párou je všeobecně známo a není tak nutné jej zvláště podrobně připomínat. V následujícím textu jsou uvedeny jen základní komponenty cyklu s protitlakou turbínou pro následující porovnání s organickým Rankinovým cyklem. Hlavními komponenty cyklu jsou parní kotel (1) s přehřívákem páry (2), protitlaká parní turbína (3), elektrický

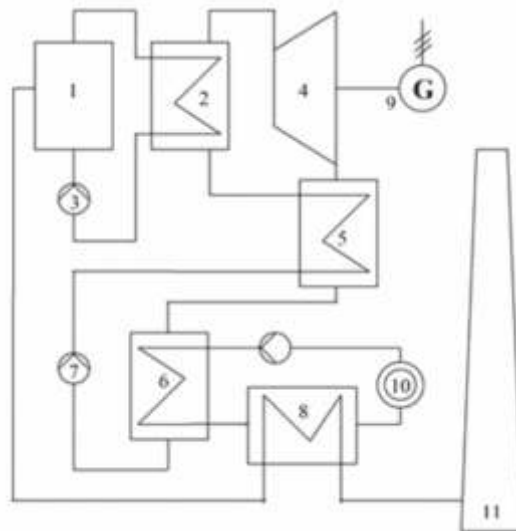
generátor (4), výměník pára – voda (5), v němž pára kondenzuje a předává teplo do spotřebitelské sítě (6), kondenzátní čerpadlo (7), odplyňovák (8) a napájecí čerpadlo (9).



Obrázek 2 - Schéma Rankine-Clausiova cyklu s protitlakou parní turbínou (Dlouhý, Maščuch, 2008)

Organický Rankinův cyklus, obecné schéma zapojení, T-s diagram

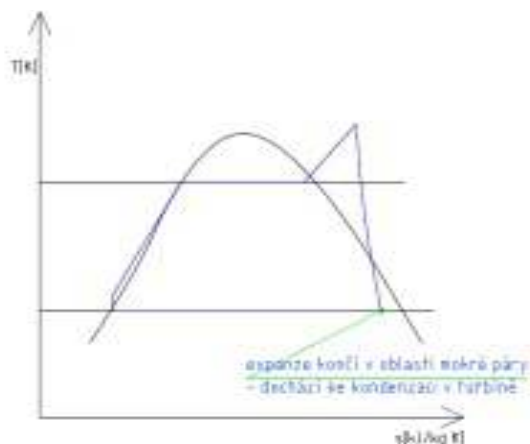
Zařízení ORC pracují na stejném principu, jako výše uvedené konvenční tepelné elektrárny či teplárny. I zde je využito Rankine – Clausiova oběhu. Schéma jednoduchého tepelného ORC oběhu s regenerací je uvedeno na následujícím obrázku. Ze schématu je na první pohled patrná určitá větší složitost ve srovnání s „klasickým“ Rankinovým cyklem.



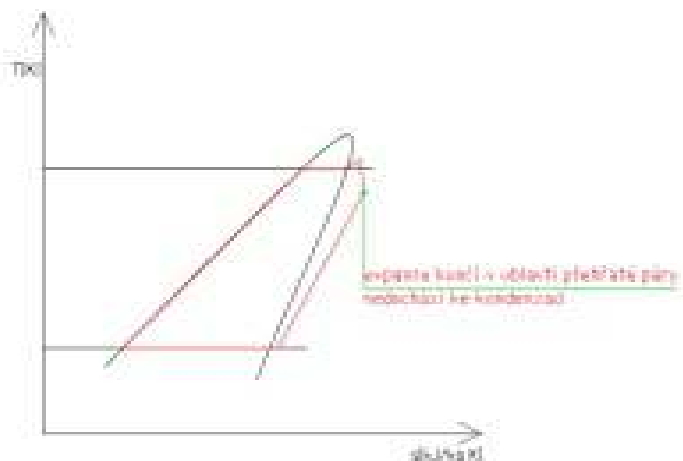
Obrázek 3 - Zjednodušené schéma ORC cyklu (Dlouhý, Maščuch, 2008)

ORC jednotka podle předchozího obrázku se skládá ze dvou okruhů, vloženého termoolejového a pracovního. Termoolej je v kotli (1) ohříván a veden do parního generátoru (2). Odtud je ochlazený čerpán cirkulačním čerpadlem (3) zpět do kotle. Zásadní výhodou vloženého okruhu oproti klasickému zařízení je relativně nízký tlak termooleje (jednotky bar oproti jednotkám MPa v parních kotlích), nevýhodou je jeho hořlavost. Samotný pracovní organický okruh začíná v parním generátoru (2), kam je čerpáno organické médium. Médium se odpařuje a páry následně expandují v turbíně (4). Výhodou je oproti klasickému cyklu relativně nízký tlak a teplota média. Mechanická práce je odvedena hřídelem do elektrického generátoru (9). Páry po expanzi mají značný obsah energie, kterou je možné efektivně využít k předehřevu média proudícího od napájecího čerpadla (7) do parního generátoru (2). Předehřev se realizuje v regenerátoru (5). Tato tzv. regenerace tepla má výrazný podíl na příznivých vlastnostech uvedeného cyklu. Médium je dále vedeno do kondenzátoru (6), kde předá své kondenzační teplo teplé vodě, která se využije ve spotřebě (10). Kondenzát je pak čerpán napájecím

čerpadlem (7) přes regenerátor (5) do parního generátoru (2). Spaliny opouštějí kotel (1) o poměrně vysoké teplotě. Proto jsou vedeny do ekonomizéru (8), kde předají své teplo vodě pro spotřebitele. Ochlazené spaliny jsou pak zavedeny do komína (11).



Obrázek 4 - T-s diagram R-CI cyklu



Obrázek 5 - T-s diagram ORC cyklu

Hlavní rozdíl v ORC cyklu oproti konvenční elektrárně je tedy v pracovní látce. Místo vody se používají organické látky, především těkavé uhlovodíky, fluorovodíky či silikonové oleje (siloxany). Pracovní látka pak zásadně ovlivňuje vlastnosti konkrétního cyklu. Respektive pro dané použití je vždy nutné hledat vhodnou pracovní látku. V obecném případě je průběh mezních křivek pro ORC odlišný od vody, jak je ukázáno na schematických T-s diagramech. Patrný je zde rozdíl mezi cyklem s vodou (modrý) a obecným organickým médiem (červený). Pokud jde o tvar mezních křivek pro organická média, může být obecně různý (tedy i vodě podobný), s výhodou se však využívá uvedeného. Zásadní odlišností mezi uvedenými příklady, které vycházejí z porovnání komerčních jednotek o elektrickém výkonu cca 1 MW (Dlouhý, Maščuch, 2008), je poloha bodu konce expanze. Zatímco expanze v parní turbíně končí v tzv. mokré páře, kde dochází k tvorbě kapek, které mohou poškodit turbínu, u uvedeného typu ORC se pára expanzí tzv. přehřívá, čili vzdaluje od mezní křivky. Poškození turbíny tak nehrozí.

Skutečnost, že expanze nekončí v oblasti mokré páry, u malých výkonů výrazně zjednodušuje konstrukci turbíny a zlepšuje její účinnost. Jako zásadní lze pak vnímat skutečnost, že parní turbínu pro nízké výkony je nutné navrhovat na vysoké otáčky a není možné se vyhnout vyššímu počtu stupňů. Turbína je navrhována s definovaným poměrem obvodové rychlosti rotorového lopatkování a celkové rychlosti proudu média (u/c_{ad}). Rychlost média získaná ve statorovém lopatkování (dýze) je nepřímo úměrná druhé mocnině molekulové hmotnosti pracovní látky. Voda má malou molekulovou hmotnost, celková rychlost proudu média je tak vysoká a to vede k vysokým obvodovým rychlostem (Dvorský, Hejtmánková, 2005). Malé rozměry a vysoké otáčky u parních turbin však vedou k růstu obvodových ztrát a ke značnému poklesu účinnosti. U organických látek, které mají naopak molekulové hmotnosti výrazně vyšší, obecně stačí jednostupňová či několikastupňová turbína s nižšími otáčkami. Relativně vyšší objemové toky v ORC pak zjednodušují konstrukci zejména prvního stupně turbíny (omezení problému částečného ostříku regulačního kola parní turbíny).

Dalším důležitým fenoménem, kterého si lze při porovnání uvedených obrázků povšimnout, je relativně vysoká teplota média po expanzi v pracovním stroji. Médium má v této fázi dostatečnou teplotu, aby mohlo snadno předat teplo při výše zmíněné regeneraci, která významně zvyšuje účinnost zařízení. Kombinace nízkého poklesu účinnosti turbíny se zatížením a uvedeného způsobu regenerace způsobuje, že ORC má velmi vhodné provozní vlastnosti. Účinnost s poklesem výkonu klesá ve srovnání s klasickým cyklem jen velmi nepatrně (uvádí se cca 2 %). Cyklus je pak velmi vhodný pro sledování potřeb tepla odběratelů, protože poklesy neovlivňují účinnost výroby elektřiny (Dvorský, Hejtmánková, 2005).

Volba pracovního média pro ORC

Rozhodnutí o volbě pracovního média je klíčové s ohledem na budoucí vlastnosti zařízení nejen z hlediska účinnosti, ale i bezpečnosti, údržby, atp. Na pracovní média organických cyklů je kladena, kromě termodynamických, celá řada dalších požadavků. Pracovní látka musí být chemicky stabilní a snášenlivá ke konstrukčním materiálům zařízení. Dále jde o bezpečnost při nakládání (např. převozu či doplňování) i v případě úniků. Požadována jsou dále nízká zdravotní a ekologická rizika. Je třeba posuzovat také jejich cenu a související dostupnost na trhu (Drescher, Brüggemann, 2007).

Například média pro zařízení ORC využívající jako palivo biomasu musí mít odpovídající kritické parametry a zaručenou chemickou stabilitu při teplotách, které v procesu přicházejí do úvahy. Hranice chemické stability látek je jedním z klíčových kritérií pro volbu teploty přívodu tepla do cyklu a omezuje do jisté míry také dosažitelnou účinnost ORC cyklů. U značné většiny látek vhodných k využití u zařízení na biomasu lze za tuto hranici považovat teplotu 600 K. Za perspektivní látky pro využití v ORC na biomasu jsou z hlediska dosažitelné účinnosti cyklu považovány alkylbenzeny, velké množství komerčních jednotek na biomasu využívá silikonový olej OMTS-octamethyltrisiloxan (Drescher, Brüggemann, 2007).

Uvedme dále některé vlastnosti organických médií, které jsou oproti vodě nevýhodné (Mydlil, 2010). V první řadě jsou používána média často rozpouštědla, která jsou agresivní vůči konstrukčním materiálům. Proto musí být veškeré armatury a těsnění z kvalitních materiálů jako je nerezová ocel, viton, teflon, apod. Také čerpadla zajišťující oběh musí často mít speciální úpravu tak, aby mohla být provozována v látkách s velkou odmašťovací schopností.

Dalším problémem jsou požadavky na těsnost okruhu. Využívané organické látky jsou často značně těkavé a v některých aspektech zdravotně závadné, proto nesmí za žádných okolností uniknout do ovzduší. Kromě toho některé z nich mohou se vzduchem tvořit výbušné směsi, je tak bezpodmínečně nutné zamezit kontaktu se vzduchem jak vně, tak uvnitř zařízení. Ze stejného důvodu není možné odpařovat organické médium rovnou v kotli, resp. zdroji tepla. Často je nezbytné využití externího výměníku a do zařízení přidat olejový okruh, takže se pak teplo předává organické látce nepřímo. Odpadá tak nebezpečí přímého kontaktu těkavé látky s plamenem. V případě využívání nízkopotenciálních odpadních tepel či geotermální energie se pak tento problém neobjevuje.

Uvedené požadavky zvyšují tlak na složitost, rozměry, a tedy i cenu zařízení. V prvním přiblížení by se tak mohlo zdát, že organické látky nejsou pro širší využití z uvedených důvodů příliš vhodné.

