



TECHNOLOGIE OCHRANY OVZDUŠÍ

Přednáška č. 5

- Přednášející: Ing. Marek Staf, Ph.D.

tel. 220 444 458; e-mail marek.staf@vscht.cz

budova A, ústav 216, č. dveří 162

Osnova přednášky



- Systém trysek suspenze
- Technické řešení absorberu
- Trysky suspenze
- Čerpadla
- Výměníky
- Kouřovody a další podpůrné technologie

Často používané zkratky

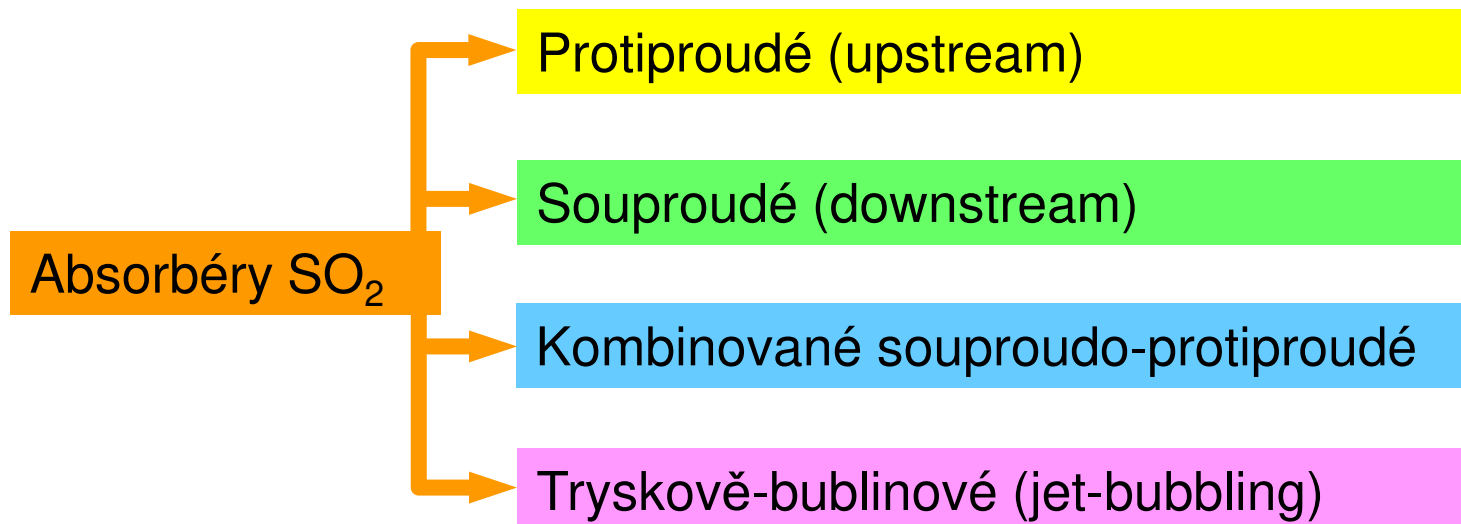


- **FGD** Odsíření spalin (Flue Gas Desulfurization)
- **ESP** Elektrostatický odlučovač (Electro Static Precipitator)
- **SCA** Specifická usazovací plocha (Specific Collecting Area)
- **FGC** Kondicionování spalin (Flue Gas Conditioning)
- **GGH** Ohřívač plyn-plyn (Gas-Gas Heater)
- **WLG** Mokrý vápencová technologie (Wet Limestone-gypsum technology)
- **JBR** Tryskově-bublinový reaktor (Jet-Bubbling Reactor)

Subsystémy vápencové vypírky

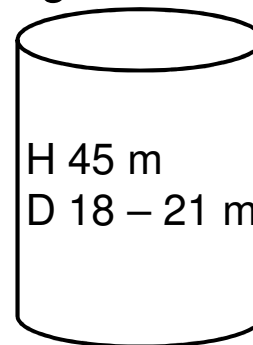


▪ Konstrukční řešení absorbéru – 4 základní (+ další minoritní)



– V současnosti nejobvyklejší bezvýplňový protiproudý systém s jímkou suspenze integrovanou v tělese scruberu;

