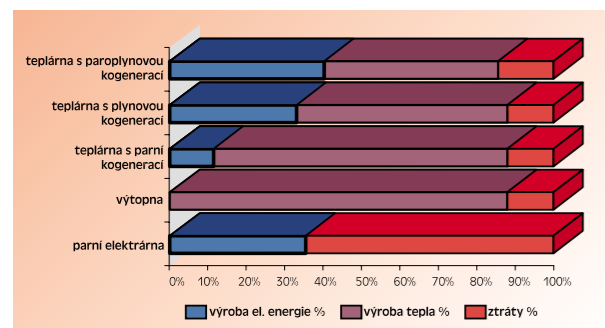


# Kombinovaná výroba elektřiny a tepla

Při výrobě elektřiny spalováním fosilních paliv nebo biomasy vždy vzniká teplo. Principem kogenerace, tj. **kombinované výroby tepla a elektrické energie**, je toto teplo využít a zvýšit tak účinnost využití paliv.

Při výrobě elektřiny v současných velkých tepelných (uhelných a jaderných) elektrárnách se využije zhruba 32 % energie obsažené v palivu; zbytek bez užítu odchází do vzduchu chladicími věžemi. Na druhé straně u nás existují tisíce městských výtopen a větších kotelen, které z uhlí vyrábějí pouze teplo, ačkoli by mohly zároveň produkovat i elektřinu.

V teplárnách a jiných kogeneračních zařízeních, kde se teplo vyrábí společně s elektřinou, je spotřeba paliv na jednotku vyrobené energie **nížší**. Tomu odpovídá i snížení emisí škodlivin v globálním měřítku. Kogeneraci lze velmi dobře využít ke **zvýšení efektivity malých zdrojů** a k **decentralizaci výroby elektřiny**, která s sebou nese také snížení ztrát v elektrorozvodné síti a vyšší bezpečnost dodávek – výpadek jednoho menšího zdroje nemá významný vliv.

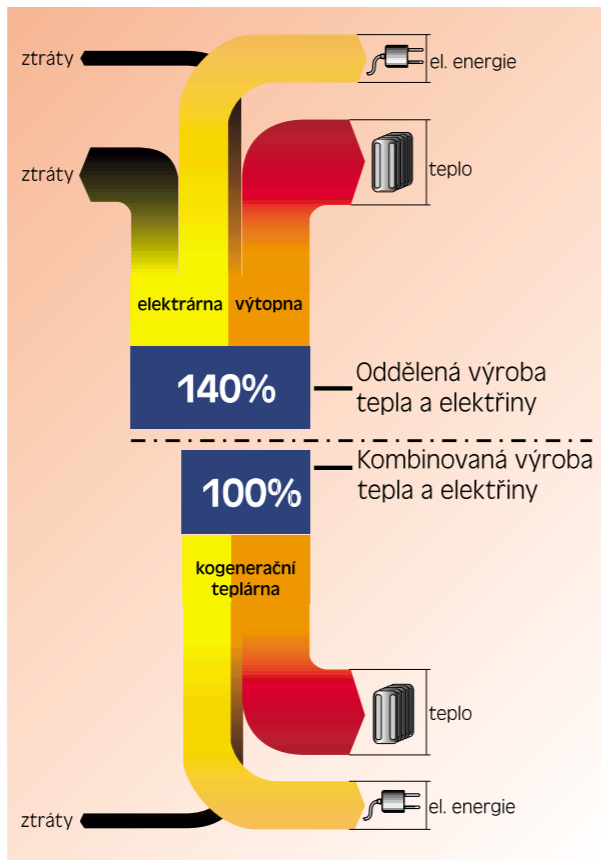


Rozdělení tepla přivedeného v palivu na výrobu elektřiny, tepla a tepelné ztráty v jednotlivých typech kombinované a oddělené výroby. Zdroj: EkoWATT

## Velká kogenerační zařízení

Lze se s nimi setkat hlavně v městských teplárnách a podnikových zařízeních. Jejich výkon je ve stovkách kW až několika MW.