Lze však zaznamenat řadu výhod, které náročnější konstrukci velmi často vykompenzují. Především jsou to výhodné termodynamické vlastnosti, například oproti vodě jako nízká tepelná kapacita a nízké výparné teplo. Nezanedbatelná je s ohledem na výše zmíněný design pracovních strojů i výrazně vyšší molární hmotnost (voda – 18,18 g/mol, např. kumen – 120,2 g/mol). Obecně pak organické látky pracují při nižších teplotách, což umožňuje využití i zdrojů tepla o nižším potenciálu (kotle menších výkonů, solární energie, geotermální energie, atp.), který není možné klasickou parní technologií využít.

Pokud jde o volbu konkrétní pracovní látky, zásadně odvisí od požadovaných parametrů na straně odvodu tepla a od dosažitelných parametrů na straně jeho přívodu. Pro využití odpadního tepla a geotermální energie se tak například využívají běžná průmyslová chladiva.

Členění ORC z hlediska využití

Spalování biomasy

(Bios-Energy, 2001, převzato z Mydlil, 2010)

S ohledem na schopnost ORC využívat nízkopotenciální teplo má tato technologie řadu možností aplikace. Mezi nejznámější je zřejmě možné zahrnout pravděpodobně spalování biomasy, ať už odpadů ze zemědělské činnosti nebo plodin k tomuto účelu přímo pěstovaných. Biomasa je CO₂

neutrální, ve srovnání např. s uhlím má ovšem nižší výhřevnost, vyšší vlhkost a menší objemovou hmotnost.

Nákladná je potom především její logistika včetně skladování. Proto je vhodné toto palivo spotřebovávat co nejbližší místa vzniku a pokud možno i v místě, kde lze vyrobenou elektřinu i teplo využít. Tímto postupem přirozeně klesají náklady na dopravu a negativní dopady na životní prostředí.

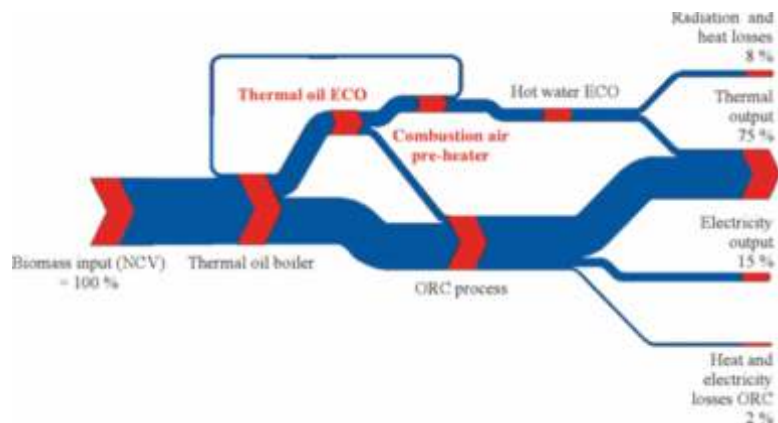
Jako příklad použití ORC cyklu lze uvést zařízení v Lienz, Rakousko. Zdroj spaluje především dřevní odpad z přílehlých závodů na zpracování dřeva jako piliny, odřezky a kůru. Spotřeba paliva se pohybuje okolo 100 000 m³/rok.

Jde o jednu z prvních kogeneračních jednotek využívající ORC cyklus v Evropě. Byla uvedena do provozu roku 2001 a během 3 let již měla za sebou okolo 20 000 provozních hodin. Samotná instalace v teplárně se skládá z několika komponent.

Teplo z biomasy je získáváno ve dvou kotlích se dvěma výměníky na vodu a olej poskytující celkový tepelný výkon 11 MW. Kotle pak poskytují teplo pro vytápění města Lienz a teplo na výrobu elektrické energie v ORC cyklu. Samotné ORC zařízení je řešeno jako kompaktní jednotka dodávaná firmou Turboden, Itálie. Do jednotky vstupuje výkon 5 560 kW tepelných, z nichž je schopna vyrobit asi 1 MW elektrickou při účinnosti přeměny na elektrickou energii asi 15 %. Odpadní teplo je využito pro vytápění. Pracovním médiem zařízení je silikonový olej, který je prakticky nezávadný pro životní prostředí. Olej pracuje při teplotě cca 300 °C, teplota chladicí vody v kondenzátoru je 80° C, v zimě ji lze zvýšit až na 95° C.

Zařízení je zcela automatizováno s využitím moderních technologií, obsluha téměř není zapotřebí. Pokud jde o údržbu, doba se pohybuje v průměru okolo 3-5 hodin týdně. Při kolaudaci byly provedeny veškeré bezpečnostní zkoušky, především kontrola svarů pomocí rentgenu tak, aby byla splněna kritéria inspekční a certifikační společnosti TÜV. Díky tomu již další kontroly nebudou nutné.

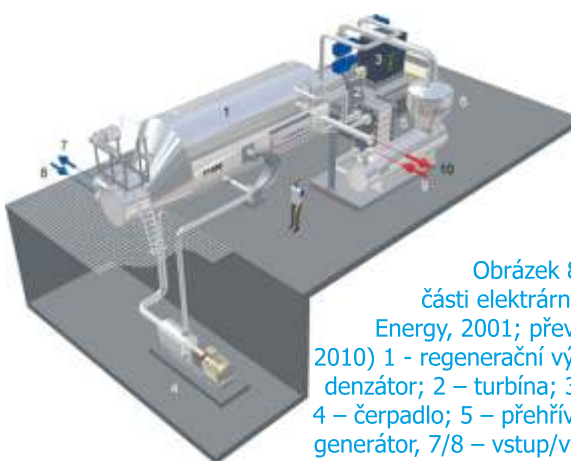
Celé zařízení vykazuje tepelnou účinnost 80 %. Výsledná cena elektrické energie se pohybuje mezi 0,09-0,14 EURO/kWh (2,30-3,60 Kč/kWh, kurz 25,50 Kč/EURO), ta je však dost závislá na ročním stupni využití.



Obrázek 6 - Diagram využití tepla z biomasy v Lienz (Bios-Energy, 2001; převzato z Mydlil, 2010)



Obrázek 7 - Budova elektrárny v Lienz (Bios-Energy, 2001; převzato z Mydlil, 2010)



Obrázek 8- Model ORC části elektrárny Lienz (Bios-Energy, 2001; převzato z Mydlil, 2010) 1 - regenerační výměník a kondenzátor; 2 - turbína; 3 - generátor; 4 - čerpadlo; 5 - přehřívák; 6 - parogenerátor; 7/8 - vstup/výstup chladicí vody; 9/10 - vstup/výstup termooleje

Solární energie

(Canada, 2005; převzato z Mydlil, 2010)

Sluneční energii lze s výhodou využít jako zdroj tepla pro ORC. S ohledem na požadavek vysoké účinnosti je zapotřebí dosáhnout co nejvyšší teploty termooleje. K tomu slouží vysoce koncentrující solární kolektory. S využitím akumulace tepla v zásobníku termooleje je možné provozovat zařízení i v noci. Cílem je efektivnější využití solární energie než v konvenční fotovoltaice. Jelikož na efektivní využití zařízení je potřebný co nejrovnoměrnější provoz, vhodné lokality jsou především ty s malým výskytem oblačnosti. Solární kolektory ovšem principiálně zabírají velkou plochu, proto je potřeba rozsáhlé neobydlené území.

Jedna z vhodných lokalit na světě se nachází např. v USA, Arizona poblíž města Tucson. V solárním komplexu Saguaro byla již roku 1991 instalována jedna z prvních solárních elektráren s koncentrujícími kolektory. Principem činnosti tohoto typu kolektorů je koncentrování slunečních paprsků na trubku s teplotním médiem uprostřed parabolických žlabových sběračů tak, aby bylo možno dosáhnout relativně vysoké teploty (je možné až 1200° C, ovšem čím vyšší teplota, tím nižší účinnost kolektorů). Tento solární systém pracuje s teplotami 300/120° C. Spojení s ORC cyklem je proto žádoucí. K roku 2005 bylo podle dostupných informací v komplexu nainstalováno 10 340 m² kolektorů s nominálním tepelným výkonem 2 636 W/m², které zabírají plochu cca 40 000 m². ORC zařízení poskytuje 1 MW elektrickou. Pracovní látkou je pentan. Návrhová účinnost celého zařízení je 12,1 %, provozní roční jen 7,5 % při ročním faktoru využití 23 %. Nutno dodat, že zařízení není konstruováno jako komerční, jedná se hlavně o výzkumný projekt společností SunLab a Solargenic.

V budoucnu je plánováno rozšíření na 17 233 m² kolektorů (64 000 m² zastavěné plochy) při ročním využití 40 % a provozní roční účinnost 7,9 %. Také se počítá se zavedením akumulčních nádrží, které budou schopny dodávat dostatečné teplo ORC zařízení po dobu až 6 hodin bez slunečního svitu. Plány na rozšíření ORC zařízení mají ambice dosáhnout až k výkonu 50 MW elektrických.



Obrázek 9 - ORC jednotka (AlterEnerg, 2007; převzato z Mydlil, 2010)



Obrázek 10 - Solární kolektory v komplexu Saguaro (AlterEnerg, 2007; převzato z Mydlil, 2010)

Geotermální energie

(TZB-info, 2005; Kukliš, 2006; převzato z Mydlil, 2010)

Méně obvyklé, ale také principiálně výhodné, je využití geotermální energie Země jako zdroj nízkopotenciálního tepla pro ORC. V ČR není příliš velké množství lokalit s dostatečnou geotermální aktivitou. Zmínky o možnosti použití ORC cyklu se objevují v okolí Litoměřic, kde byl v roce 2006 zahájen zkušební vrt, který vede do hloubky 2500 m. V uvedené hloubce se očekává teplota horniny kolem 200 °C. Jde tedy o teplo o teplotním potenciálu, které lze využít pro vytápění objektů nebo v součinnosti s ORC zařízením s vhodným pracovním médiem na výrobu elektrické energie. Projektové úvahy počítají s výstavbou kogeneračního zařízení o celkovém výkonu 50 MW tepelných.

V tomto případě se bude jednat o systém Hot Dry Rock, tzn., že se do uměle rozrušené suché horniny zavede injekčním způsobem voda. Tato se po projití určité trasy v zemi vrací na povrch druhým vrtem. Na povrchu je ve výměníku předáno získané teplo dalšímu pracovnímu okruhu. Voda v zemi přichází do styku s mnoha často rozpustnými minerály, což může způsobovat komplikace se zanášením výměníku voda/organické médium.

Ve světě přirozeně existují místa s podstatně vyšší aktivitou, jako zřejmý příklad je možné uvést Island. Zde pro široké využití termální energie Země mluví i skutečnost, že kvůli své odlehlosti od pevniny musí být energeticky zcela soběstačný. Obecně by se dalo říci, že vhodné lokality jsou tam, kde je vyšší sopečná aktivita, tedy především tzv. Ohnivý pás okolo Tichého oceánu. Schopnost využití této energie je však vázána na značnou technologickou vyspělost, proto podobné projekty vznikají především v Japonsku a USA.

V obecné rovině je zřejmě možné konstatovat, že jako zdroj tepla pro ORC zařízení je možné použít jakékoliv teplo vhodných parametrů, tedy především teploty. Ta však nesmí být natolik nízká, aby byl k dispozici dostatečný teplotní spád pro dodání energie na odpaření organického média. Na druhou stranu nesmí být ani příliš vysoká, protože zde již může ležet hranice využití klasické elektrárny s nižšími parametry páry, ale velmi pravděpodobně levnější než složitější ORC.

ORC jednotky mohou být dále instalovány např. pro využití odpadního tepla z technologií (kompresorové stanice, cementárny, ...), při spalování odpadů, atd. Vhodnost použití především ve vztahu k investiční návratnosti záleží na schopnosti daného zdroje poskytovat teplo stálých parametrů s vysokým ročním využitím. Další perspektivní možností je využití v teplárenství pro kopírování tepelných potřeb odběratelů.