– Pro blok 500 MWe:

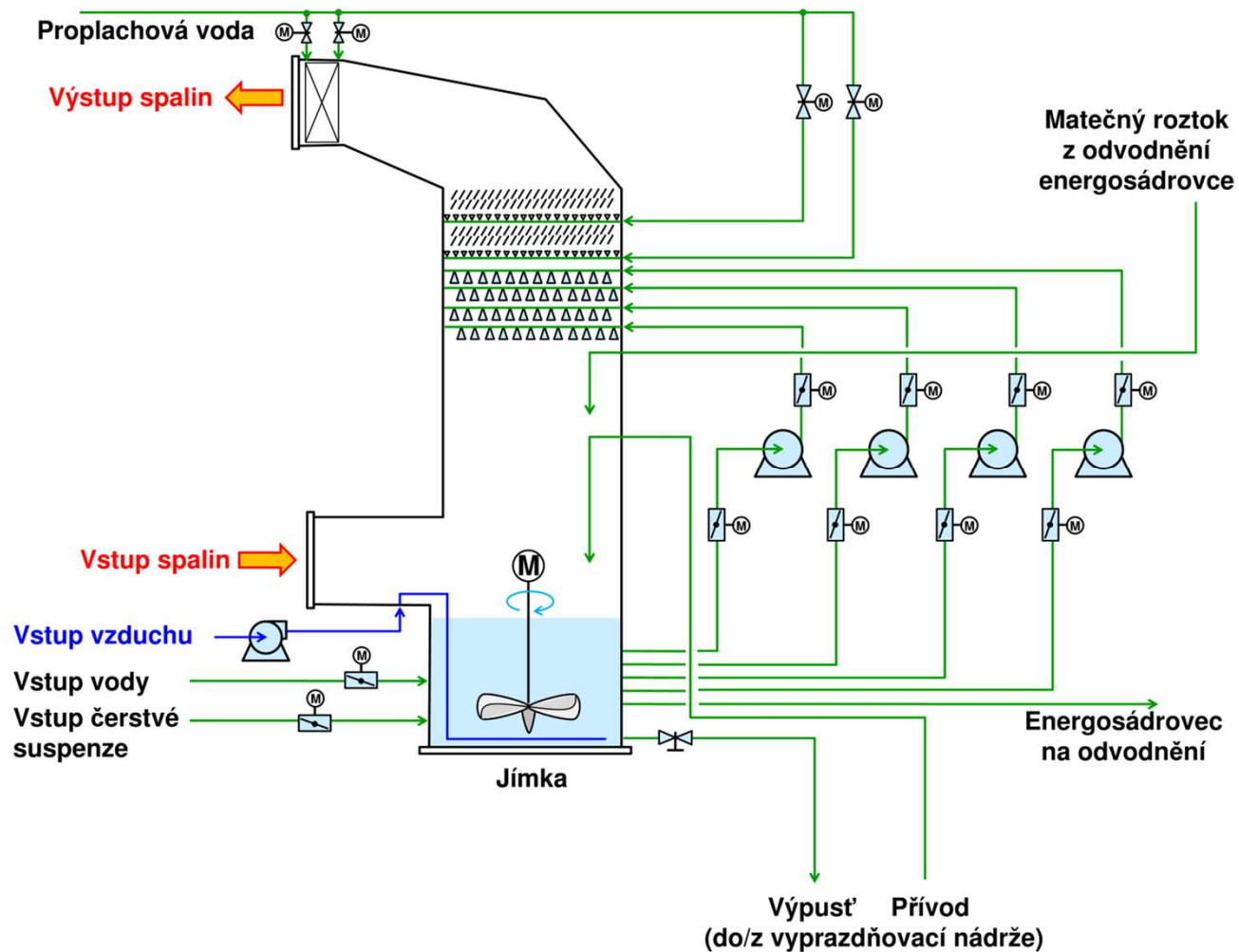


rychlost spalin 3,2 m/s
⇒ průtok 2 – 3 mil. m³/h

Subsystémy vápencové vypírky



■ Protiproudý absorbér (Upstream absorber)