**Kogenerační jednotka se spalovací turbínou** – skládá ze soustrojí **spalovací turbína-generátor** vyrábějícího elektřinu a ze **spalinového kotle**. Spaliny z turbíny jsou přiváděny do spalinového kotle k výrobě tepla ve formě **páry** nebo **horké** resp. **teplé vody**. Při požadavku na zvýšení tepelného výkonu spalinového kotle je instalován tzv. **dohořovací (přihřívací) hořák** na zemní plyn, který je vřazen do spalin proudících z turbíny do kotle –



Porovnání účinnosti výroby energie. © EkoWATT

spaliny používá jako oksyličovadlo a zvyšuje jejich teplotu z cca 450–600 °C na maximální teplotu 900 °C. Hlavní výhodou kogeneračních jednotek se spalovací turbínou proti jednotkám se spalovacím motorem je možnost volby média, kterým je odváděno teplo ze spalinového kotle. Kogenerační jednotky se **spalovacími turbínami** se dodávají o elektrickém výkonu v rozsahu od cca 1 MW do 200 MW.

Stupeň konverze energie obsažené v primárním palivu na elektřinu je oproti parní kogeneraci podstatně vyšší, cca 23–41 %, účinnost výroby tepla je cca 35–57 %. Celková účinnost využití energie v palivu činí cca 68–90 %. Cenou za vyšší podíl vyráběné elektřiny je ale nutnost spalování plynného paliva, většinou drahého zemního plynu.

**Parní kombinovaná výroba elektřiny a tepla** – provádí se prostřednictvím páry vyrobené v parním kotli pomocí fosilních či nefosilních paliv (např. hnědé uhlí, biomasa). Pára se přivádí do **parního motoru**, **protitlaké** nebo **kondenzační odběrové** parní turbíny, kterými se po-

hání generátor elektrické energie. Teplo ve formě páry, jejíž tlak odpovídá konstrukci stroje nebo požadované teplotní úrovni tepelné energie, se odebírá z výfuku parního stroje, z protitlaku (odběru) parní turbíny.

Pro nižší elektrické výkony (cca 50 kW – 15 MW) jsou dodávána soustrojí s protitlakými turbínami **axiálními** nebo **radiálními** (pro vyšší výkony pouze s turbínami axiálními), které pohání přes převodovku alternátor. Z hlediska dosahované termodynamické účinnosti jsou výhodné moderní rychloběžné radiální turbíny jednostupňové nebo dvoustupňové s malou měrnou hmotností a krátkou dobou najíždění. Turbíny axiální i radiální jsou v uvedeném výkonovém rozsahu konstruované pro vstupní/výstupní tlak páry 0,9–6,5/0,1–0,7 MPa a teplotu páry 200–450 °C. Regulace elektrického výkonu soustrojí je zajištěna regulačním ventilem na přívodu páry do turbíny, případně navíc natáčivými statorovými lopatkami.

Celková účinnost využití energie obsažené v primárním palivu je cca 77–87 %, přičemž dominantní je účinnost výroby tepla (v závislosti na tlaku před a za turbínou cca 62–76 %). Účinnost výroby elektřiny se pohybuje mezi 8–20 %. Stupeň zhodnocení primárního paliva na elektřinu je tedy nízký. Oproti plynové kogeneraci je však výhodou možnost spalování levného paliva (uhlí) nebo obnovitelného paliva – biomasy.

**Paroplynová kombinovaná výroba elektřiny a tepla** – je snahou o maximální podíl výroby elektřiny, což je zajištěno kombinací dvou turbosoustrojí se spalovací a parní turbínou.

