

## Perspektivní metody sušení pevných paliv

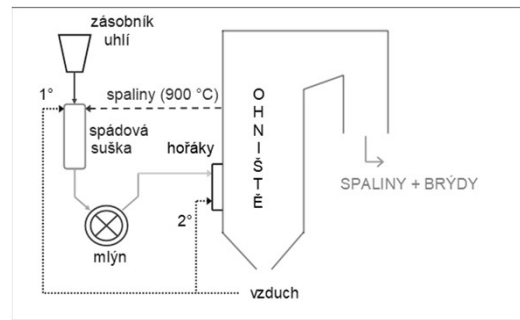
PROČ sušení pevných paliv ?

- zvýšení výhřevnosti
- snazší vzněcování
- spalování při vyšší teplotě
- menší objem spalin
- menší kotel, EOP a ventilátor
- nižší vlastní spotřeba

1

1

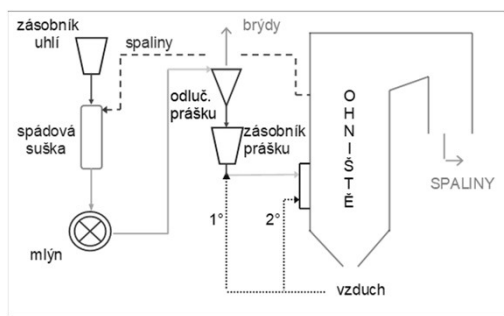
## Klasická metoda sušení horkými spalinami Uzavřený mlecí okruh



2

2

## Klasická metoda sušení horkými spalinami Otevřený mlecí okruh



3

3

## Energetická náročnost sušení je značná

Většina dodané energie se ztrácí

*Příklad*

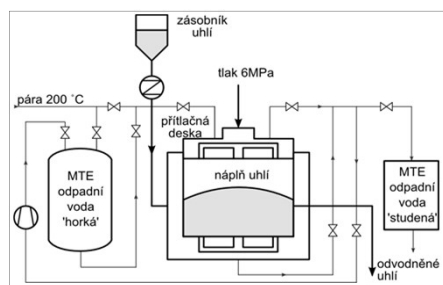
při obsahu vlhkosti v uhlí  $W^r = 0,3$   
ztráta činí přibližně 6 ÷ 8 % tepla v palivu

4

4

## Mechanicko tepelné odvodňování ( MTE )

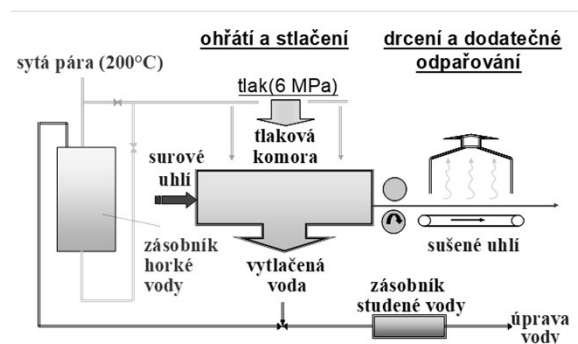
- lisování za zvýšené teploty
- vyšší teplota snižuje energetickou náročnost lisování
- dosažitelný konečný obsah vody 22 až 25 %