Subsystémy vápencové vypírky



■ Souproudé řešení absorbéru

- Souproudé uspořádání např. systém Mitsubishi Heavy Industries;
- Výplňové provedení z důvodu větší plochy výměny hmoty;
- Spaliny vedeny od hlavy scruberu společně se suspenzí;
- Konstruováno pro větší rychlost spalin až do 6 m/s;
- Výhodou kompaktnější rozměry;
- Nevýhodou větší tlakové ztráty a tvorba sedimentů;
- Současné instalace:

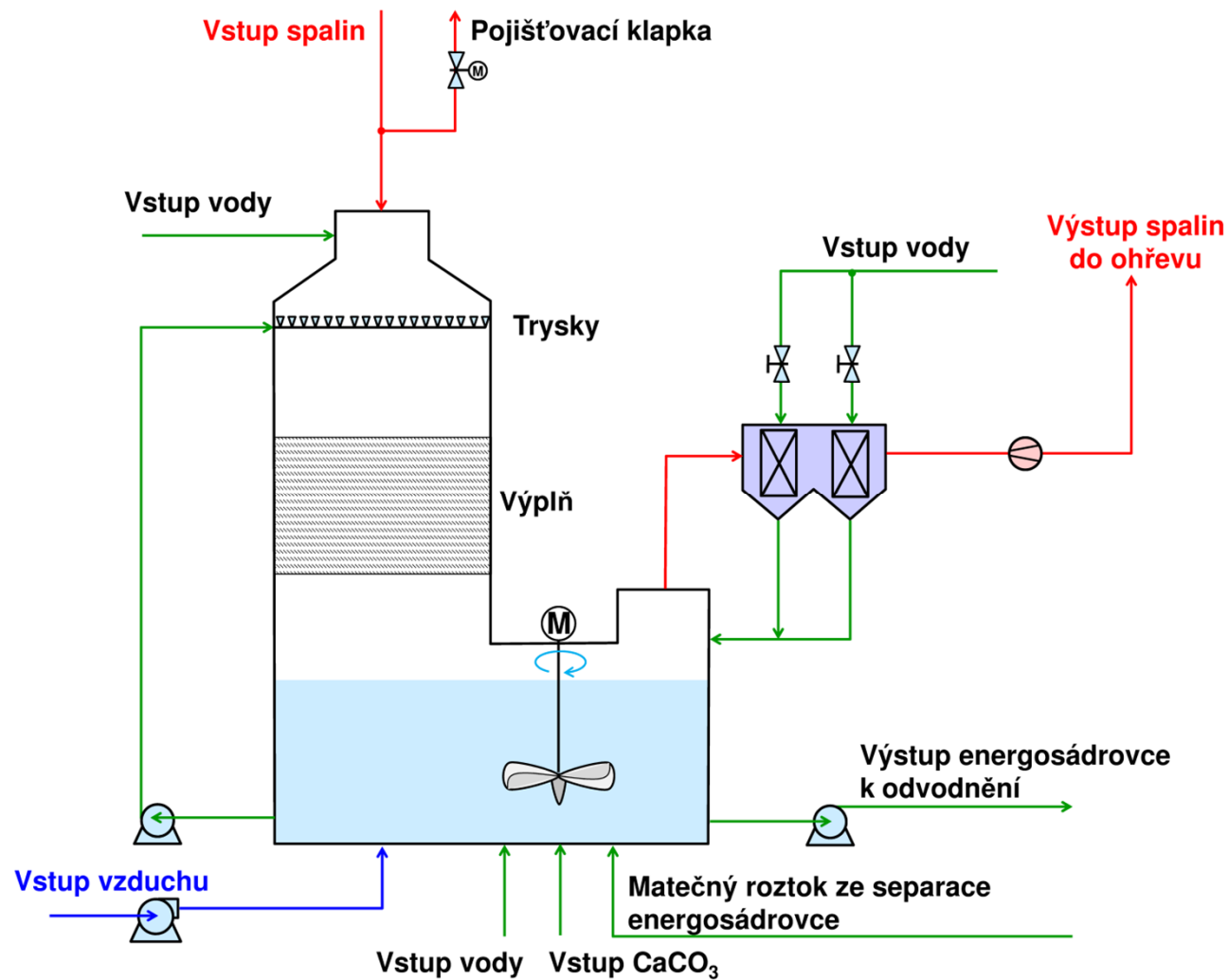
Prunéřov II (5 kotlů / 5 absorbérů)