Pára, která se vyrábí ve spalinovém kotli s využitím odpadního tepla ze spalovací turbíny, pohání soustrojí s parní turbínou. Někdy se část vyrobené páry vstříkují do spalovací komory spalovací turbíny. Teplo se získává ze spalin spalovací turbíny a z protitlaku (odběru) parní turbíny. Ojedinele se vyskytuje i kombinace parní turbíny se spalovacím motorem.

Jinými slovy pára vyrobená v kotli využitím tepla spalin ze spalovací turbíny pohání **ještě** parní turbínu. Poměrem dodávky paliva do spalovací komory turbíny a spalinového kotle je potom dán poměr výkonu spalovací a parní turbíny. U větších instalací se obvykle používá dvoutlakového spalinového kotle a tomu odpovídající dvoutlakové parní turbíny. Poměr elektrických výkonů turbosoustrojí se spalovací a parní turbínou je většinou přibližně 3:1 až 4:1.

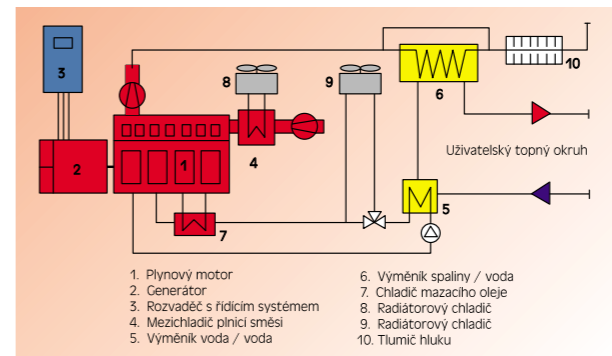
Podstatou tohoto typu kombinované výroby tepla a elektrické energie je dosažení **maximálního podílu výroby elektrické energie**, který může **přesáhnout až 44 %** z přivedeného tepla v palivu. Jinak v paroplynovém cyklu platí stejné možnosti a omezení jako u cyklu plynového.

Typ teplárny	Podíl výroby elektřiny a tepla $Q_{EL}/Q_{TEP}$	Účinnost elektrická	Účinnost tepelná	Účinnost celková	El. výkon teplárny (MW)
		(%)	(%)	(%)	
S parním strojem	0,16–0,25	8–12	60–67	68–87	0,1–2
S parními turbínami	0,24–0,34	12–15	6–8	72–80	0,15–100
Se spalovacími motory	0,7–1	32–41	44–53	82–90	0,1–10
Se spalovacími turbínami	0,5–0,8	23–38	36–50	68–85	2–100
Paroplynové	0,5–1,5	35–44	32–50	78–87	5–200 a více

Základní parametry jednotlivých typů kombinované výroby elektřiny a tepla. Zdroj: EkoWATT

## Malé kogenerační jednotky

Běžné kogenerační jednotky mají obvykle relativně malý výkon, desítky až stovky kW elektrického výkonu. Jejich základní částí je obvykle **pístový spalovací motor**, který pohání generátor proudu. Palivem je nejčastěji zemní plyn, někdy bioplyn nebo skládkový plyn. Palivem může být i dřevoplyn, získávaný v generátoru dřevoplynu, ale také rostlinný olej.



Blokové schéma kogenerační jednotky. © EkoWATT

**Kogenerační jednotka se spalovacím motorem** se skládá ze zážehového spalovacího motoru, který pohání generátor vyrábějící elektřinu, a z výměníků pro využití odpadního tepla z motoru. Odpadní teplo z motoru je odváděno pomocí dvou výměníků na dvou teplotních úrovních. První výměník odvádí teplo z bloku motoru a z oleje na úrovni cca 80–90 °C. Druhý výměník odvádí teplo z odcházejících výfukových spalin o teplotě cca 400–500 °C. Výměníky jsou z hlediska průtoku tepelného média zapojeny do série. Obvykle jsou kogenerační jednotky koncipovány pro dodávku tepla do