5

5

## Mechanicko tepelné odvodňování ( MTE )

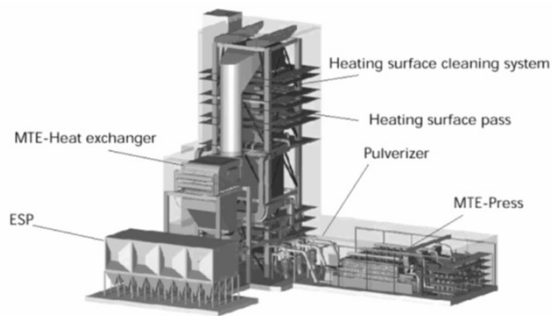


6

6

### Mechanicko tepelné odvodňování ( MTE )

- výhledová realizace projektu v Austrálii kolem r. 2030

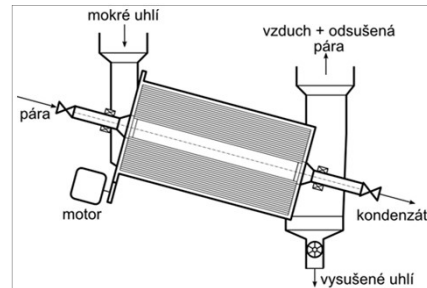


7

7

### Otevřená parní bubnová suška

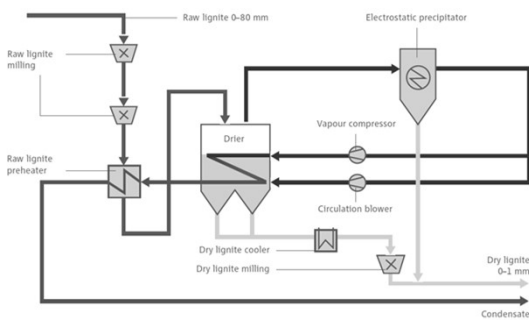
- klasické řešení pro briketárny – palivový kombinát Vřesová
- uhlí se přivádí do trubek shora a posouvá se rotací bubny
- syťá páry kondenzuje v mezitrubkovém prostoru



8

8

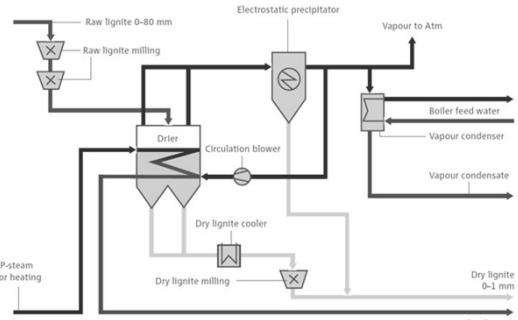
### Fluidní sušení odpadním teplem (WTA) s kompresí páry



9

9

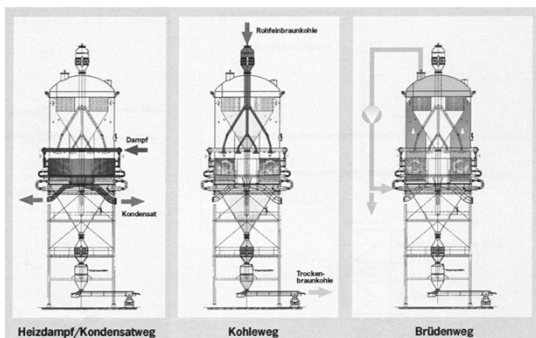
### Fluidní sušení odpadním teplem (WTA) s kondenzací páry



10

10

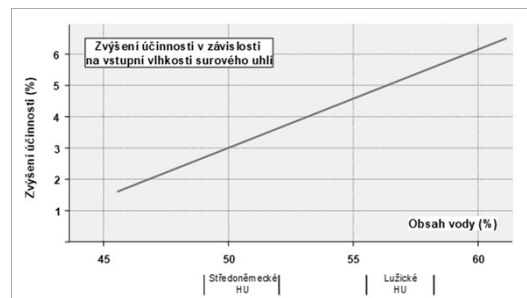
### Parní fluidní suška na hnědé uhlí



11

11

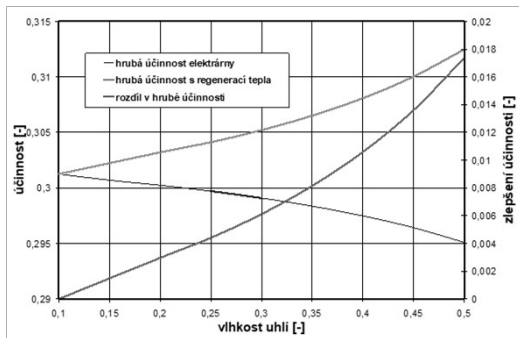
### Parní fluidní suška na hnědé uhlí zvýšení účinnosti dle RWE



12

12

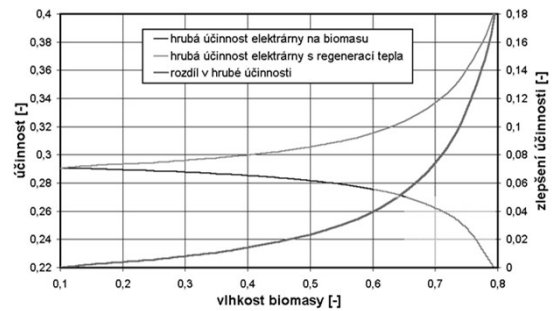
### Potenciální zlepšení účinnosti bez využití tepla brýdové páry