Přehled vybraných světových výrobců ORC

(údaje převzaty z Bouček, 2010 a doplněny)

Na světovém trhu je možné nalézt celou řadu výrobců ORC jednotek. Někteří z výrobců se zaměřují pouze na určité zdroje nízkopotenciálního tepla, další pak nabízejí širší paletu zařízení pro nejrůznější tepelné zdroje. V současné době je možné za přední výrobce ORC jednotek označit následující firmy: **Turboden srl., Adoratec GmbH, Ormat Technologies, Inc., Pratt & Whitney Power Systems, Global Energy and Infinity Turbine LLC, GMK - Gesellschaft für Motoren und Kraftanlagen GmbH, Tri-O-Gen B.V., GE/Calnetix a ElectraTherm.**

Existuje ještě řada dalších firem, které se zabývají problematikou ORC a umí ORC jednotku postavit. Tyto firmy ale většinou nenabízejí ORC jako typové výrobky a jejich zkušenosti jsou výrazně menší v porovnání s výše uvedenými firmami. Mají jen jedinou instalaci, případně postavili jen zkušební zařízení. Mezi tyto firmy patří například: **Aldavia BioEnergy GmbH, PWR.**

Pokud jde o samotné provedení, ORC jednotky se v naprosté většině případů vyrábějí jako standardizované moduly připravené k napojení na zdroj tepla. Elektrické výkony se pohybují nejčastěji v rozmezí desítek kW až po jednotky MW. V případě požadavku na vyšší výkon se potom využije více jednotek. Pro ilustraci je možné využít jednu z instalací firmy Pratt & Whitney, která vyrábí pouze jednotku s nominálním elektrickým výkonem 280 kW. V Utahu instalovala společně 50 jednotek a dosáhla celkového výkonu přes 10 MW. Vybrané jednotky uvedených předních výrobců jsou blíže popsány v následujících kapitolách.

Turboden (www.turboden.eu)

Společnost Turboden patří mezi nejvýznamnější světové výrobce ORC jednotek, sídlí v Itálii. V současné době se počet jejích instalací pohybuje přes 140 po celém světě, celkový instalovaný elektrický výkon již překonal 144 MW. V nabídce firmy jsou ORC jednotky pro nejrůznější zdroje nízkopotenciálního tepla (biomasa, odpadní teplo, geotermální a sluneční energie).

ORC jednotky vhodné pro spojení s kotlem na spalování biomasy jsou nabízeny ve dvou variantách, s tzv. SPLITEM a bez SPLITU (standardní provedení). Výkonová řada začíná na 400kWe a končí cca na 2,2 MWe. Jednotky v provedení SPLIT jsou navrženy pro maximální výrobu elektrické energie při daném tepelném příkonu, využívá se zde dvou termoolejoých okruhů. Základní parametry jednotek uvádí následující přehled: pracovní médium – OMTS, turbína – axiální.

provedení STANDARD - standardní velikosti a výkony jednotek							
jednotka	TURBODEN 4 CHP	TURBODEN 6 CHP	TURBODEN 7 CHP	TURBODEN 10 CHP	TURBODEN 14 CHP	TURBODEN 18 CHP	TURBODEN 22 CHP
VSTUP - teploty							
nominální teplota (vstup) °C	300	300	300	300	300	300	300
nominální teplota (výstup) °C	240	240	240	240	240	240	240
tepelný příkon kW	2300	3240	3815	5140	6715	9790	12020
VÝSTUP - topná voda							
teplotní spád topné vody °C	60-80	60-80	60-80	60-80	60-80	60-90	60-90
tepelný výkon kW	1854	2565	3038	4081	5313	7834	9601
VÝKONY							
elektrický výkon kW	427	641	737	1016	1339	1863	2304
elektrická účinnost -	0,186	0,198	0,193	0,198	0,199	0,19	0,192
vlastní spotřeba el. energie kW	21	30	35	48	58	79	97
čistý elektrický výkon kW	406	611	702	968	1281	1784	2207
čistá elektrická účinnost -	0,177	0,189	0,184	0,188	0,191	0,182	0,184
elektrický generátor -	asynchronní 3f 400V	asynchronní 3f 400V	asynchronní 3f 400V	asynchronní 3f 400V	asynchronní 3f 400V	asynchronní 3f 660V	asynchronní 3f 660V

Tabulka 1 - Základní údaje jednotek TURBODEN v provedení standard (převzato z Bouček, 2010)

provedení SPLIT - standardní velikosti a výkony jednotek							
jednotka	TURBODEN 4 CHP "split"	TURBODEN 6 CHP "split"	TURBODEN 7 CHP "split"	TURBODEN 10 CHP "split"	TURBODEN 14 CHP "split"	TURBODEN 18 CHP "split"	TURBODEN 22 CHP "split"
VSTUP - teploty							
nom. tepl. spád VT okruhu °C	310-250	310-250	310-250	310-250	310-250	312-252	312-252
tepelný příkon VT okruhu kW	2100	2965	3485	4690	6130	8935	10975
nom. tepl. spád NT okruhu °C	250-130	250-130	250-130	250-130	250-130	252-132	252-132
tepelný příkon NT okruhu kW	200	275	330	450	585	855	1045
celkový tepelný příkon kW	2300	3240	3815	5140	6715	9790	12020
VÝSTUP - topná voda							
teplotní spád topné vody °C	60-80	60-80	60-80	60-80	60-80	60-90	60-90
tepelný výkon kW	1844	2600	3060	4100	5350	7850	9630
VÝKONY							
elektrický výkon kW	424	617	727	1001	1317	1862	2282
elektrická účinnost -	0,184	0,19	0,191	0,194	0,196	0,19	0,189
vlastní spotřeba el. energie kW	24	30	38	51	62	87	107
čistý elektrický výkon kW	400	587	689	950	1255	1775	2175
čistá elektrická účinnost -	0,174	0,181	0,181	0,184	0,186	0,181	0,181
elektrický generátor -	asynchronní 3f 400V	asynchronní 3f 400V	asynchronní 3f 400V	asynchronní 3f 400V	asynchronní 3f 400V	asynchronní 3f 660V	asynchronní 3f 660V

Tabulka 2 - Základní údaje jednotek TURBODEN v provedení SPLIT (převzato z Bouček, 2010)



Obrázek 11 - ORC jednotka společnosti TURBODEN



Obrázek 12 - ORC jednotka společnosti Maxxtec/Adoratec

Maxxtec/Adoratec (www.adoratec.com)

Společnost Adoratec má v současnosti v Evropě přes 18 instalací, a to zejména v domovském Německu. Celkový instalovaný elektrický výkon se pohybuje přes 15 MW. V nabídce firmy jsou ORC jednotky pro následující nízkopotenciální zdroje: biomasa a jiné nízkoteplotní zdroje, odpadní teplo a geotermální energie. Základní parametry jednotky uvádí následující přehled: pracovní médium – OMTS (octamethyltrisiloxan).

jednotka		AD 300	AD 400	AD 500	AD 625	AD 750	AD 875	AD 1000	AD 1250	AD 1500	AD 1750	AD 2000	AD 2400
		TF-plus	TF-plus	TF-plus	TF-plus	TF-plus	TF-plus	TF-plus	TF-plus	TF-plus	TF-plus	TF-plus	TF-plus
Y/STUP - teplovoda													
nom. tepl. spád VT okruhu	°C	320/245	320/245	320/245	320/245	320/245	320/245	320/245	320/245	320/245	325/250	325/250	325/250
tepelný příkon VT okruhu	kW	1 505	1 985	2 450	2 995	3 595	4 200	4 800	5 990	7 190	8 540	9 765	11 805
nom. tepl. spád NT okruhu	°C	245/155	245/155	245/155	245/155	245/155	245/155	245/155	245/155	245/155	250/160	250/160	250/160
tepelný příkon NT okruhu	kW _{el}	145	195	240	295	355	410	470	590	710	840	965	1 165
celkový tepelný příkon	kW _{el}	1 650	2 180	2 690	3 290	3 950	4 610	5 270	6 580	7 900	9 380	10 730	12 970
Y/STUP - topná voda													
teplotní spád topné vody	°C	60/80	60/80	60/80	60/80	60/80	60/80	60/80	60/80	60/80	60/90	60/90	60/90
tepelný výkon	kW _{el}	1 350	1 780	2 190	2 665	3 200	3 735	4 270	5 330	6 400	7 630	8 730	10 570
jmenovitý průtok topné vody	m ³ /h	59	78	96	117	141	164	188	234	281	224	256	310
Y/STUP - elektro													
jmenovitý výkon	kW _{el}	300	400	500	625	750	875	1 000	1 250	1 500	1 750	2 000	2 400
vlastní spotřeba	kW _{el}	19	24	30	36	43	49	55	69	82	109	124	149
napětí	V	400	400	400	400	400	400	400	690	690	690	690	690

Tabulka 3- Základní údaje jednotek Adoratec (převzato z Bouček, 2010)

Ormat (www.ormat.com)

Společnost Ormat sídlí v americké Nevadě, pobočky má v několika zemích světa (např. USA, Izrael, Guatemala). Firma se svým výrobním programem zaměřuje na ORC systémy pro využití geotermální energie nebo odpadního tepla z průmyslových závodů (teplo v odpadních plynech, spaliny plynových turbín, apod.). Společnost je schopna dodat i zařízení vhodná pro využití tepla ze spalování biomasy. V současnosti jsou po celém světě desítky jejich instalací. Na rozdíl od konkurenčních firem, které staví ORC téměř výhradně pro vnitřní instalace, nabízí Ormat provedení vnitřní i venkovní provedení. Elektrické výkony se pohybují v širokém rozmezí, řádově od desítek až stovek kW po desítky MW. Společnost dodává ORC na míru pro danou aplikaci. Základní parametry jednotky uvádí následující přehled: pracovní látka – n-pentan, elektrický výkon – 200 kW-72 MW.

Pratt&Whitney (www.pw.utc.com)

Pratt & Whitney je světoznámým leaderem v oblasti leteckých motorů a průmyslových plynových turbín. V současnosti nabízí ORC jednotku označovanou jako PureCycle[®] Power System. Jednotka s nominálním elektrickým výkonem 280 kW je určena především pro využití geotermální energie nebo odpadního tepla. Zdrojem tepla je teplá voda o teplotě od 91° C do 149° C. Výkon pak závisí na reálném teplotním spádu. Jednotka je určena pro vnitřní i venkovní instalace, její konstrukce je řešena s ohledem na možnost spojování jednotek do sestav. Základní parametry jednotky uvádí následující přehled: teplota vstupní teplé vody – 91 až 149° C, teplota chladící vody – 4 až 43° C, jmenovitý elektrický výkon – 280 kW, čistý elektrický výkon – 225 až 260 kW.

Infinity Turbine (<http://www.infinityturbine.com>)

Společnost Infinity Turbine sídlí ve Wisconsinu v USA. Firma vyrábí ORC jednotky především pro využití odpadního tepla a geotermální energie, lze je ale využít i pro jiné zdroje energie (biomasa, solární energie, výfukové plyny apod.). Společnost nabízí ORC v několika značně variabilních variantách pro odběratele. Odběratel může zakoupit ucelenou jednotku, nebo dodávku rozdělit a nakoupit dílčí součásti. Například pouze turbínu s projektem, tedy bez nosné konstrukce, výměníků, atp. Zvláště lze objednat například technické konzultace nebo konstrukční práce. Z novinek stojí za pozornost model ITmini vhodný pro decentralizovanou mikrokogeneraci. Základní informace o stroji IT 10 uvádí následující přehled: teplota zdroje tepla – 80 až 120° C, tepelný příkon – 124 kW, jmenovitý elektrický výkon – 10 kW.

GMK (www.gmk.info)

GMK je výrobce ORC jednotek se zhruba desítkou instalací na území domácího Německa. Jednotky jsou podobně, jako v případě firmy ORMAT, navrhovány a stavěny na míru pro danou aplikaci. Společnost nabízí jednotky ve třech základních řadách podle druhu zdroje tepla:

- INDUCAL (industrial caloric) – jednotky pro využití odpadního tepla z průmyslových závodů
- GEOCAL (geological caloric) – jednotky pro využití geotermální energie
- ECOCAL (ecological caloric) – jednotky pro využití energie z biomasy

Základní informace o jednotkách uvádí následující přehled: elektrický výkon – 0,5 až 5 MW, tepelný výkon – 3 až 8 MW, turbína – vícestupňová, axiální, pracovní médium - GL 160 (patentově chráněno).