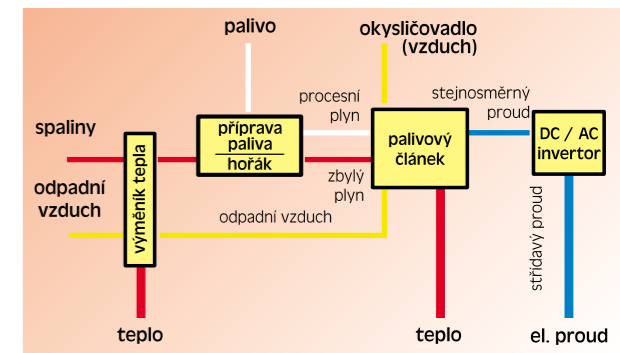
teplovodního systému 90/70 °C, méně již do systému 110/85 °C resp. 130/90 °C. **Kogenerační jednotky se zážehovými spalovacími motory** se dodávají o el. výkonech v rozsahu od cca 20 kW do 5000 kW. Na trhu bohužel chybí nejmenší zařízení pro rodinné domky s tepelným výkonem 5–10 kW.



Základem mnoha kogeneračních jednotek je upravený motor z automobilu, na snímku bez protihlukového krytu. Foto: EkoWATT

## Palivové články

**Kombinovaná výroba elektřiny a tepla palivovými články** je založena na principu chemické reakce plynu s oksyličovadlem v tzv. **palivovém článku** tvořeném vhodnými elektrodami a elektrolytem. Palivo a oksyličovadlo se na katalytickém povrchu elektrod ionizují, ionty jsou vedeny elektrolytem k druhé elektrodě a uvolněné elektrony vytvářejí elektrický proud. Tato přímá přeměna energie chemicky vázané v palivu na energii elektrickou není limitována stejnými termodynamickými principy jako ve spalovacích motorech (Carnotův cyklus) a umožňuje tak dosažení **vyšší účinnosti**. Další výhodou je téměř bezhlučný provoz a minimální či nulové emise škodlivin.



Kogenerace s palivovým článkem na zemní plyn. © EkoWATT

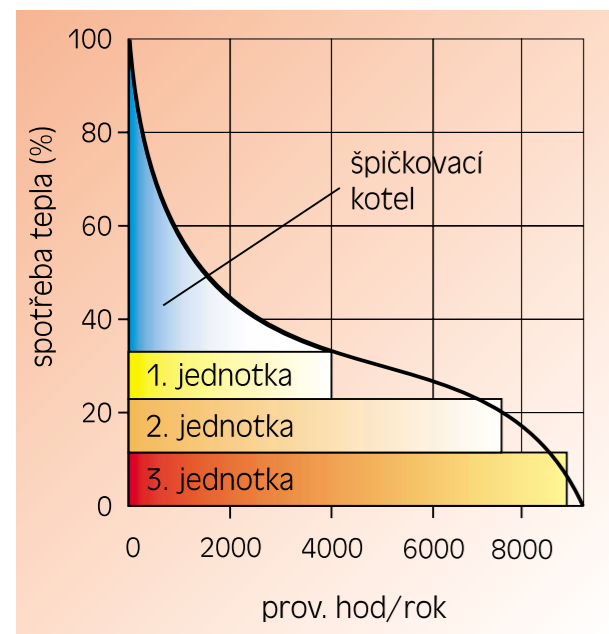
Nejvhodnějším palivem je vodík, který se však obtížně získává, transportuje, skladuje a je drahý. Proto existují i články, které používají zemní plyn nebo jiný uhlovodíkový plyn. Okysličovadlem je vždy vzduch. Produktem reakce je **voda** – jedná se o proces inverzní k elektrolýze vody. V palivovém článku je vyráběn **stejnoseměrný** elektrický proud, pro dodávku vyrobené elektřiny do sítě je tedy nutnou součástí technologie **střídač**. Palivové články jsou však pro komerční využití zatím stále příliš drahé.