Dětmarovice (4 kotle / 2 absorbéry)

Subsystémy vápencové vypírky



■ Souproudý absorbér (Downstream absorber)



Subsystémy vápencové vypírky



■ Souprouto-protiproudé řešení absorbéru

- Absorbér rozdělen do dvou sekcí;
- V první sekci spaliny vedeny od hlavy scruberu společně se suspenzí až na úroveň jímky;
- Nad jímkou změna směru toku do druhé sekce, kde probíhá protiproudé skrápění druhým podílem suspenze;
- Současná instalace:

Počerady II (2 kotle / 2 absorbéry)

Subsystémy vápencové vypírky



■ Tryskově-bublinové řešení absorbéru

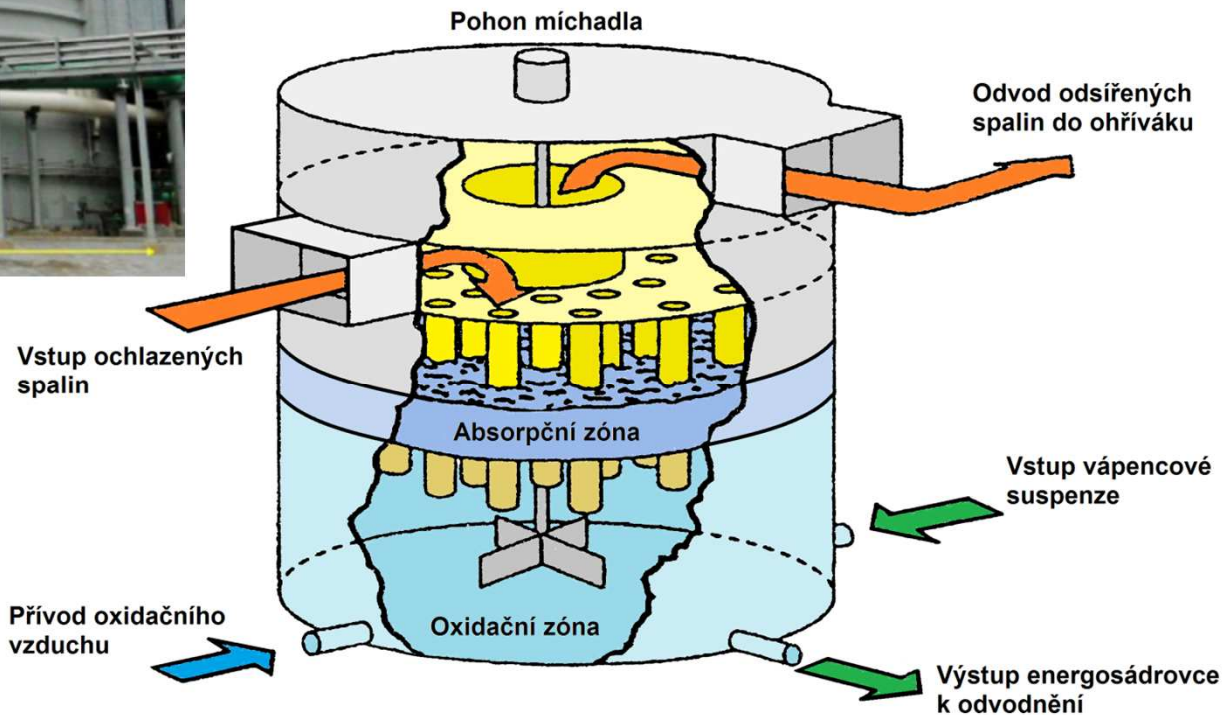
- Atypický systém firmy Chiyoda (Jet-bubbling);
- Spaliny rozváděny trubkami pod hladinu suspenze;
- Probublávají skrze suspenzi za tvorby pěny;
- Na výstupu odlučovač kapek podobné konstrukce jako u protiproudu
- Kompaktní rozměry, ale vysoká tlaková ztráta;
- Konstrukce buď válcová, nebo kvádrová;
- Současná instalace:

