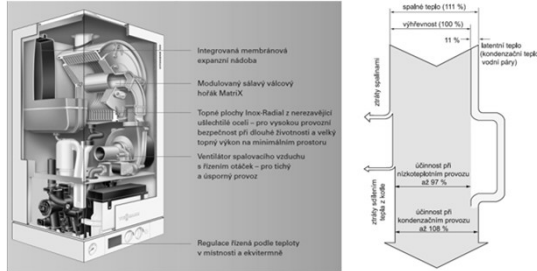


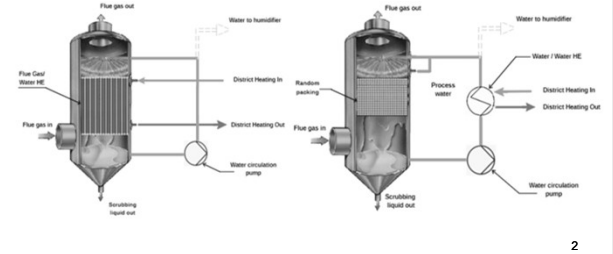
## Využití odpadního tepla ze spalin biomasových kotlů

- spaliny biomasových kotlů obsahují minimum SO<sub>2</sub> a tuhých částic
- nízká teplota turbinového kondenzátu či vratné vody z CZT umožňuje spaliny ochladit až pod teplotu rosného bodu a využít i část skupenského kondenzačního tepla ze spalin
- kondenzační technika se dnes uplatňuje zejména u kotlů na plyn



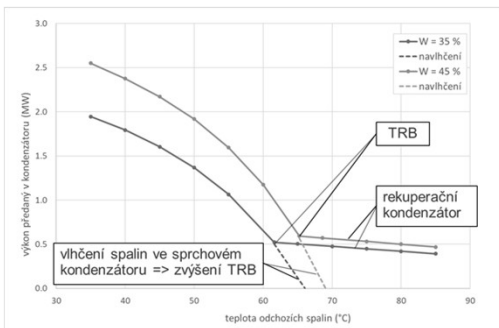
## Využití odpadního tepla ze spalin biomasových kotlů

- pro využití odpadního tepla lze užít
  - dodatkový trubkový výměník – musí být z nerezů
  - sprchový kondenzátor – umožňuje částečný zachyt plyných i tuhých emisí



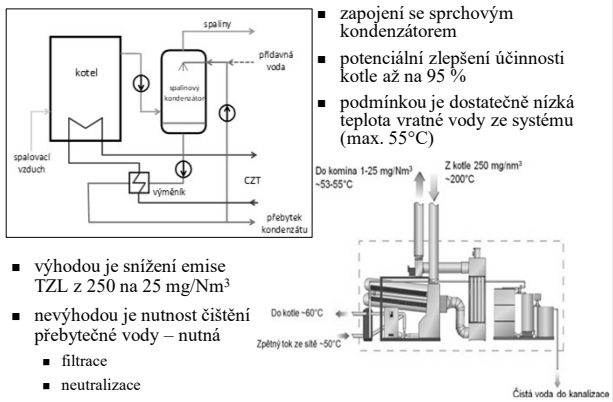
## Využití odpadního tepla ze spalin biomasových kotlů

- Výkon získaný ve spalínovém kondenzátoru
- teplota spalin za kotlem 160 °C,  $\alpha = 1,35$
  - obsah vody v biomase W = 35 a 45 %