13

13

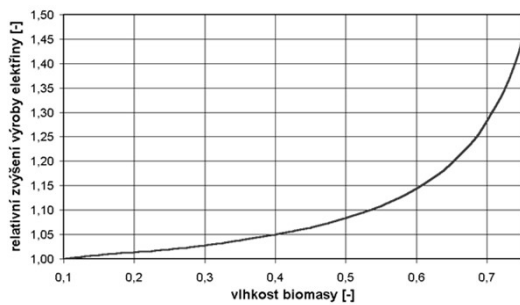
### Potenciální zlepšení účinnosti



14

14

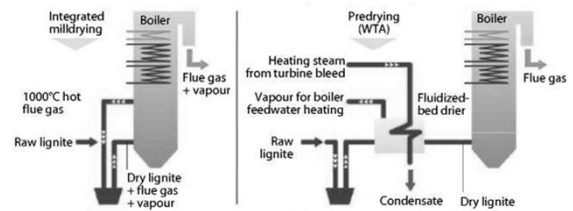
### Relativní zvýšení výroby elektřiny z biomasy



15

15

### Porovnání klasického sušení s WTA



- sušení horkými spalinami
  - vede k velké exergetické ztrátě => zhoršení účinnosti
  - pára se dostává do kotle => zvětšuje objem spalin
- sušení parou WTA
  - využívá se nízkopotenciální teplo
  - pára jde mimo kotle k energetickému využití => menší kotel

16

16

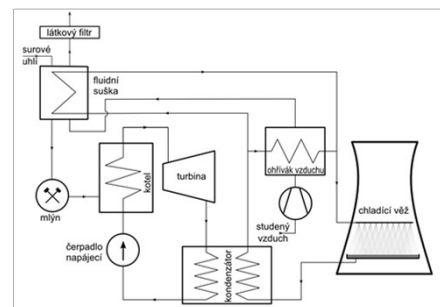
### Výhody principu WTA

- menší a levnější kotel
- vyšší účinnost kotle
- zvýšení účinnosti výroby elektřiny
- jednodušší parní turbína – menší NT díl
- významné snížení spotřeby chladicí vody
- ekologický přínos

17

17

### Fluidní suška Coal Creek



- sušení ohřátým vzduchem
- teplo se získává z chladicí vody za kondensátorem

18

18

## Fluidní suška Coal Creek



prototyp o výkonu 112,5 t/h suší uhlí z  $W = 38\%$  na  $W = 29,5\%$

19

19

## Fluidní suška Coal Creek

Zvýšení účinnosti kotle cca o 2,6 %

Provozní přínosy

- snížení nákladů na palivo
- snížení nákladů na ukládání TZ
- snížení poplatků za emise
- snížení vlastní spotřeby (ventilátory, mlýny)
- úspora chladicí vody
- snížení nákladů na opravy mlýnů
- zvýšení dostupnosti mlýnů

Vlastní spotřeba sušky může převýšit úspory ve vlastní spotřebě elektrárny

20

20

## Sušení dřevní štěpky

- sušení biomasy v Plzeňské teplárenské

- kapacita 14 t mokré štěpky za hodinu.
- délka 20,0 m
- šířka 4,0 m
- výška 2,5 m
- výška vrstvy sušeného paliva 1,5 m
- doba zdržení štěpky 8 hodin
- snížení obsahu vody z 50 na 20 %



21

21

## CCS-U

carbon capture and storage - utilization

zachycování a ukládání - využití CO<sub>2</sub> ze spalovacích procesů

Základní metody

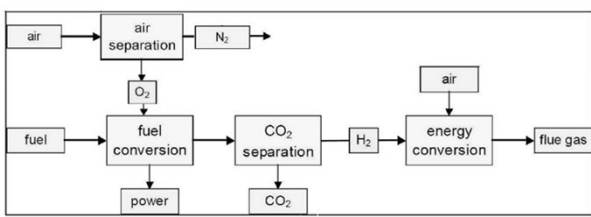
- pre-combustion – odstranění C (CO<sub>2</sub>) před spalováním => vodíkové technologie
- post-combustion - odstranění CO<sub>2</sub> ze spalin
- oxyfuel – spalování s kyslíkem