Obrázek 13 - ORC jednotka společnosti Infinity Turbine Obrázek 14 - ORC jednotka společnosti GMK

Tri-O-Gen B.V. (www.triogen.nl)

Jde o holandskou společnost, která nabízí ORC jednotku s toluenem jako pracovní látkou pro využití nejrůznějších typů nízkopotenciálního tepla. Jednotky jsou dodávány ve venkovním provedení. Počty instalací jsou uváděny v desítkách kusů převážně v Evropě. Základní informace o jednotkách uvádí následující přehled: elektrický výkon – 60 až 165 kW, tepelný příkon – 450 až 900 kW, teplota přívodu > 350° C, pracovní látka – toluen, turbína – jednostupňová, vysokootáčková (18000 až 28000 rpm), ložiska – hydrodynamicky mazaná pracovní látkou.

GE/Calnetix (www.calnetix.com)

Producent vysokootáčkových turbin a generátorů z Floridy, USA založen 1998. Od 10/2010 součástí koncernu General Electric. K dispozici je modul ORC o výkonu 125 kWel vhodný zejména k využití odpadního tepla ze spalovacích motorů. Společnost spolupracuje s firmou Jenbacher.

ElectraTherm (electratherm.com)

Jde o producenta jednotek pro využití odpadního tepla z města Reno v Nevadě, USA. Základním produktem společnosti je zařízení s obchodním názvem Green Machine, ORC jednotka pro využití nízkopotenciálního odpadního tepla. Informace o jednotkách uvádí následující přehled: elektrický výkon – 30 až 65 kW, tepelný příkon – 400 až 860 kW, teplota přívodu – 88 až 116° C, pracovní látka – chladivo, expandér – šroubový.



Obrázek 15
Jednotka PWR ORC 100



Obrázek 16 - Jednotka Green Machine společnosti Electratherm

POWER Engineering s.r.o. (www.pwr.cz)

Tato česká společnost poskytuje komplexní služby a produkty v oblasti energetiky, sídlí v Ostravě-Porubě. Jednou z jejích aktivit je příprava řešení pro využívání odpadního tepla. Základní informace o jednotce PWR ORC 100 uvádí následující přehled: elektrický výkon – až 125 kW, tepelný příkon 791 kW, teplota přívodu > 110°C, pracovní látka – bezpečná chladicí kapalina, turbína – jednostupňová, vysokootáčková (30 000 rpm).

Pro informaci uvádíme další producenty ORC jednotek: **Koehler-Ziegler** (<http://www.koehler-ziegler.de/>), **Cryostar** (<http://www.cryostar.com/web/clean-energy-generation.php>), **Freepower** (<http://www.freepower.co.uk/>).

Perspektivy ORC v decentralizované mikrokogeneraci

Ekonomické podmínky mikrokogenerace z biomasy v podmínkách ČR

Podle (Maščuch, 2010) domácnost, která obývá řadový rodinný dům s celkovou roční spotřebou energií na úrovni 90 GJ, zaplatila v roce 2009 za dřevo na vytápění cca 21 tis. Kč vč. DPH při ceně tepla v palivu 643 Kč/MWh s DPH (150 Kč/GJ bez DPH) při celkové roční spotřebě 75,8 GJ. Roční spotřeba elektřiny se v daném případě pohybovala v průměru kolem 3 MWh (10,85 GJ) a domácnost za ni zaplatila asi 15 045 Kč. Cena 1 MWh elektřiny pro koncového zákazníka pak za uvedených podmínek činila 5015,15 Kč/MWh s DPH. Významný rozdíl mezi cenou energie v palivu (642 Kč/MWh) a v elektřině (5015,15 Kč/MWh) představuje potenciál finančních úspor pro nasazování mikrokogeneračních jednotek v domácnostech.

V (Maščuch, Hrdlička, 2009) bylo provedeno ekonomické hodnocení s cílem identifikovat maximální možnou výši investičních nákladů do mikrokogeneračního systému na biomasu. Pro porovnání byla zvolena varianta konzervativního nákupu kotle na biomasu a nákup elektřiny ze sítě. Výše investice do uvažovaného systému pro modelovou domácnost by měla dosahovat maximální úroveň kolem 150 tisíc Kč včetně DPH. Uvedená hranice se v dnešních podmínkách jeví jako relativně nízká, vývoj cen elektřiny v budoucnosti však může tuto hodnotu značně ovlivnit. Hodnocení bylo provedeno za předpokladu, že na pořízení tohoto systému je pohlíženo jako na investici s roční reálnou mírou zhodnocení kolem 2 %. Dále bylo ukázáno, že při koncepčním návrhu mikrokogenerační jednotky není účelné vycházet z požadavku na její maximální elektrickou účinnost. To proto, že výše limitních investičních nákladů je na tento parametr poměrně málo citlivá. Ze závěru uvedeného článku je patrné, že pásmo pro nalezení nákladově efektivní elektrické účinnosti leží v rozmezí 15-25 %. Velmi významný vliv na celkovou efektivitu nasazení mikrokogeneračního systému má uvažovaný provozní režim. I technicky velmi dobře řešené zařízení může dosahovat nízkých celkových efektů, pokud je provozováno v nevhodných režimech (Dvorský, Hejtmánková, 2007). Modelovým nasazením podle (Maščuch, Hrdlička, 2009), které uvažuje s relativně vysokou mírou akumulace energií, lze dosáhnout celkové úspory primárních energetických zdrojů (PEZ) oproti současnému stavu na úrovni 10-13 % při provozu se sledováním elektrických potřeb domácnosti. Lze si představit jiné možnosti provozování, kde bude úhrnná roční úspora PEZ významně vyšší. Využití mikrokogenerace je tak ekonomicky efektivní a zároveň snižuje tlak na PEZ.

Mikrokogenerační jednotka na Fakultě strojní ČVUT v Praze

(Maščuch, 2011)

Zařízení využívající Organický Rankinův cyklus mohou s ohledem na své vlastnosti představovat perspektivní technologii pro mikrokogeneraci. Velmi zjednodušeně lze říci, že běžně používané a spolehlivé domácí ledničky jsou zástupci tzv. levotočivých Organických Rankinových cyklů. Pro výrobu elektřiny pak teoreticky půjde o pravotočivý chod takového cyklu. Toto zjednodušení však platí, s ohledem na vyšší teplotní, tlakové a výkonové úrovně, kterých bude nutné pro mikrokogeneraci dosahovat, jen velmi omezeně.

ORC je výhodný zejména proto, že jde o cyklus s vnějším přívodem tepla. Tato vlastnost principiálně umožňuje kombinovat pro výrobu tepla (při využití univerzálního spalovacího zařízení) různá i méně kvalitní paliva, a to s ohledem na aktuální ekonomickou situaci. Klíčem k ekonomické efektivnosti a jednou ze zásadních výhod mikrokogeneračního ORC systému může být právě dobře realizovatelná univerzálnost na straně primárních energetických zdrojů. Teplo u uvažovaného cyklu přechází ze zdrojového média (spaliny kotle) do pracovní látky cyklu prostřednictvím vloženého teponositel - termooleje. Takto realizovaný nepřímý ohřev zařízení poněkud komplikuje, přináší však i významnou koncepční výhodu. Tou je možnost provozovat tlakový celek kotle při nízkých tlacích blízkých atmosférickému tlaku a nikoliv při obecně vyšším provozním tlaku pracovního média cyklu. Nepřímý přívod tepla je zásadním rozdílem ORC oproti cyklům s vnitřním spalováním, mezi které patří většina doposud používaných jednotek s plynovými spalovacími motory či s mikroturbínami. U těchto zařízení je efektivní využívání méně kvalitních paliv včetně biomasy problematické až nerealizovatelné.

Nejpříjemší konkurent uvažovaného ORC, Stirlingův motor, je také cyklem s vnějším přívodem tepla. Toto řešení je však limitováno konečnými rozměry teplé i studené hlavy motoru, respektive teplosměnnou plochou. Ta je dána více s ohledem na požadované rozměry pracovních válců, než z pohledu optimálního využití tepla. Naproti tomu kotel pro ORC je možné navrhnout s optimální teplosměnnou plochou.

Pokud jde o klíčové parametry uvedeného zařízení, horní limitní teplotou cyklu je maximální teplota, kterou je možné zatížit teponositel primárního okruhu. V našem případě byl využit termoolej s maximální provozní teplotou 300° C. Rozmezí výstupní teploty termooleje z kotle bylo s určitou rezervou stanoveno na 280-290° C. Volba teplotní diference v kotli je svázána s parametry na sekundární straně parogenerátoru (na straně pracovního média) a s účinností kotle. Po dílčí optimalizaci byla stanovena na $t = 20^\circ \text{C}$. ORC pracuje s izopropylbenzenem jako pracovní látkou, jeho maximální teplota v cyklu je na úrovni 260-265° C. Cyklus bude při těchto parametrech podkritický a zajištěna je i chemická stabilita média. Na straně odvodu tepla je zařízení limitováno jeho efektivním využitím. Pokud by mělo být zapojeno do systému vytápění, bude nutné zajistit teplotní úroveň odváděného tepla podle otopného systému. S ohledem na elektrickou účinnost zařízení bylo pod dílčí optimalizaci rozhodnuto o nominálním teplotním spádu pro odvod tepla 40/60° C.

Schéma mikrokogeneračního zařízení se nijak neliší od ORC s regenerací pro velké výkony. Zásadní odlišnosti jsou pak v použitých typech výměníků, čerpadel a konečně pracovního stroje. Z řady důvodů uvedených například v (Maščuch, Kolovratník, Opatřil, 2011) byl pro expanzní stroj vybrán koncept křídlového stroje. Pro uvedenou aplikaci vykazuje řadu výhodných vlastností. Jde především o konstrukční jednoduchost a s tím spojené relativně nízké výrobní náklady.

Na následujícím obrázku je celkový pohled na mikrokogenerační ORC zařízení ČVUT. V odkryté části je umístěn primární okruh, sekundární okruh je ukryt pod oplechováním. Průzory v oplechování slouží k optické kontrole tlakových úrovní a hladin v pracovním okruhu stroje.



Obrázek 17
Mikrokogenerační
ORC zařízení ČVUT
(převzato
z Maščuch, 2011)



Obrázek 18
Nouzový výměník
a expanzní nádoba
I. okruhu (převzato
z Maščuch, 2011)

Z obrázku je patrné, že je celé zařízení umístěno v ocelovém rámu. Dolní část rámu je svařena z U profilů a tvoří záchytnou jímku. Při poruše technologie spojené s únikem pracovního média z okruhu budou následky lokalizovány v zařízení. Přibližně uprostřed zařízení v jeho dolní části je patrný výdech chladicího okruhu (odvod tepla z kondenzátoru ORC), respektive výměníku voda – vzduch.

Na obrázku mikrokogeneračního zařízení je v popředí vidět přívod paliva do kotle a samotný kotel, nad kterým je umístěn nouzový chladič termooleje a expanzní nádoba primárního okruhu. Na vedlejším obrázku je pak detail zmíněného chladiče a nádoby.

Zřízení je v současné době (prosinec 2011) ve zkušebním provozu. Ověřují se postupy najíždění uvedené v (Mydlil, 2010) a základní algoritmy regulace. V pracovním okruhu se podařilo dosáhnout stabilní pracovních podmínek. Primární okruh přes prvotní problémy s těsností některých šroubových spojů dnes pracuje bez vážnějších problémů. Cílem je získání provozních dat, na základě kterých by pak měla být vyvinuta komerční mikrokogenerační ORC jednotka.

Použité informační zdroje

AlterEnerg [online]. 2007 [cit. 2010-05-27]. EnerG. Dostupné z WWW: <http://www.altenerg.com/index.php?content_id=51>.

Bios-Energy : Report-ORCLienz [online]. 2003-29-8 [cit. 2010-05-27]. ORC Lienz. Dostupné z WWW: <<http://www.bios-bioenergy.at/uploads/media/Report-ORCLienz-Thermie-2003-029.pdf>>.

BOUČEK, P. Návrh zdroje s ORC jednotkou. Bakalářská práce. Fakulta strojní ČVUT v Praze. 2010.

CANADA, S., et al. NREL [online]. 2005-1 [cit. 2010-05-27]. Parabolic through ORC Solar Powerplant. Dostupné z WWW: <<http://www.nrel.gov/docs/fy05osti/37077.pdf>>.