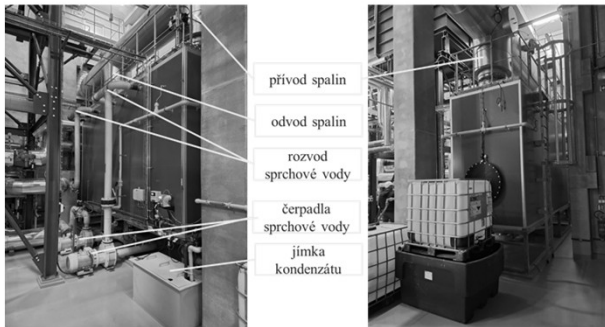


3

## Využití odpadního tepla ze spalin biomasových kotlů

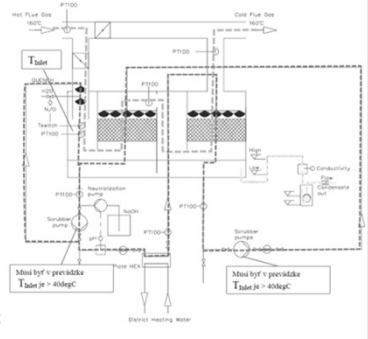


## Sprchový spalínový kondenzátor TDK



## Sprchový spalínový kondenzátor TDK

3 sprchové sekce po proudu spalin:  
 1. sekce QUENCH chladí spaliny k TRB a sytí je vlhkostí  
 sprchová voda stéká do společné jímky s 2. sprchovou sekcí, z níž se též odebírá sprchová voda  
 2. sekce - spaliny jsou sprchovány vodou zachycenou z jímky pod 3. sekcí  
 3. sekce - spaliny jsou sprchovány vodou z jímky pod 2. sekcí, která se před tím ochladí v deskovém výměníku pro ohřev vody z CZT



## Omezení při uplatnění spalínového kondenzátoru

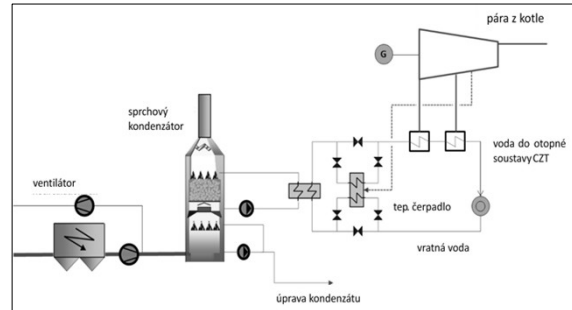
- příliš vysoká teplota vratné vody z CZT
  - je-li teplota vratné vody vyšší než 60 °C, je obtížné spaliny v kondenzátoru ochladit pod TRB
  - podmínky lze zlepšit užitím
    - tepelného čerpadla
    - zvlhčováním spalovacího vzduchu
- omezená možnost využití výkonu spalínového kondenzátoru, např. u parního kotle pro CZT nebo s TG bez CZT – nutno vždy pečlivě zvážit

Kotel		horkovodní	parní
výkon kotle	kW	8000	8000
teplota vody/páry	°C	130	250
tlak vody/páry	MPa	1.7	1.7
teplota vody z CZT	°C	55	55
teplota napájecí vody	°C	62.5	105
průtok vody/páry kotle	t/h	101	11.6
využitelný výkon kondenzátoru	kW	887	102

## Snížení teploty vratné vody tepelným čerpadlem

parou poháněné tepelné čerpadlo

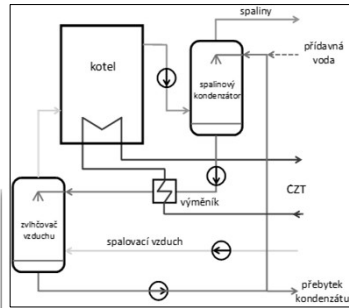
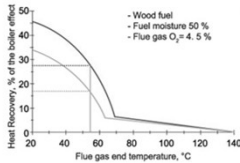
- sníží teplotu vratné vody z CZT, čímž podpoří výkon kondenzátoru
- rekuperací tepla z vratné vody zvýší teplotu vody před parními ohříváky



## Zařazení zvlhčovače spalovacího vzduchu

rekuperaci tepla lze podpořit zvlhčováním spalovacího vzduchu

- spalovací vzduch se ohřeje a nasýtlí vlhkostí ve sprchovém zvlhčovači
- do kotle se tím rekuperuje teplo z dochlazovače
- zvýší se teplota rosného bodu spalin – v dochlazovači lze získat více tepla na vyšší teplotní úrovni