22

22

## Pre-combustion

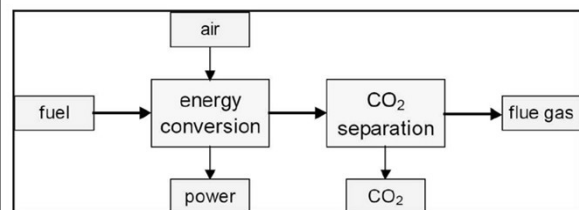
- Zachycení uhlíku ve formě CO<sub>2</sub> před spalovacím procesem (IGCC – integrovaná paroplynová zařízení).
  - zplyňování uhlí,
  - konverze CO na CO<sub>2</sub> reformingem vodní parou,
  - čištění plynu
  - separace CO<sub>2</sub>
  - „zbylý“ plyn obsahující převážně H<sub>2</sub> je spalován



23

## Post-combustion

- zachycování CO<sub>2</sub> ze spalin po spalování paliva vzduchem ve spalovacích zařízeních

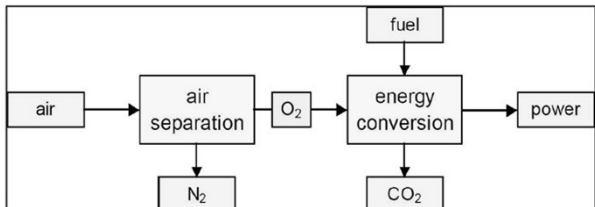


24

24

## Oxyfuel

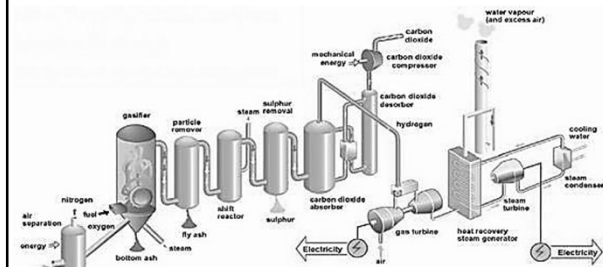
- spalování s kyslíkem



25

25

## Metoda pre-combustion



- zatím ve vývoji – řešené problémy
  - vysokoteplotní čištění plynu
  - separace CO<sub>2</sub> z plynu
  - využití syngasu

26

26

## Metody post-combustion

- Absorbční procesy = vypíráním kapalným absorbentem
  - fyzikální a chemické (rozpuštědlo nebo chemický reagent)
- Adsorpční procesy = adsorpce na povrchu tuhé látky
  - fyzikální a chemické
  - fyzikální sorbent – aktivní uhlí, molekulová síta atd.
  - chemická vazba – CaO, NaOH a další
- Fyzikální separace, např.:
  - membránová separace,
  - kryogenní separace
- Biologický záchyt – fotosyntéza
  - klasická = řasy (obrovská plocha)
  - nově zakotvené enzymy, nanočástice
- Nově vyvíjené metody
  - nová činidla (ab- a ad-sorbenty)
  - elektrochemické metody
  - Ca looping

27

27

## Metody post-combustion

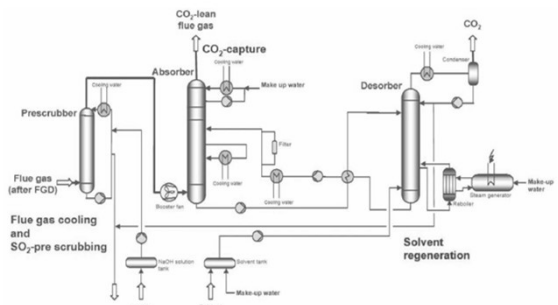
- Nejčtenější nové postupy využívají jako absorbční činidlo různé AMINY – hlavní problémy
  - degradace kyslíkem
  - degradace SO<sub>2</sub>
  - degradace NOx
  - korozivnost, toxicita
  - drahé
- Variantu představuje použití AMONIAKU – hlavní problémy
  - korozivnost
  - toxicita
  - těkavost

28

28

## Příklad aminové metody

- Pilotní zařízení RWE



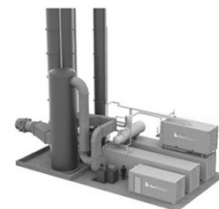
29

29

## Příklad aminové metody

**Společnost AkerSolution - aminová vypírka s reagentem S26**

- 6 pilotních jednotek s více jak 50 000 hodin provozu
- Čistota CO<sub>2</sub> až 99 %.
- Společnost vyvíjí novou modulární jednotku o kapacitě od 10 000 až 100 000 t CO<sub>2</sub> za rok.