Autíčko poháněné vodíkovým palivovým článkem. Foto: HFC Technologies

## Použití

Z technického hlediska lze kogenerační jednotkou nahradit jakýkoli zdroj tepla (kotel) srovnatelného výkonu. Aby však byla instalace kogenerační jednotky ekonomicky výhodná, je potřeba, aby během roku běžela co nejvíce hodin. Proto bude pracovat neefektivněji tam, kde je celoročně stálý odběr tepla. Takovým místem mohou



Pokrytí roční spotřeby tepla třemi kogeneračními jednotkami a špičkovacím kotlem. © EkoWATT

být ubytovací zařízení (hotely, penziony, internáty), bazény, nemocnice, obecní a městské výtopny, sídlištní blokové kotelny a různé průmyslové podniky. Ve větších zařízeních bývá kogenerační jednotka jen základním zdrojem tepla, který bude během zimních špiček doplněn běžným kotlem.

Velikost kogenerační jednotky se nejčastěji odvozuje od spotřeby tepla v daném objektu. Kogenerační jednotka může pokrývat základní spotřebu tepla, špičky pak pokrývá jiný zdroj, např. plynový kotel. Častější je však volba výkonnější jednotky v kombinaci s akumulací tepla. Pak se kogenerační jednotka uvádí do provozu tak, aby dodávala proud v době, kdy je nejvýhodnější tarif výkupních cen elektřiny.

Vyrobenou elektřinu je možno spotřebovat přímo v objektu nebo ji prodat do sítě. První způsob je obvykle, vzhledem k prodejním a výkupním cenám elektřiny, výhodnější. Je také možné, aby kogenerační jednotka byla jediným zdrojem elektřiny v objektu. V tomto tzv. **ostrovním provozu**, bez připojení na síť, vzrůstají náklady na regulaci.

Pro návrh kogenerační jednotky je třeba znát:

- denní a roční **harmonogram spotřeby tepla a elektřiny**,
- druh požadovaného **teplonosného média**,
- **dostupnost** jednotlivých paliv,
- stávající **instalovaný výkon** kotlů a jejich teplotní a tlakové parametry.

## Ekonomika provozu

Tam, kde má kogenerační jednotka doplnit nebo nahradit stávající zdroj tepla (kotel), bývá rozhodujícím parametrem snížení nákladů na energii díky krytí vlastní spotřeby elektřiny. Při tom je nutné mít odbyt na vyrobené teplo, neboť je ho výrazně více, než elektrické energie. V opačném případě se jednotka nevyplácí. Kogenerační jednotka spotřebuje na výrobu jedné kWh elektřiny zemní plyn v ceně cca 2,30 až 3,80 Kč. Servisní náklady jsou cca 0,40 až 0,60 Kč/kWh vyrobené elektřiny. Je-li cena elektřiny ze sítě vyšší než 4 Kč/kWh, může být výhodné provozovat kogenerační jednotku pro krytí vlastní spotřeby a teplo navíc je „zdarma“. Větším odběratelům elektřiny, kteří platí za připojení elektrický příkon a špičkový odběr, může kogenerační jednotka tyto platby výrazně snížit.

Elektřinu z kogenerační jednotky je také možné prodat do veřejné sítě. Provozovatel distribuční soustavy (ČEZ, E.ON, PRE) je povinen tuto elektřinu vykoupit, jsou-li dodrženy technické podmínky. Pokud je palivem bioplyn, dřevoplyn nebo jiný druh biomasy, jsou výkupní ceny vyšší. Výši výkupní ceny předepisuje pro každý rok zvlášť Energetický regulační úřad ([www.eru.cz](http://www.eru.cz)). Cena se liší podle druhu paliva a velikosti zařízení. U elektřiny



Prototyp malé plynové kogenerační jednotky se Stirlingovým motorem. Foto: EkoWATT

z biomasy lze uplatnit tzv. zelené bonusy v případě, že je elektřina spotřebována ve vlastním objektu výrobce. Ekonomickou efektivitu investice je třeba vždy určit individuálně. Je žádoucí provést pečlivý rozbor provozu, ideálně nechat vypracovat studii proveditelnosti záměru.