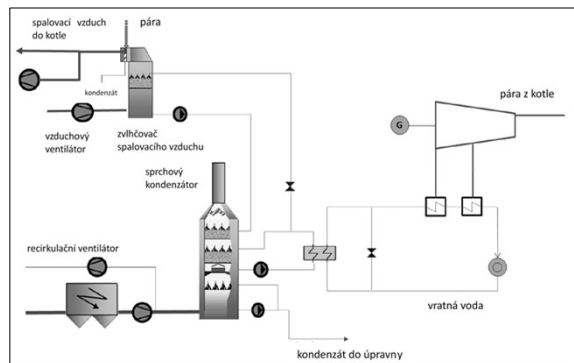


9

## Zařazení zvlhčovače spalovacího vzduchu

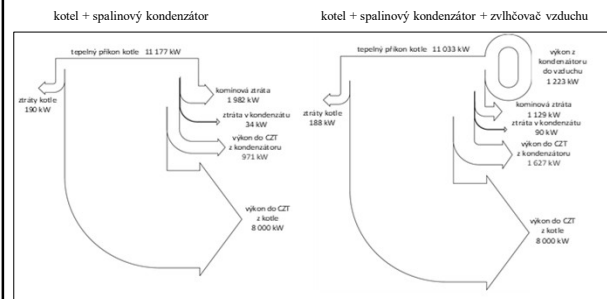
- sprchová voda ohřátá v kondenzátoru projde výměníkem, kde se ochladí a část svého citelného tepla předá do vratné vody z CZT
- z výměníku je vedena do sprchového zvlhčovače spalovacího vzduchu, který je nasáván z okolí
- spalovací vzduch se ohřeje o 20 až 30 °C, přičemž část vody se odpaří a zvýší jeho vlhkost
- ochlazená sprchová voda ze zvlhčovače je použita pro sprchování spalin v kondenzátoru
- očekávaným benefitem tohoto řešení je
  - rekuperace tepla ze spalin do vzduchu
  - zvýšení teploty rosného bodu spalin, takže z kondenzátoru bude odcházet teplejší sprchová voda, cožlepší podmínky pro přenos tepla ve výměníku CZT a přispěje ke zvýšení jeho výkonu.

## Zařazení zvlhčovače spalovacího vzduchu



11

## Zařazení zvlhčovače spalovacího vzduchu



## Zařazení zvlhčovače spalovacího vzduchu

příklad zvlhčovače spalovacího vzduchu – výška 8,5 m, průměr 3,5 m, váha 5,7 t, mat. AISI 304/316



## Zařazení zvlhčovače spalovacího vzduchu

### Pozitiva

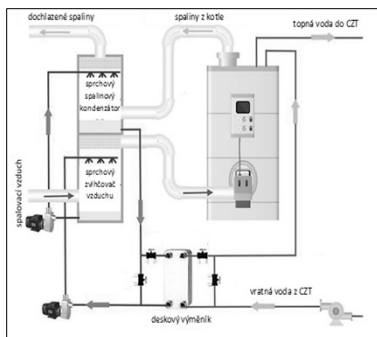
- zařazení zvlhčovače spalovacího vzduchu v kombinaci se sprchovým kondenzátorem spalin lze dosáhnout významného zvýšení výkonu dodávaného do soustavy CZT nebo úspory paliva
- lze docílit zvýšení teploty rosného bodu spalin o 3 až 5 °C, což umožňuje využít energetický potenciál spalinového kondenzátoru i při vyšší teplotě vratné vody
- navlhčení spalovacího vzduchu jen málo ovlivní provozní parametry kotle

### Negativa

- navlhčením spalovacího vzduchu dojde ke snížení spalovací teploty s potenciálním rizikem zhoršení kvality spalování a zvýšení emise CO
- zvýšení vlastní spotřeby elektřiny

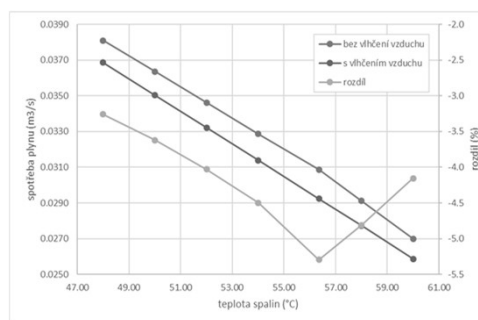
## Vlhčení spalovacího vzduchu u plynového kotle

- za kotel je zapojen kondenzační výměník pro dochlazení spalin, který ohřívá vodu na teplotu cca 45 - 50 °C
- vodou se sprchuje spalovací vzduch, který se ohřeje a navlhčí
- kromě rekuperace tepla a zvýšení TRB je pozitivním efektem snížení emise NO<sub>x</sub> až o 80 %



## Vlhčení spalovacího vzduchu u plynového kotle

- efekt vlhčení spalovacího vzduchu



## CCS-U

carbon capture and storage - utilization  
zachycování a ukládání - využití CO<sub>2</sub> ze spalovacích procesů