**Společnost Compact Carbon Capture AS - aminová vypírka**

- Pilotní jednotka k dispozici
- Společnost plánuje postavení jednotky o kapacitě až 100 000 tun CO<sub>2</sub> za rok.

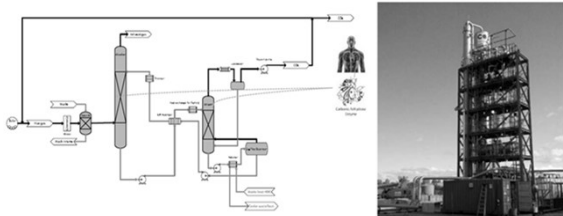


30

## Příklad aminové metody

**Společnost CO<sub>2</sub> Solutions lmt.** - absorpční metoda na bázi enzymů (carbonic anhydrase)

- Solvent netoxický, nekorozivní a s nízkou degradací na znečišťující látky
- Desorpce při 80°C (u aminů 140°C a adsorpční metody až 180°C)
- Čistota CO<sub>2</sub> až 99,5 %
- Komerční jednotka až 30 t CO<sub>2</sub> denně.



31

## Příklad adsorpční metody - pevné sorbenty

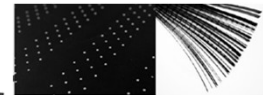
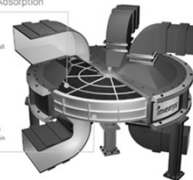
**Společnost Inventys**

- Pevná vrstva tvořena aktivním uhlím
- Technologie pod názvem VeloxoTherm™
- Rychlost cyklu až 60 s
- Čistota CO<sub>2</sub> až 95 %

**VeloxoTherm™ CO<sub>2</sub> Capture Process**  
Rapid Cycle Thermal Swing Adsorption

**Structured Adsorbent**  
Solid adsorbent + Low regeneration energy  
Structured Adsorbent + Intensification (small equipment)

**Rotary Embodiment**  
Continuous process created by rotating beds  
Based on existing rotary air preheaters used in power plants

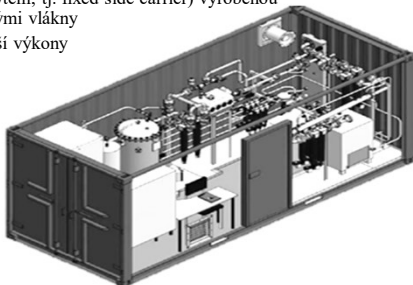


32

## Příklad membránové technologie

**Společnost Air Products** - spolupráce s NTNU Trondheim

- Čistota CO<sub>2</sub> větší jak 90%
- Jedná o dvoustupňovou membránovou separaci pomocí PVAm (polyvinylamid membrány) s FSB (pevným nosičem/elektrolytem, tj. fixed side carrier) vyrobenou v modulu s pevnými vlákny
- Vhodná pro menší výkony
- Zatím ve vývoji