DLOUHÝ, T., MAŠČUCH, J. Porovnání výroby elektřiny v parním a ORC zdroji na biomasu., In Technika ochrany prostředí TOP 2008. 14. ročník mezinárodní konference. 2008. pp.79-83. ISBN 978-80-227-2896-6.

DRESCHER, U., BRÜGGEMANN, D. Fluid selection for the Organic Rankine Cycle (ORC) in biomass power and heat plants. Applied Thermal Engineering 27, 2007, pp. 223-228.

DVORSKÝ, E., HEJTMÁNKOVÁ, P. Kombinovaná výroba elektrické a tepelné energie. 1. vyd. Praha: BEN – technická literatura, 2005. ISBN 80-7300-118-7.

DVORSKÝ, E., HEJTMÁNKOVÁ, P. Domácí mikro-kogenerace změny systém energetického zásobení našich domácností. Teplo-technika-teplárenství, 2007, č.5, s. 5-14.

KUKLIŠ, Libor. Gnosis9 [online]. 2006-25-11 [cit. 2010-05-27]. Geotermální energie. Dostupné z WWW: <<http://gnosis9.net/view.php?cisloclanku=2006110006>>.

HRDLIČKA, F. Současná energetika a energetická bezpečnost. In Energetika a biomasa 2008. Sborník přednášek z konference. Praha: Fakulta strojní ČVUT v Praze, 2008. ISBN 978-80-01-04017-1.

MAŠČUCH, J., HRDLIČKA, J. Perspektivy mikrokogenerace z biomasy v podmínkách ČR. In Technika ochrany prostředí TOP 2009. 15. ročník mezinárodní konference. 2009. pp. 337-342. ISBN 978-80-227-3096-9.

MAŠČUCH, J., KOLOVRATNÍK, M., OPATRIL, J.: Study of a Rotary Vane Motor for microCHP ORC unit. CTU Student Grant Competition in 2010 (SGS 2010) – Workshop 2011. [online]. Czech Technical University in Prague. [cit. 17.5.2011]. Available of: https://www.sgs.cvut.cz/index.php?action=workshop_2011.

MAŠČUCH, J. Návrh mikrokogeneračního ORC zařízení na biomasu. In 10th conference on Power System Engineering, Thermodynamics & Fluid Flow - ES 2011. Sborník příspěvků. 2011.

MYDLIL, P. Provozní vlastnosti experimentálního ORC. Bakalářská práce. Fakulta strojní ČVUT v Praze. 2010.

QUOILIN, S., LEMORT, V. Technological and Economical Survey of Organic Rankine Cycle Systems. In European Conference on Economics and Management of Energy in Industry. Vilamoura, Portugal: 2009. [online] 2009 [cit. 2011-12-20]. Dostupné z WWW: <http://hdl.handle.net/2268/14609>.

ŠUROVSKÝ, J. Mikroturbína. Energetická revoluce pro 21. století. 1. vyd. Praha: Instalace Praha, 2003.

TZB-info [online]. 2005 [cit. 2010-05-27]. Tabulky a výpočty. Dostupné z WWW: <<http://www.tzb-info.cz/t.py?t=16&i=1>>.

WILLIS, H. L., SCOTT, W.G. Distributed power generation: planning and evaluation. 2nd ed. New York: Marcel Dekker, 2000. ISBN 0-8247-0336-7.

internet



Praktické příklady



Projekt Momentive Sokolov

Charakteristika projektu

Předmětem projektu instalace zařízení pro využití odpadního tepla, které nahradilo stávající využívající fosilní zdroje energie

Výchozí stav

Nadnárodní společnost MOMENTIVE provozuje v Sokolově speciální průmyslovou chemickou výrobu – akrylovou chemii a její polymery, akryly a jejich estery. Původní kompresorové chladicí zařízení pro technologii výroby kyseliny akrylové a jejích esterů, bylo poháněno elektrickým motorem a v současnosti již nesplňovalo ekologické normy na použitá chladiva.

Popis řešení projektu

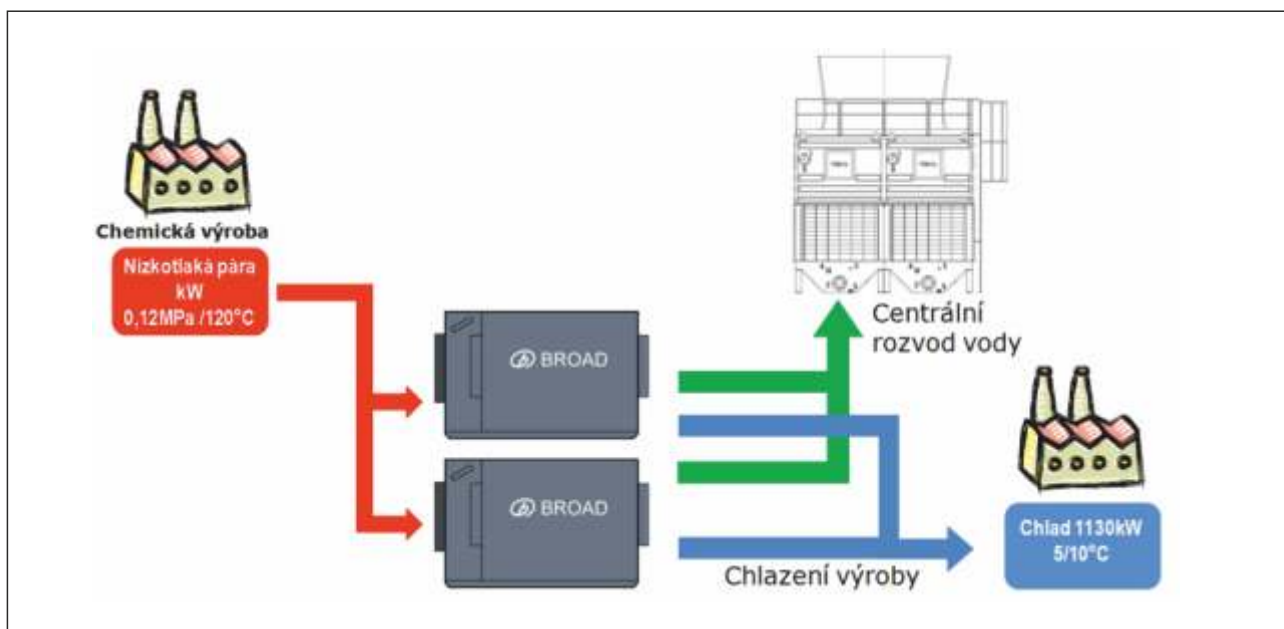
Vybrané chladicí absorpční jednotky využívají odpadní páru z výrobního procesu a tím dosahují značných provozních úspor oproti původnímu kompresorovému chladicímu zařízení. Instalace je výjimečná dosažením nízké teploty chlazené vody pro technologii +5° C. Provoz absorpčních chladicích jednotek je neustále sledován dálkovou zprávou servisního oddělení dodavatele technologie absorpčního chlazení.

Model: **BDH49X0,12-29,5/24-5/10-50**
Způsob provozování: **chlazení technologie**
Chladicí výkon: **2 x 565kW**
Zdroj tepla: **odpadní pára 0,12 MPa**

Ekonomika projektu

Celkovou výši investičních nákladů na vlastní systém absorpčního chlazení s využitím solárního tepla není možno vzhledem ke komplexnosti řešení jednoznačně určit. Obecně se uvádí, že celková investice byla o 30 % vyšší než standartní řešení. Očekávaná návratnost projektu je do 14 let.

Schéma řešení









Projekt TESCO Jaroměř

Charakteristika projektu

Předmětem projektu realizace autonomního energetického hospodářství – výroba a spotřeba elektrické energie, tepla a chladu – pouze z obnovitelných zdrojů – řepkový olej a solární energie.

Výchozí stav

Společnost TESCO otevřela svůj hypermarket v Jaroměři jako první ekologicky šetrný obchod s nulovou uhlíkovou stopou v Evropě. K tomu přispěly jednotlivá řešení použitá při výstavbě, například:

- Střecha a stěny jsou vyrobeny ze dřeva a jsou nadstandardně zatepleny
- Elektrickou energii, teplo i chlad jsou vyráběny výhradně z ekologických zdrojů – z řepkového oleje a solární energie
- Maximálně využívá denní světlo pomocí světlíků a světlovodů
- Reguluje intenzitu osvětlení v závislosti na denním světle
- Využívá moderní, energeticky úsporné potravinářské CO₂ chlazení
- Zpětné teplo z chlazení následně slouží pro ohřev vody
- Vytápí energeticky úsporným kotlem, který spaluje řepkový olej
- 80 % stavebních prvků pochází z recykovatelných materiálů

Popis řešení projektu

Základem energetického hospodářství je trigenerační systém, který je tvořen dvěma kogeneračními jednotkami, každá o výkonu 160 kW elektrických a 195 kW topných. „Odpadní“ teplo je využíváno spolu s teplem z fototermtických panelů k vytápění v zimním období a jako zdroj energie pro absorpční jednotku v létě. Absorpční jednotka přeměňuje teplo na chlad a tento chlad je využit pro letní chlazení objektu. Pro špičkování teplotní potřeby je v objektu instalován kotel Viessmann o výkonu 150 kW, který pracuje stejně jako KGJ na řepkový olej.

Model KGJ:	TEDOM
Elektrický výkon:	155 kW
Tepelný výkon:	321kW
Model ACHJ:	BDH14X-80/90-33/26-6/12-20
Výkon chlazení:	168 kW

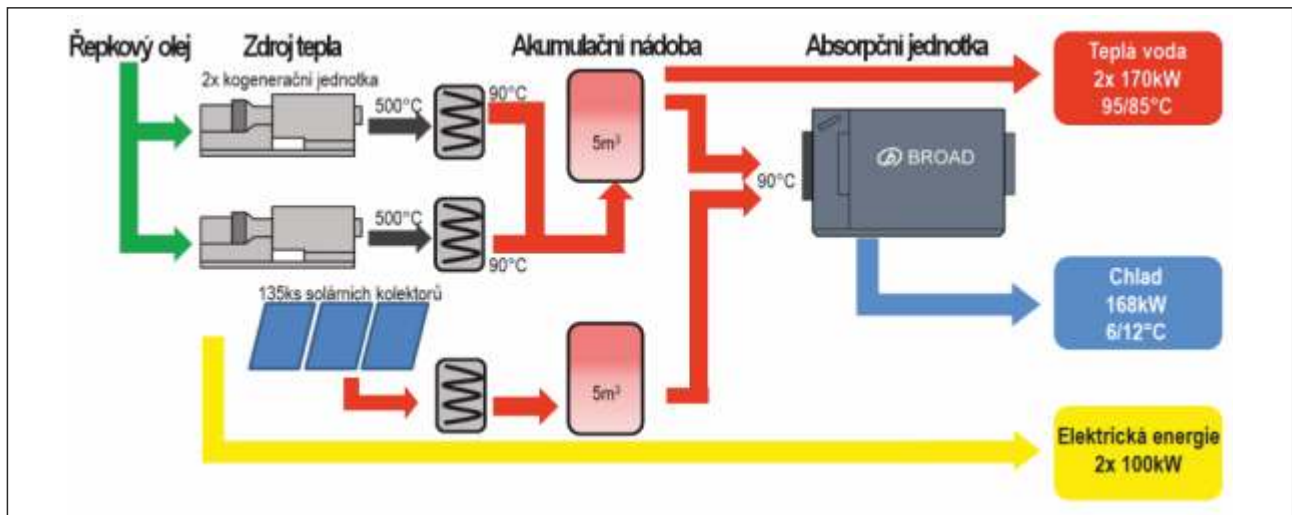
Tento základní systém je doplněn fototermtickými panely instalovanými na šikmých světlících střechy objektu, které slouží pro výrobu teplé vody, která je dále použita přímo pro vytápění objektu a přípravu TUV nebo prostřednictvím absorpční jednotky k výrobě chladu pro klimatizování objektu.