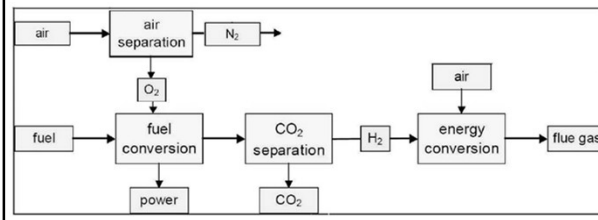
### Základní metody

- pre-combustion – odstranění C (CO<sub>2</sub>) před spalováním => vodíkové technologie
- post-combustion - odstranění CO<sub>2</sub> ze spalin
- oxyfuel – spalování s kyslíkem

17

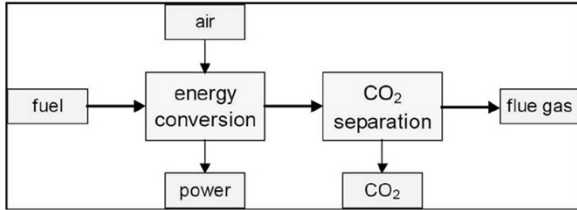
## Pre-combustion

- Zachycení uhlíku ve formě CO<sub>2</sub> před spalovacím procesem (IGCC – integrovaná paroplynová zařízení).
  - zplyňování uhlí,
  - konverze CO na CO<sub>2</sub> reformingem vodní parou,
  - čištění plynu
  - separace CO<sub>2</sub>
  - „zbylý“ plyn obsahující převážně H<sub>2</sub> je spalován



## Post-combustion

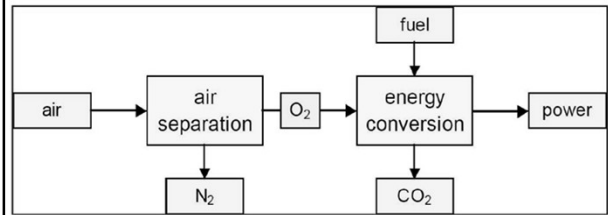
- zachycování  $\text{CO}_2$  ze spalin po spalování paliva vzduchem ve spalovacích zařízeních



19

## Oxyfuel

- spalování s kyslíkem



20

## Spalování čpavku

- spalné teplo amoniaku je 22,5 MJ/kg

### Výhody

- při spalování nevzniká  $\text{CO}_2$
- snadno se ukládá a přepravuje
- lze využít existující infrastrukturu skladovacích nádrží, přepravních lodí a potrubí

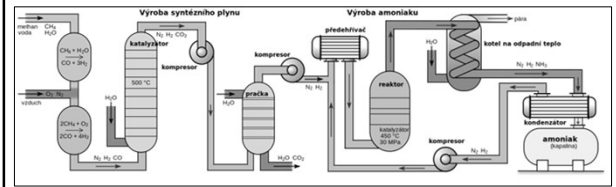
### Nevýhody

- toxicita
- vyšší produkce  $\text{NO}_x$  při spalování
- konvenční metoda výroby čpavku je energeticky náročná

21

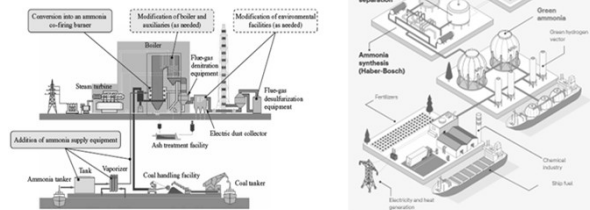
## Spalování čpavku

- výroby amoniaku Haber-Boschovou metodou – přímou syntézou vodíku s dusíkem
- reakce exotermní, bez přítomnosti katalyzátorů však probíhá velmi pomalu
- jako katalyzátor slouží železo nebo ruthenium
- zdrojem vodíku je zemní plyn, který prochází za přítomnosti niklového katalyzátoru parní reformingem, konverzí vodního plynu a odstraněním  $\text{CO}_2$
- dusík a vodík procházejí čtyřmi vrstvami katalyzátoru, mezi každým průchodem jsou chlazeny kvůli udržení přijatelné rovnovážné konstanty
- konverze probíhá při tlaku 15–25 MPa a teplotě 400–500 °C
- během každého průchodu dochází ke jen asi 15% konverzi, nezreagované plyny jsou recyklovány a výsledná konverze dosahuje asi 97 %.