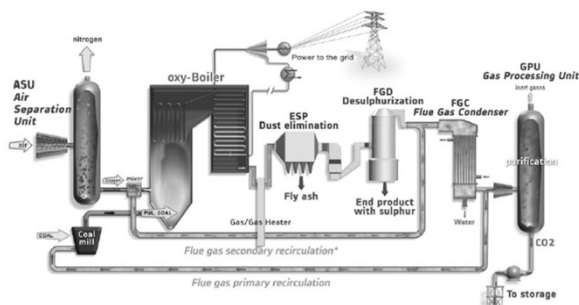
33

## Přehled dostupných technologií post-combustion

Hodnotící parametr/Společnost	Aker	C-Capture	CO <sub>2</sub> Solutions	Inventys	Air Products
TRL	9	7-8	9	7-8	7
Země licencování	EU/Norsko	EU/Norsko	Kanada/USA	Kanada/USA	USA/EU/Norsko
Spotřeba ex. tepla	ANO (~-130 °C)	ANO (~-130 °C)	ANO (~-80 °C)	ANO (~-180 °C)	NE
Spotřeba el.	ANO (nízká)	ANO (nízká)	ANO (nízká)	ANO (nízká)	ANO (střední)
Variabilita výstupního produktu	ANO (střední)	ANO (střední)	ANO (střední)	ANO (nízká)	ANO (vysoká)
Provozní zkušenosti	ANO*	NE	ANO	ANO	ANO
Modulární uspořádání	ANO	ANO	NE	NE	ANO
Provozní náklady (spotřeba mědi)	střední	střední	nízké	nízké	velmi nízké
Kapacita modulu	25 až 273 tCO <sub>2</sub> /d	až 273 tCO <sub>2</sub> /d	1 až 30 tCO <sub>2</sub> /d	30 až 3000 tCO <sub>2</sub> /d	1 až 5 tCO <sub>2</sub> /d (návrhy i pro 2000 tCO <sub>2</sub> /d)

34

## Oxyfuel



35

35

## Metoda oxyfuel

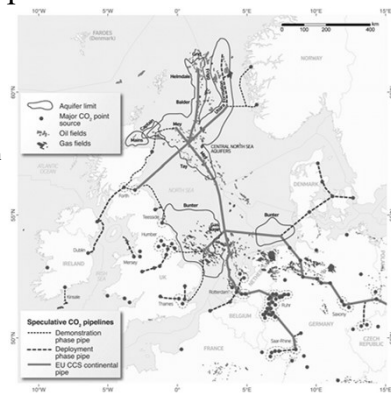
- **výhody**
  - vysoká koncentrace CO<sub>2</sub> ve spalinách zjednodušuje jeho separaci a zvyšuje její účinnost
- **komplikace**
  - výroba kyslíku
  - příliš vysoké teploty při spalování a malý průtok spalin – řeší se značnou recirkulací spalin
  - materiálové problémy a tvorba úsad u kotle

36

36

## Doprava k uložišti

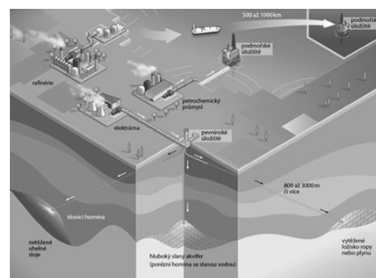
- možnosti
  - komprese do nadkritického stavu a doprava potrubím
  - zkapalnění a doprava v cisternách
- centrálně plánováno ale zatím nedořešeno



37

## Ukládání – využití CO<sub>2</sub>

- ukládání pod zem
  - vytěžená ložiska ropy a plynu
  - porézní geologické struktury - akvifery
- využití
  - jako průmyslový technický plyn
  - ve sklenicích
  - materiálové problémy a tvorba úsad u kotle



38

38

## Průmyslově využití CO<sub>2</sub> - dnes

- EOR a další procesy v rámci zpracování ropy a zemního plynu – (30 – 300 Mtpa)
- Výroba amoniaku/močoviny (5-30 Mtpa)
- Potravinářský průmysl (výroba vína, zpracování, uchování a skladování jídla, výroba bezkofeinové kávy, výroba perlivých vod atd.) (1-9 Mtpa)
- Ostatní využití (< 1 Mtpa) – Farmaceutický průmysl, úprava vody, skleniky, výroba železa a oceli, svařování, solvent či chladicí plyn, výroba pneumatik, elektronických součástek atp.

## Potenciální využití CO<sub>2</sub> – v blízké budoucnosti /TRL5-6

- ECBM – Enhanced coal bed methane recovery (30 – 300 Mtpa)
- Kultivace řas pro další využití (farmaceutický průmysl, potravinářský, biopalivo) – (> 300 Mtpa)
- Teplonosné médium v EGS – Enhanced geothermal systems (5-30 Mtpa)
- Výroba polymerů (5-30 Mtpa)
- Mineralizace (Stavební, potravinářský, chemický průmysl) – výroba CaCO<sub>3</sub>, MgCO<sub>3</sub> (>300 Mtpa), výroba jedlé sody (< 1 Mtpa), vytvrzování betonu (30 – 300 Mtpa),
- Výroba plyných/kapalných paliv/látk (přímá metanolová syntéza, tzv. obnovitelný metan/metanol >300 Mtpa, výroba kyseliny mraveční (> 300 Mtpa), růst mikroorganismů produkující látky na bázi paliv (> 300 Mtpa) atp.