Solární soustava	135 ks solárních kolektorů
Typ kolektorů:	OPC 15
Celková plocha kolektorů:	230 m²
Výkon pro 1000 mW/m ² :	114 kW

Ekonomika projektu

Celkovou výši investičních nákladů na vlastní systém absorpčního chlazení s využitím solárního tepla není možno vzhledem ke komplexnosti řešení jednoznačně určit. Obecně se uvádí, že celková investice byla o 30% vyšší než standardní řešení. Očekávaná návratnost projektu je do 14 let.

Schéma řešení trigenerace











Projekt GAHP ZŠ Morávka

Charakteristika projektu

Předmětem realizace je energeticky úsporný projekt Základní školy a mateřské školy v obci Morávka. Energeticky úsporný projekt je založen na komplexním zateplení budovy a instalace plynových tepelných čerpadel jako základního zdroje tepla.

Výchozí stav

Původně byl objekt základní a mateřské školy vytápěn dvěma plynovými kotly Viadrus G 100 L, každý o výkonu 120 kW. Kotle jsou umístěny v kotelně v suterénu „nového objektu“. Teplá voda je v objektu připravována plynovým kotlem Dakon Dua 24RK umístěným rovněž v kotelně v suterénu „nové budovy“. Teplá voda je akumulována v zásobníku ZTO 400L o objemu 400 litrů. Průměrná roční spotřeba zemního plynu činila cca 1060 GJ/rok, z toho pro vytápění bylo spotřebováno cca 1007 GJ/rok zemního plynu.

Popis řešení projektu

Novým zdrojem tepla pro vytápění a přípravu TV je kaskáda 2 ks plynových absorpčních tepelných čerpadel typu „vzduch – voda“, s výkonem 2 x 40 kW (při A2/W35° C). Celkový instalovaný výkon zdroje v tepelných čerpadlech činí 2 x 40 = 80 kW. Obě plynová tepelná čerpadla jsou instalována na volné ploše bezprostředně vedle původní kotelny. Jako bivalentní zdroj je instalována v původní kotelně kaskáda 2 ks plynových kondenzačních kotlů s výkonem 2 x 45 = 90 kW.

Technické parametry plynového absorpčního tepelného čerpadla

Výrobce, typ tepelného čerpadla:	ROBUR, GAHP-A HT S,(vzduch/voda)
Topný výkon (pracovní podmínky A2/W35° C):	40 kW
Účinnost využití plynu (GUE):	min. 1,6
Jmenovitý průtok vody:	3 000 litrů
Max. provozní tlak topného systému:	4 bary
Odvod spalin:	<input type="checkbox"/> 80
Připojovací tlak plynu:	20 mbar
Provozní napětí:	230V, 1N 50 Hz
Jmenovitý příkon:	1,09 kW
Hmotnost:	cca 400 kg

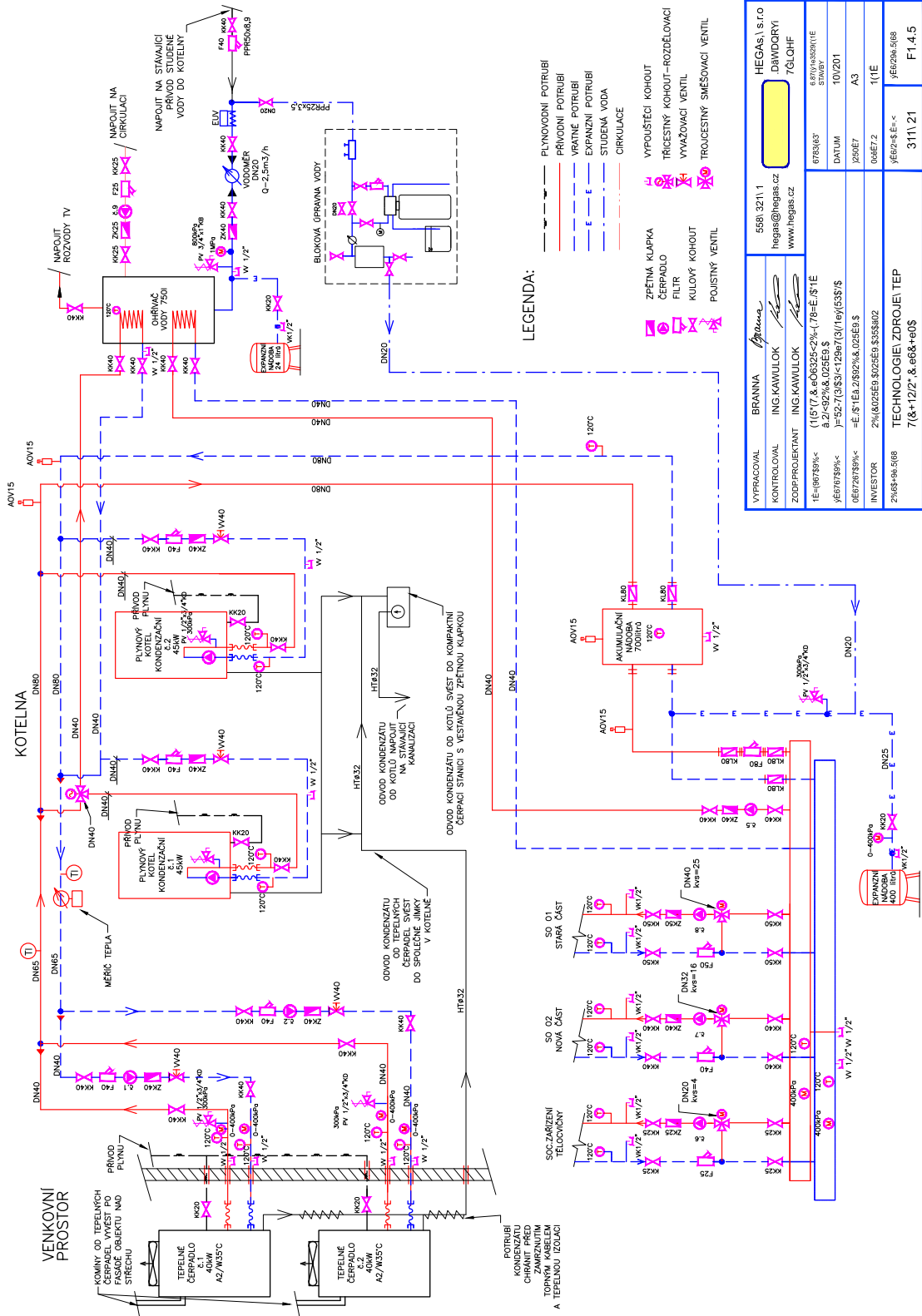
Ekonomika projektu

Celkovou výši investičních nákladů na instalaci plynových tepelných čerpadel vč. připojení na topný systém a jeho regulaci a napojení na nové spalinové cesty činí cca 1,6 mil Kč. Z toho cena vlastních plynových tepelných čerpadel činí 870 tis. Kč, jsou tedy o cca 600 tis. dražší oproti standardnímu řešení s běžnými plynovými kotli.

Dle monitorovací zprávy činí v prvním roce provozu celková úspora (vč. zateplení) 679 GJ/rok, z čehož úspora provozem vlastních tepelných čerpadel činí 157 GJ/rok což představuje hodnotu cca 66 tis. Kč. Prostá návratnost tedy činí 10,1 roku. Tato relativně dlouhá návratnost je dána charakteristikou provozu objektu zásobovaného teplem, kterým je škola, tedy zařízení s nízkým časovým využitím – provoz pouze pondělí až pátek v době 7.30-13,00 hodin, navíc s omezením provozu v době prázdnin . Projekt byl podpořen dotací z OPŽP ve výši cca 50 %.



Schéma řešení projektu



BRANNA	5851 3211 1	HEGAS, s.r.o.
KONTROLOVAL	ING.KAVULOK	DAVODRYI
ZOBEPROJEKTANT	ING.KAVULOK	76LQHF
1E=087839%<	(115'17 & e08325-2%(-178-E-15 TE	6783(83
4E=087839%<	3.2-492%&.025E9 \$	8707662001E
0E17267839%<	J=52-7(3633-412967(3)(6Y)655' \$	10/201
	=E-15'1Ea.2(592%&.025E9 \$	250E7
INVESTOR	2%&.025E9 \$025E9 \$335802	A3
		11E
TECHNOLÓGIE ZDROJEJ TEP	7(8+122' & 668+e0S	311) 21
		5188



Projekt Hotel s wellness

Výchozí stav

Předmětem realizace je energeticky úsporný projekt vytápění rodinného penzionu. V penzionu je celkem 11 pokojů a dva apartmány pro celkem 42 hostů. Dále je zde restaurace s 50 místy. Objekt není napojen na rozvody zemního plynu a v kotelně se dvěma kotly s výkonem 2 x 45 kW slouží jako palivo propan, který je uskladněn ve dvou zásobnících v zázemí hotelu. Kotelna zásobuje penzion teplem pro vytápění a přípravu TV. Celková spotřeba tepla pro vytápění činí cca 325 GJ/rok a pro přípravu TV 125 GJ/rok.

V rámci rozvoje služeb bylo v suterénu budovy vybudováno malé wellness centrum. Potřeba tepla pro ohřev vody pro toto lázeňské centrum zvedla na jedné straně spotřebu tepla i v období mimo topné sezony, současně ovšem vytvořila podmínky pro využití tepla v rámci kombinované výroby tepla a elektrické energie.

Popis řešení projektu

Stávající kotle jsou doplněny o kogenerační jednotku na bázi Stirlingova motoru. Vyrobené teplo bude primárně sloužit k přípravě TV a pro ohřev vody pro wellness.

Technické parametry kogenerační jednotky se Stirlingovým motorem

Typ jednotky:	CLEANENERGY C9G
Typ motoru:	2 válce, 90°, V Stirlingův motor, Alfa uspořádání
Objem válců:	160 cm ³
Síťové připojení:	400 V, 50 Hz, 3 fáze
Výkon hořáku:	16-40 kW
Elektrický výkon:	2-9 kW
Tepelný výkon:	8-25 kW
Elektrická účinnost:	25 %
Celková účinnost:	96 % dle paliva
Druh paliva:	propan
Spotřeba paliva:	35,4 kWh/h
Pracovní plyn:	helium
Tlak pracovního plynu:	20-150 bar
Servisní interval:	6 000-8 000 hodin
Životnost:	17-29 let (120 000 provozních hodin)
Vnější rozměry:	1 280 x 700 x 980 mm
Hmotnost:	460 kg
Hlučnost:	< 58 dB
Emise CO (při 5 % O ₂):	50 mg/m ³
Emise NOx (při 5 % O ₂):	80 mg/m ³

Ekonomika projektu

Celkovou výši investičních nákladů na instalaci vlastní kogenerační jednotky vč. připojení na topný systém a jeho regulaci a napojení na nové spalínové cesty činí cca 1,2 mil Kč. Z toho cena vlastní jednotky činí 845 000 Kč, náklady jsou tedy oproti standardnímu řešení s běžnými plynovými kotli o cca 800 000 Kč vyšší. Pro výpočet je investice navýšena o vyvedení elektrického výkonu cca 100 000 Kč.