## Spalování čpavku

- v poslední době se intenzivně pracuje na výrobě „zeleného“ čpavku s využitím „zeleného“ vodíku
- Japonsko hodlá snížit spotřebu uhlí spoluspalováním 50 % čpavku ve svých elektrárnách



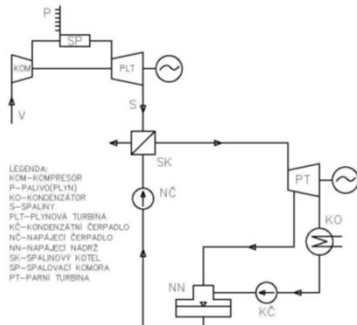
23

## Repowering

- jde o modernizaci provozovaných uhelných elektrárněnských zařízení předřazením spalovacích turbín před existující dominantní parní oběh
- principiálně by bylo možné repowering řešit několika způsoby a to jako
  - site repowering – z původního zdroje je zachován pouze chladicí okruh, zbytek nahrazen paroplynovým zařízením
  - combined cycle repowering – stávající kotel nahrazen kotlem na odpadní teplo, který produkuje páru pro původní parní turbínu
  - hot windbox repowering – výstup horkých spalin z plynové turbíny je zaveden do stávajícího uhelného kotle
  - feed water repowering – využití odpadního tepla pro ohřev napájecí vody
  - paralel repowering – využití odpadního tepla pro výrobu páry, která se zavede do stávající turbíny

24

## Site repowering



25

## Site repowering

### Výhody

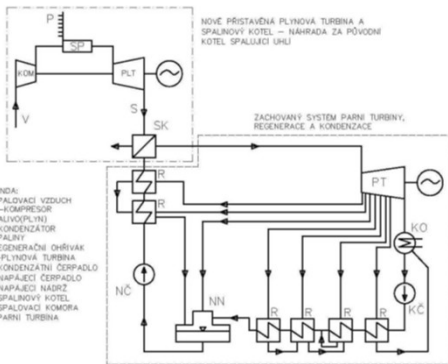
- snížení investičních nákladů na stavbu paroplynového cyklu díky zachování systému chlazení (chladicí věže, kondenzátory),
- vyšší tepelná účinnost paroplynového cyklu než původního parního cyklu,
- rychlé najetí bloku na plný výkon – použití jako špičkový zdroj

### Nevýhody

- pokud již nebyla přivedena plynová přípojka nutnost jejího vybudování,
- zvýšení výrobní ceny 1kWh elektrické energie z důvodu nahrazení uhlí zemním plynem

26

## Combined cycle repowering



27

## Combined cycle repowering

- Opatření zvýší instalovaný výkon bloku o 150÷200%.
- Vhodné pro starší energobloky s elektrickým výkonem do 250 MW a tlaku páry do 12,4 MPa

### Výhody

- velké navýšení instalovaného výkonu

### Nevýhody

- zvýšení výrobní ceny 1 kWh elektrické energie z důvodu nahrazení uhlí zemním plynem
- vysoká cena instalovaného výkonu

28

## Repowering elektrárny Ledvice

- jedná se o instalaci nového PPC v ELE při jehož výstavbě by mělo být využito v maximální možné míře stávající technologické zařízení uhelného bloku B4 o výkonu 110 MW<sub>e</sub>

### Výhody

- snížení emisí škodlivých plynů vypouštěných elektrárnou do ovzduší díky možnému postupnému přechodu palivové základny z hnědého uhlí na zemní plyn a následně na vodík.
- úspora nákladů na realizaci projektu (odhad řádově cca 1 mld. Kč oproti výstavbě nového PPC).