## Legislativa

Ačkoli podle platného energetického zákona je možno prodávat jak vyrobené teplo, tak elektřinu, v praxi je velmi obtížné splnit technické požadavky správce tepelné sítě. Proto se kogenerační jednotka navrhuje tak, aby veškeré teplo spotřeboval provozovatel. Elektřinu pak může podle potřeby sám spotřebovat nebo ji prodávat do sítě.



Dvojice menších kogeneračních jednotek pro vytápění a ohřev vody. Foto: EkoWATT

Pokud chceme elektřinu, případně teplo, prodávat, je nutné získat licenci pro podnikání v energetice, kterou vydává Energetický regulační úřad (licence nahrazuje živnostenský list).

Komerčně dostupné kogenerační jednotky splňují příslušné bezpečnostní a emisní parametry, takže jejich instalace je z tohoto hlediska bez problémů. Vzhledem k poněkud hlučnějšímu provozu je třeba při stavebním řízení prokázat, že okolí nebude obtěžováno nadměrným hlukem. Podle hygienických předpisů MZ ČR (vyhláška 13/1977 Sb.) je nejvyšší přípustná hladina hluku ve venkovním prostoru na obytném území příměstském u menších sídelních útvarů ve dne 50 dB a v noci 40 dB. Tyto hodnoty lze při instalaci kogenerační jednotky s protihlukovým krytem dodržet.

## Použitá a doporučená literatura

- [1] Dvorský, E., Hejtmánková, P.: Kombinovaná výroba elektrické a tepelné energie. BEN, Praha, 2006.
- [2] Beranovský, J., Truxa, J.: Alternativní energie pro váš dům. ERA, Brno, 2004.
- [3] Srdečný, K.: Energeticky soběstačný dům. ERA, Brno, 2006, dotisk 2007.
- [4] Hrdlička, F., Dlouhý, T., Kolovratník, M.: Průmyslová energetika. ČVUT, Praha, 2000.

Vydal:

### EkoWATT, Centrum pro obnovitelné zdroje a úspory energie

Švábky 2  
180 00 Praha 8  
tel.: +420 266 710 247  
fax: +420 266 710 248  
e-mail: [info@ekowatt.cz](mailto:info@ekowatt.cz)  
[www.ekowatt.cz](http://www.ekowatt.cz), [www.energetika.cz](http://www.energetika.cz)

Žižkova 1 (budova PVT)  
370 01 České Budějovice  
tel.: +420 389 608 211  
fax: +420 389 608 213

Foto na titulní straně: Kogenerační jednotky v čistírně odpadních vod v Brně, Foto: Motorgas, s.r.o.; Prototyp kogenerační jednotky se Stirlingovým motorem; Foto: EkoWATT  
Texty: EkoWATT – Jiří Beranovský, Monika Kašparová, František Macholda, Karel Srdečný, Jan Truxa  
Grafický návrh: Irena a Saša Mandič  
Sazba a tisk: Sdružení MAC, spol. s r.o., © EkoWATT, 2007

Podrobnější informace lze získat také v celostátní síti Energetických informačních a konzultačních středisek České energetické agentury (EKIS ČEA). Seznam středisek je uveřejněn na: [www.i-ekis.cz](http://www.i-ekis.cz).

Publikace je určena pro poradenskou činnost a je zpracována v rámci Státního programu na podporu úspor energie a využití obnovitelných zdrojů energie pro rok 2007 – část A – PROGRAM EFEKT.

Publikace vyšla díky laskavé podpoře České energetické agentury.



# Kombinovaná výroba elektřiny a tepla



Centrum pro obnovitelné zdroje a úspory energie