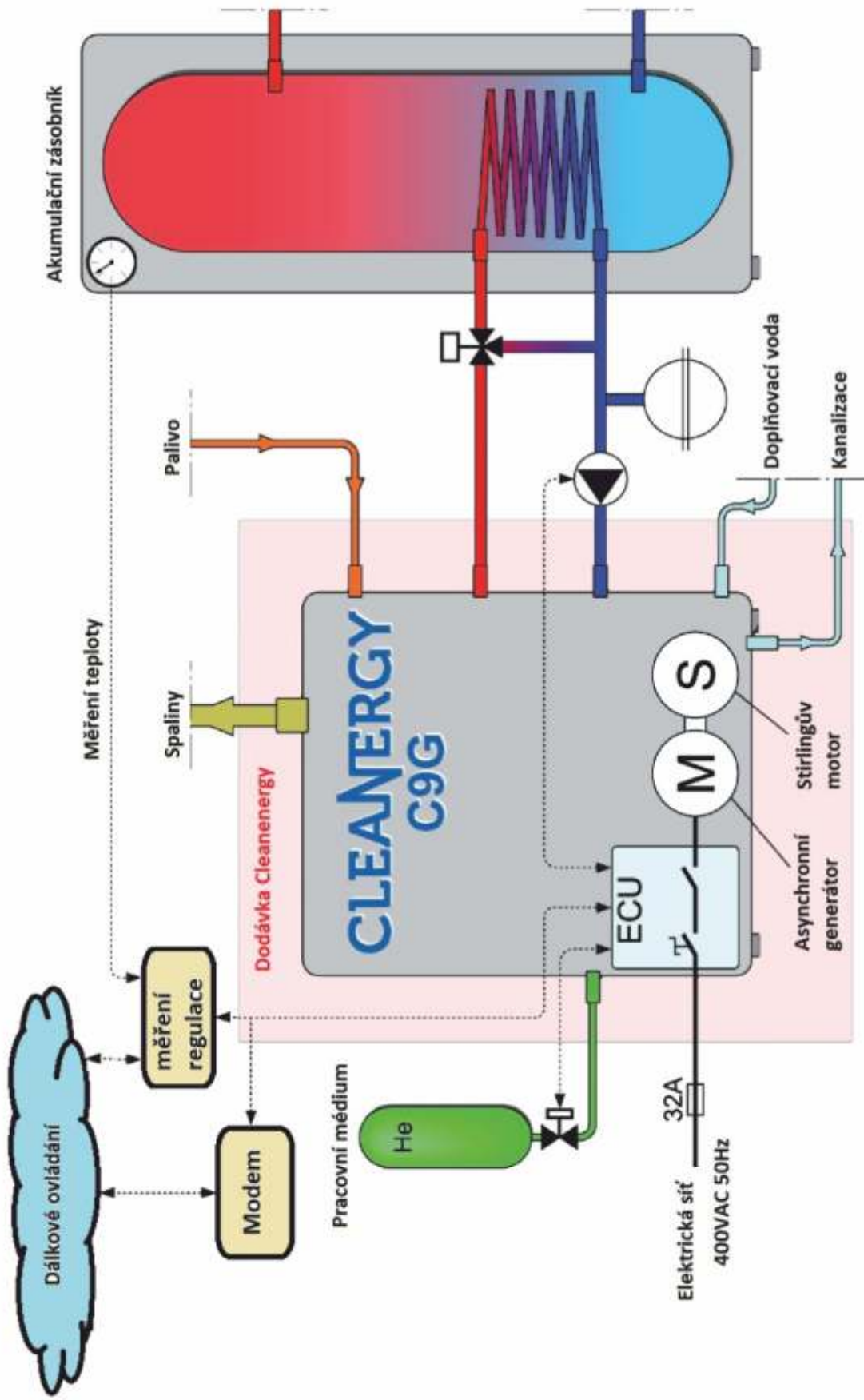
Pro výpočet byly dále použity následující předpoklady:

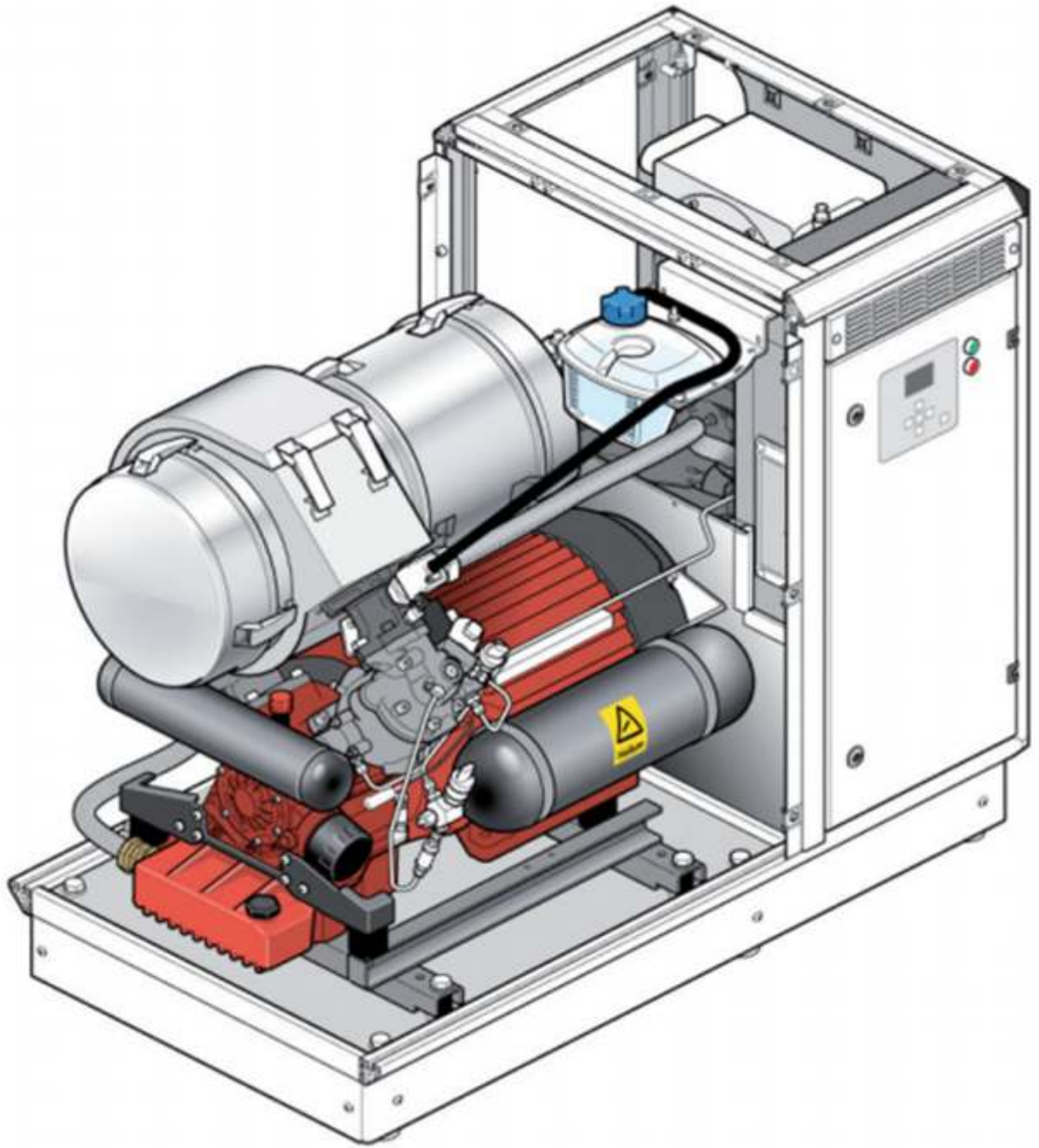
- Celková roční doba provozu je do **4 400 hodin/rok**
- Pro výpočet se předpokládá jednotka s elektrickým výkonem **9 kW** a tepelným výkonem **25 kW**
- Celková roční výroba elektrické energie tedy činí **39 MWh**
- Cca 95 %, tedy **37,2 MWh/rok** bude sloužit pro vlastní spotřebu a nahradí tedy elektrickou energii v ceně odpovídající součtu ceny za distribuci a silovou elektřinu (1 511 + 1 732 =) **3 243,- Kč/ MWh (bez DPH)**
- Přebývající nevyužitá vyrobená elektrická energie ve výši 2 MWh/rok bude prodávána do sítě za cenu **850,- Kč/MWh**
- Příplatek za kombinovanou výrobu pro provoz do 4 4000 hodin ročně činí **1 640,- Kč/MWh** (dle Cenového výměru ERU)
- Suma ostatních příplatků (za decentralizovanou výrobu, snížení systémových služeb a daň z elektřiny) činí celkem cca **150,-Kč/MWh**

Pro určení přínosu a čisté návratnosti instalace kogenerační jednotky se Stirlingovým motorem lze sestavit následující tabulku:

	Provoz	Náklady	Výnosy	Jednotky
Provoz	4 350			hod/rok
Elektrická energie	39			MWh/rok
			192	tis.Kč/rok
Teplo	109			MWh/rok
	391			GJ/rok
			233	tis.Kč/rok
Plyn	164			MWh/rok
	592			GJ/rok
		313		tis.Kč/rok
Údržba		10		tis.Kč/rok
Náklady celk.		323		tis.Kč/rok
Tržby celkem			425	tis.Kč/rok
Výnos			101	tis.Kč/rok
Investice			900	tis.Kč
Prostá návratnost			8,9	roky

Schéma zapojení







Stirlingův motor







Projekt BPS Moravská Třebová

Charakteristika projektu

Předmětem projektu je využití odpadního tepla z provozu bioplynové stanice prostřednictvím jednotky ORC.

Výchozí stav

Bioplynová stanice je umístěna v zemědělském areálu Školního statku Střední zemědělské školy v Moravské Třebové. Proces mokré fermentace využívá konceptu dvou jímek, tzv. kruh v kruhu, kde nad vnitřním kruhem je osazen nízkotlaký zásobník plynu – plynojem (800 m³). Jako vstupní surovinu využívá kukuřičnou siláž, hovězí hnůj a kejdu.

- Kukuřičná siláž – 37 t/den
- Chlévská mrva a kejda – 8 t/den
- Travní siláž – 5 t/den

Vyrobený bioplyn je spalován ve dvou kogeneračních jednotkách DEUTZ s celkovým tepelným výkonem 1 040 kW a elektrickým výkonem 980 kW. Kogenerační jednotky a technické zázemí jsou vestavěny do stávajícího objektu. Vyrobená elektrická energie slouží pro potřeby vlastního areálu. Průměrná roční výroba sedle ročního období pohybovala v rozmezí 720-810 kW. Odpadní teplo je využíváno pouze částečně – pro vytápění přilehlých částí areálu.

Popis řešení projektu

Přebytek odpadního tepla slouží k výrobě elektrické energie prostřednictvím ORC jednotky společnosti Green Machine, která využívá pro transformaci tepla na mechanickou energii šroubový expandér. Jako teponosné médium na vstupu se používá pouze horká nebo teplá voda o teplotě již od 77° C. Výhodou je nízkootáčkový a nízkoteplotní provoz s mazáním prostřednictvím pracovní kapaliny. Vstupním médiem pro jednotku ORC je voda z chlazení kogeneračních jednotek.

Základní provozně technické údaje

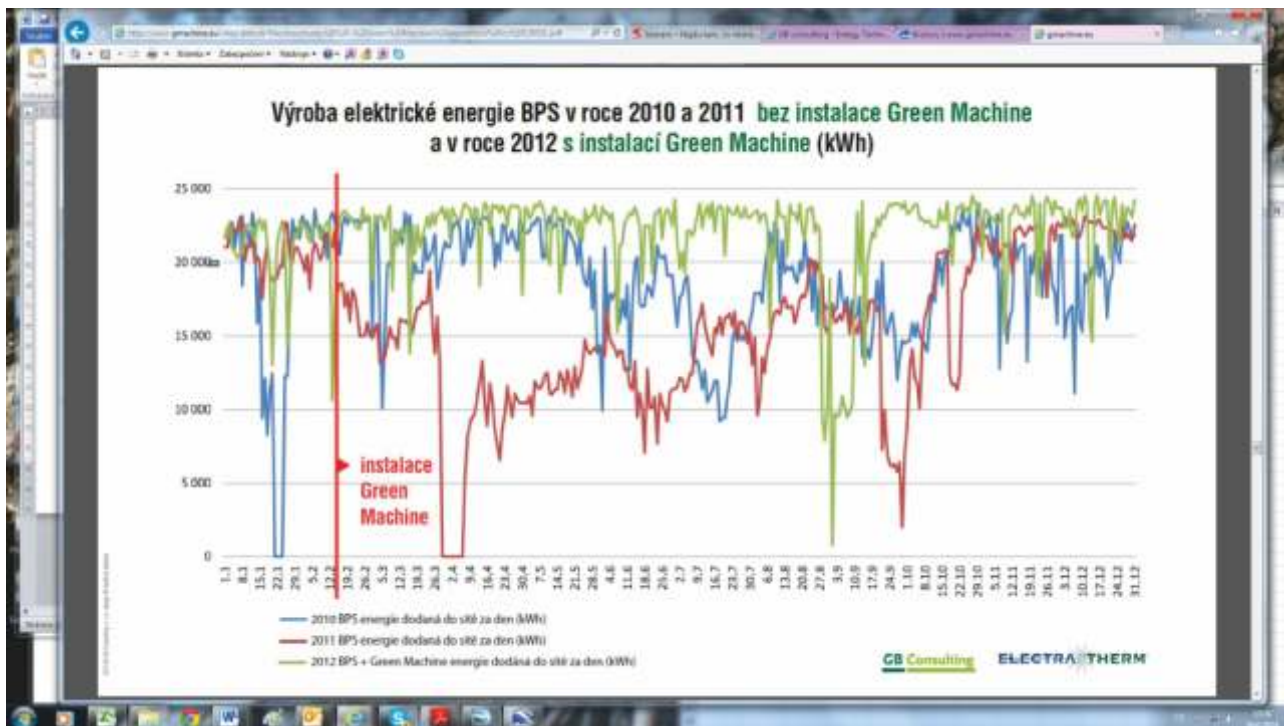
Teplotní spád vstupní topné vody z KGJ :	92/82° C
Teplotní spád chladicího okruhu z chladiče:	max. 38/29° C
Průtok topné vody do Green Machine :	10 l/s
Průtok chladicí vody chladiče kondenzátoru:	max. 14 l/s
Max. tepelný příkon z KGJ :	550 kW
Počet provozních hodin za rok je:	8 200/ročně

Výkonové parametry

- Průměrný roční hrubý výkon jednotky Green Machine při těchto vstupních parametrech je 36 kWe/h při Ø venkovní teplotě v ČR 8,6° C
- Průměrná vlastní spotřeba vnitřního čerpadla Green Machine je max 2kW/h a průměrná max. spotřeba chladičů je 2 kW/h tj. při Ø venkovní teplotě v ČR 8,6° C
- Maximální okamžitý výkon Green Machine je až 39 kWe/h (zimní období)

Ekonomika projektu

Kromě výroby elektrické energie jednotkou ORC z odpadního tepla je přínosem i stabilizace provozu vlastních kogeneračních jednotek – viz graf.