39

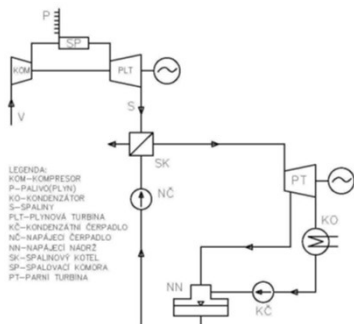
## Repowering

- jde o modernizaci provozovaných uhelných elektrárenských zařízení předřazením spalovacích turbín před existující dominantní parní oběh
- princiálně 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
  - parallel repowering – využití odpadního tepla pro výrobu páry, která se zavede do stávající turbíny

40

40

## Site repowering



41

41

## Site repowering

### Výhody

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

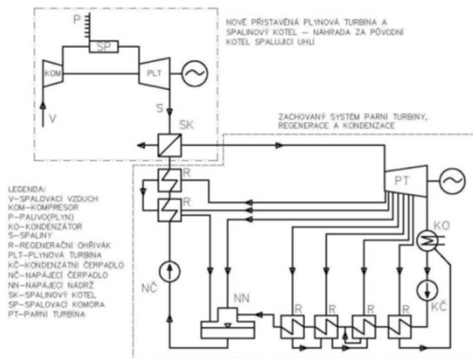
### Nevýhody

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

42

42

## Combined cycle repowering



43

43

## 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

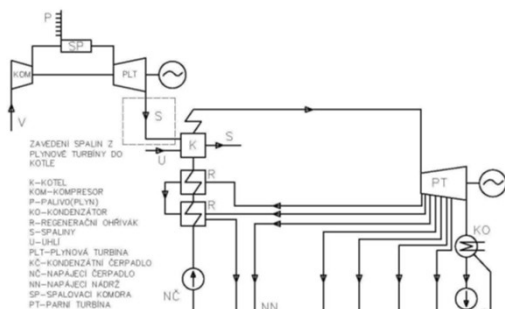
### Nevýhody

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

44

44

## Hot windbox repowering



45

45

## 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

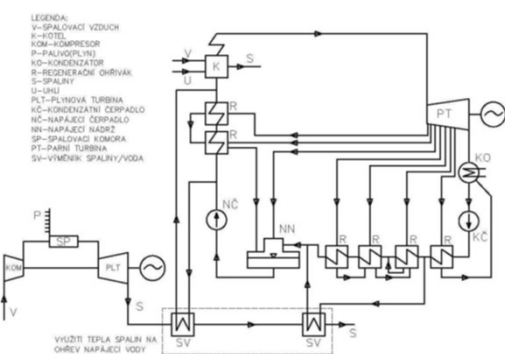
### Nevýhody

- technicky velmi komplikované řešení

46

46

## Feed water repowering



47

47

## Feed water repowering

- řešení je vhodné při požadavku na dodatečnou regulační kapacitu
  - základním zatížením 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

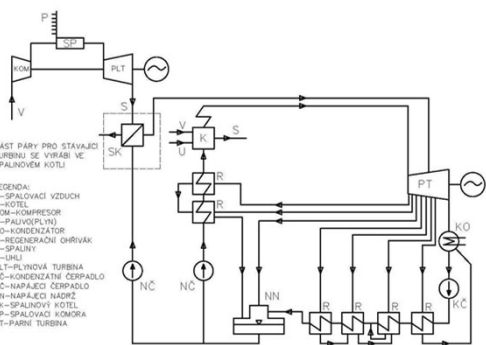
- nutnost instalace výměníků spalný – voda

48

48



## Paralel repowering



49

49

## Paralel repowering

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

### Výhody

- navýšení instalovaného elektrického výkonu
- snížení spotřeby uhlí

### Nevýhody

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

50

50

## Porovnání jednotlivých variant repowering

metoda	nárůst účinnosti	cena inst. výkonu	nárůst výkonu
	[%]	[USD/kW]	[%]
SR	-	-	-
CCR	12	450 - 750	150 - 200
HWR	4 - 6	150 - 250	25
FHR	6	75 - 110	15
PR	-	-	-

51

51