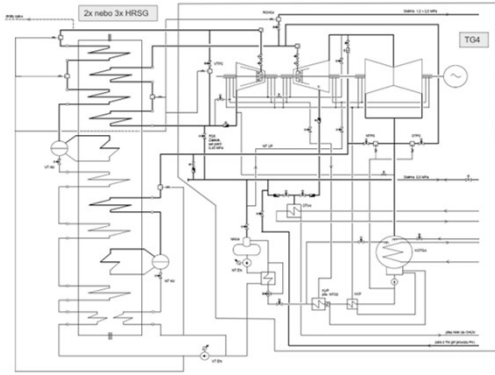
29

## Repowering elektrárny Ledvice

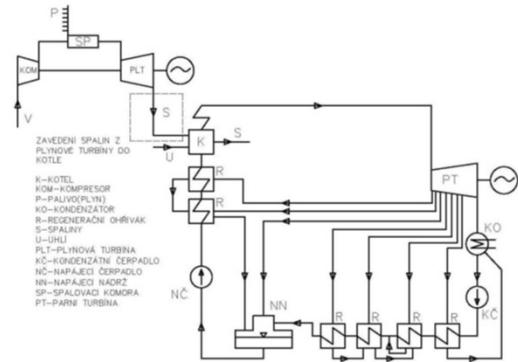
- v přípravě je výstavba nového PPC 250 MWe s maximálním využitím stávajícího využitelného technologického zařízení bloku B4
  - turbína a kondenzátor
  - ventilátorová chladicí věž
  - teplárenské RCHS, OTV
- plánováno je předřazení 3 nových spalovacích turbín 60 MWe a HRSG před stávající parní turbínu TG4.
- elektrický výkon PPC limituje maximální dovolený průtok páry posledními stupni NT dílu TG4 a množství odváděného tepla v kondenzátoru a v chladicí věži
- čistá tepelná účinnost PPC s turbínami SGT-800
  - 56,7 % při čistě kondenzačním provozu
  - 74,0 % při provozu s maximální dodávkou tepla

30

## Repowering elektrárny Ledvice



## Hot windbox repowering



32

## Hot windbox repowering

- navýšení instalovaného výkonu může dosáhnout hodnoty 25%
- varianta je vhodná pro bloky s vyšší tepelnou účinností v původním stavu
- tepelná účinnost oběhu se zvýší o 4-6% vůči

### Výhody

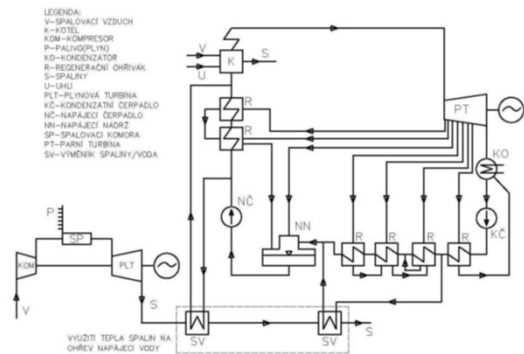
- zvýšení tepelné účinnosti – úspora uhlí
- snížení měrných emisí škodlivin
- zlepšení regulační schopnosti bloku

### Nevýhody

- technicky velmi komplikované řešení

33

## Feed water repowering



34

## Feed water repowering

- řešení je vhodné při požadavku na dodatečnou regulační kapacitu
  - základním zatížení využíváme původní parní cyklus
  - při odběrových špičkách se připojí spalovací turbína a ta pokryje potřebné navýšení výkonu
- navýšení instalovaného výkonu je na úrovni 15%
- zlepšení tepelné účinnosti parního oběhu při provozu spalovací turbíny je na úrovni 6%.

### Výhody

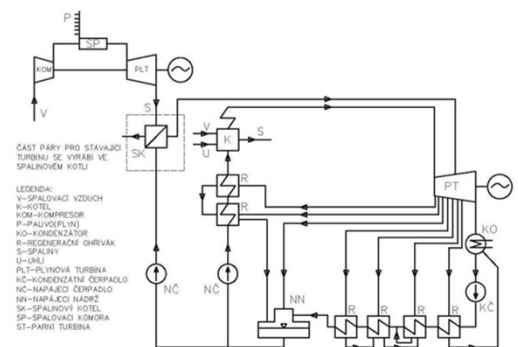
- technicky jednoduché řešení navýšení výkonu
- investičně nenáročné
- zvýšení tepelné účinnosti

### Nevýhody

- nutnost instalace výměníků spaliny – voda

35

## Paralel repowering



36

## Paralel repowering

- výkon paroplynové části je limitován maximálním průtokem páry stávající parní turbínou

### Výhody

- navýšení instalovaného elektrického výkonu
- snížení spotřeby uhlí

### Nevýhody

- omezené množství přídavné páry, které můžeme přivést do parní turbíny

37

## Porovnání jednotlivých variant repowering

metoda	nárůst účinnosti [%]	nárůst výkonu [%]
SR	-	-
CCR	12	150 - 200
HWR	4 - 6	25
FHR	6	15
PR	-	-

38