Tím došlo k navýšení tržeb za vyrobenou elektrickou energii oproti výchozímu stavu o cca 17,4 %. Přehledně jsou shrnuty výsledky srovnání let 2010 a 2012 (období od spuštění jednotky 15. 2. 2012 do konce roku).

Tyto skutečnosti byly zahrnuty do následujícího výpočtu návratnosti:

Dispoziční množství tepla – průměrný výkon agregátu	450	kWt
Teplota média na vstupu do Green Machine	95	°C
Hrubá vyrobená elektřina za hodinu 43 kW	36,0	kW
Čistá vyrobená elektřina za hodinu (po odečtu vnitřní spotřeby Green Machine)	33,5	kW
Počet provozních hodin Green Machine a KGJ (předpoklad)	8 200	hod/rok
Čistá vyrobená elektřina za den (24 hodin) z Green Machine	803,7	kWh
Čistá vyrobená elektřina za rok z Green Machine	274,6	MWh
Úspora na chlazení KGJ za rok (viz. vlastní spotřeby za chlazení KGJ)	30,9	MWh
Celková energie za rok pro prodej / vlastní spotřebu	305	MWh
Předpoklad zvýšení účinnosti KGJ za hodinu výroby energie instalací Green Machine	20	kW
Předpoklad zvýšení účinnosti KGJ za rok výroby energie instalací Green Machine	164	MWh
Předpokládaná produkce Green Machine se zvýšenou účinností KGJ	469	MWh
Pokrytí vlastní spotřeby BPS v rámci výkupních cen	4,12	Kč/kWh
Ekonomický přínos (tržby celkem za rok)	1 934	tis.Kč/rok
Roční náklady na údržbu (4 000 EUR)	100	tis.Kč/rok
Ekonomický přínos (tržby celkem za 20 let životnosti a provozu Green Machine)	687	tis.Kč
Celková cena instalace Green Machine na klíč 6 450 000 Kč	6 450	tis.Kč
Prostá návratnost Green Machine 2,96 roku	3,5	let









Projekt RUMPOLD Jihlava

Charakteristika projektu

Předmětem projektu je využití odpadního tepla z provozu spalovny nebezpečného odpadu prostřednictvím jednotky ORC.

Výchozí stav

Firmy skupiny Rumpold poskytují komplexní služby v oblasti nakládání s odpady. Společnost klade důraz na materiálové i energetické využití odpadů. Za tímto účelem provozuje zařízení na třídění a úpravu odpadů, biodegradační plochy, kompostárny, solidifikační jednotku, závod na výrobu tuhých alternativních paliv, atd.

Společnost Rumpold provozuje mimo jiné i spalovnu nebezpečného odpadu v Jihlavě. Spalovna se nachází v areálu společnosti Motorpal Jihlava a v rámci využití tepla spalin je součástí technologie výroba topné vody pro vytápění areálu.

Tepelná energie je ve spalovně získávána ze spalin ve výměníku o tepelném výkonu 1 500 kW. V uplynulém období byla produkce tepla využita topným obdobím k vytápění sousedních průmyslových areálů. Mimo topné období je pouze malá část tepla používána pro přípravu TV.

Společnost Rumpold je tedy nucena řešit maření nebo využití odpadního tepla ze spalování nemocničního odpadu.

Výchozí údaje a předpoklady

- | | |
|--|--------------------------|
| • Roční využití | 7 800 hod / rok |
| • Celkový tepelný výkon v topné vodě | 1500 kW |
| • Vlastní spotřeba elektrické energie | 198 120 kWh / rok |
| • Odpovídající průměrný elektrický příkon pro dobu provozu | 25,4 kW |

Popis řešení projektu

Pro zvýšení energetického využití odpadů a zlepšení ekonomiky provozu spalovny byl v roce 2013 realizován projekt „ORC systém GREEN MACHINE pro spalovnu odpadů Jihlava“. Jde o systém přeměny tepla na elektrickou energii pracující na principu uzavřeného organického Rankinova cyklu (ORC).

System je v jihlavské spalovně řešen tak, že umožňuje tři varianty provozu. Výhradně výrobu elektrické energie v letním období, kdy není odběr tepla od zákazníků. Kombinovanou výrobu tepla a elektrické energie v zimním období i výhradní zajištění dodávek tepla zákazníkům v případě ekonomické výhodnosti. Vyrobena elektrická energie bude v první řadě pokrývat spotřebu vlastní spalovny a tak snižovat náklady na nákup elektrické energie. Dále bude nevyužitá elektřina prodávána do veřejné sítě.

Dalším ekonomickým pozitivem je získání cenového bonusu k ceně elektrické energie dodané do veřejné přenosové soustavy, ale i k množství elektřiny spotřebované pro vlastní spotřebu.

Základní provozně technické údaje

Green Machine
Počet hodin provozu

Zdroj tepla

Použitelné teplo

Dosažená teplota přiváděné vody

Průměrný výkon Green Machine

ORC series 4000 WC

4 500 hodin

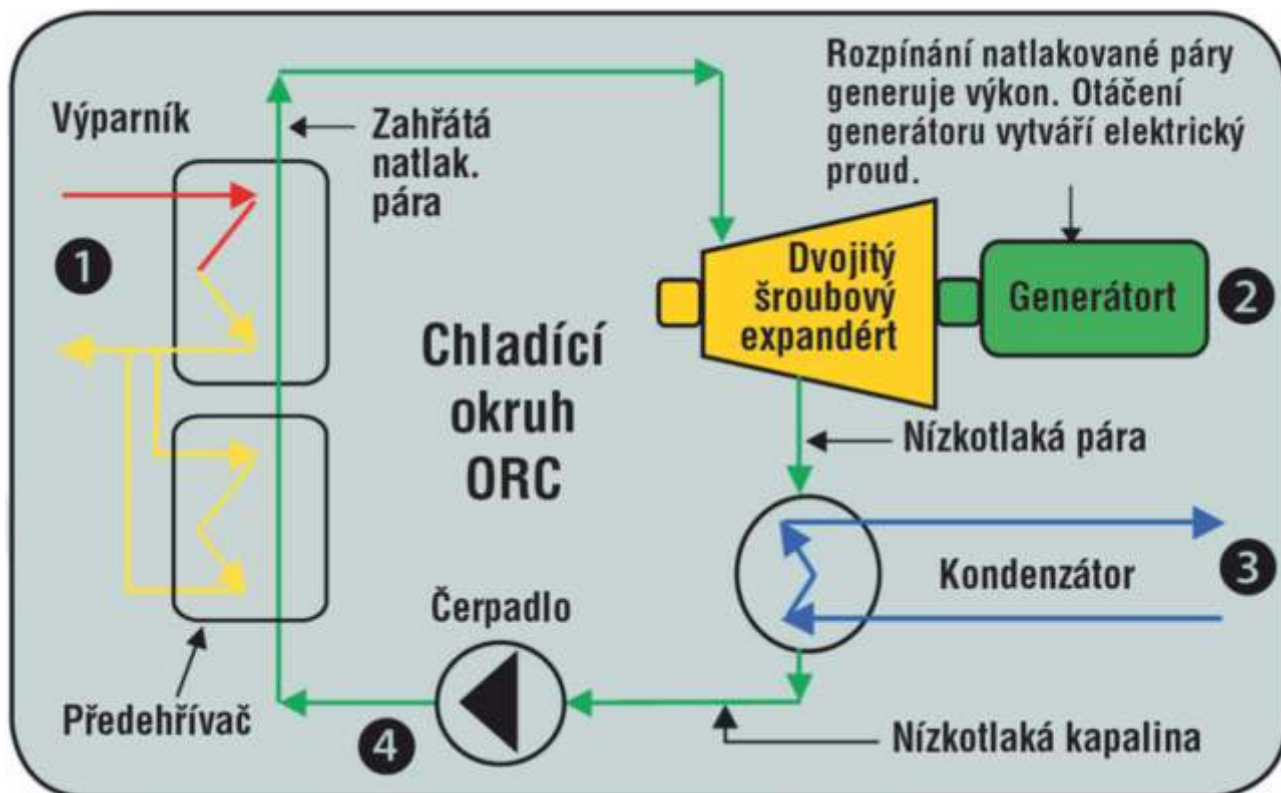
kotel 1 500 kW

1 200 kW

102 °C

44 kW

Schéma ORC



ORC jednotka s 2 chladiči	6 274 000,-
Chladič přebytečného výkonu	650 000,-
Trafo s náhradním zdrojem a připojením	550 000,-
Rezervní kabel	148 000,-
Připojovací poplatek	20 000,-
Úprava spalínového výměníku pro instalaci ORC systému	340 000,-
Celkové investiční náklady	7 982 000,-

INVESTICE DO EL.ENERGIE ZA ROK 2011 - nákup MOTORPAL

Spotřeba energie spalovny za rok 2011	198 120 kW/rok
Cena za kWh nákup pro rok 2011	4,4 Kč/kW
Celkové náklady za el. energii pro rok 2011	871 728,- Kč/rok
Čistá vyrobená elektřina za rok	kW/rok
Přímá spotřeba pro provoz spalovny 70% el.en.	138 684 kW/rok
Cena za přímou spotřebu spalovny - nákup el.en.	610 210,- Kč/rok
Nepřímá spotřeba pro provoz spalovny 30% el.en.	59 436 kW/rok
Cena za nepřímou spotřebu spalovny - nákup el.en.	261 518,- Kč/rok

PARAMETRY ORC GREEN MACHINE

Doba chodu za rok	5 800 h/rok
Předpokládaná teplota na vstupu do ORC	103 °C
Průměrný čistý vyrobený výkon	41 kW
Čistá vyrobená elektřina za rok	237 800 kW/rok
Pokrytí celkové provozní potřeby spalovny	138 684 kW/rok
Přebytky elektrické energie prodávané do sítě	99 116 kW/rok
EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ – ORC	
Současná nákupní cena Motorpal	4,4 Kč/kWh
Prodejní cena el.en. z ORC do sítě	1,0 Kč/kWh
Nákupní cena přes trafostanici - mimo Motorpal	2,5 Kč/kWh
Úspora na nákupu el. energie Motorpal/ORC	610 210,- Kč/rok
Prodej el.en. do sítě - přebytky el.en. z ORC	99 116,- Kč/rok
Nákup el.en. od distributora 5% z celkové potřeby el.en	148 590,- Kč/rok
Úspora investic za el.en. při instalaci ORC	560 736,- Kč/rok