Tušimice II

Subsystémy vápencové vypírky



■ Jet-bubbling scrubber



Subsystémy vápencové vypírky



■ Materiálové provedení absorbéru

- Vnější plášť a nosné prvky absorbéru z běžné konstrukční oceli třída 11 (pozn. 11 300, 11 373 a 11 423, kde dvojčíslí 11 **XY**... značí desetinu minimální pevnosti v tahu vyjádřenou v MPa)
- Vnitřní povrchy chráněny proti korozi:
 - Pryž nebo obdobné elastomery (butylkaučuk 8 mm v jímce, na exponovaných místech 2 x 8 mm) ⇒ životnost 10 let;
 - Sklolaminátové pryskyřice (polyesterová pryskyřice s vláknitým nebo vločkovým plnivem) ⇒ životnost 10-15 let ;
 - Vysoce legované Mo korozivzdorné oceli nebo ušlechtilé slitiny (Hastelloy alloy C-276 Ni 57.0, Mo 16.0, Cr 15.5, Fe 5.5, W 3.8) ⇒ životnost 25 let;
- V praxi užívána i kombinace výše uvedených korozivzdorných materiálů.

Subsystémy vápencové vypírky



■ Trysky vápencové suspenze

- Smyslem trysek je rovnoměrně rozptýlit suspenzi do jemných kapek po celém průřezu absorbéru
- V praxi užívány 3 modifikace trysek:
 - S tangenciálním vstupem suspenze
 - S axiálním vstupem suspenze
 - S axiálním vstupem suspenze se spirálním zakončením
- Materiálové provedení trysek:
 - Nutno volit materiály odolné vysoké abrazivnosti proudící suspenze, jako např.
 - Karbid křemíku
 - Nitrid křemíku
 - Karbid boru
 - Nitrid boru, sulfid molybdenu apod.

Subsystémy vápencové vypírky



- **Mokrý vápencová metoda – kritické součásti systému**
 - Trysky vápencové suspenze (Suspension spray nozzles);



Rozmístění trysek v absorběru

Subsystémy vápencové vypírky



- **Mokrý vápencová metoda – kritické součásti systému**

- Nejobvyklejší provedení trysek suspenze:

Tangenciální



Axiální



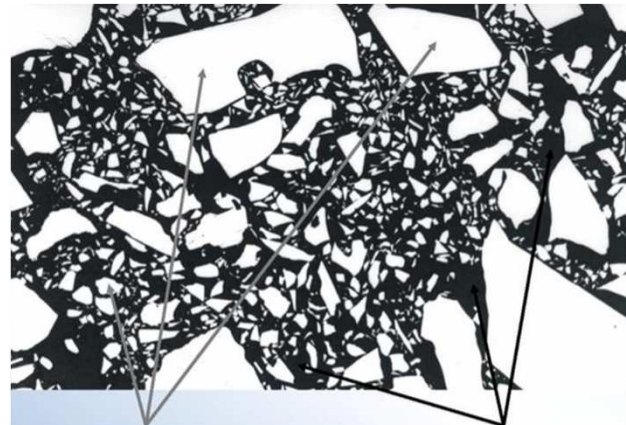
Spirální



Subsystémy vápencové vypírky



- **Čerpadla suspenzí** (Zdroj: DÜchting Pumps)
 - Provedení odstředivé (účinnost cca 65 %);
 - Požadovaná životnost 12 – 15 tis. provozních hodin;
 - Pro starší absorbery instalována čerpadla rezervní, v nových instalacích má každá úroveň zkrápění vlastní čerpadlo (celkem dostatečná rezervní kapacita \Rightarrow netřeba instalovat rezervní čerpadla);
 - Materiálové provedení pro zvýšenou odolnost vůči abrazi;



Karbid křemíku > 80 % Epoxidová pryskyřice
< 20 %

Zvětšení: 100 x

Subsystémy vápencové vypírky



- Čerpadla suspenzí (Zdroj: Düchting Pumps)



Subsystémy vápencové vypírky



▪ Tepelné výměníky

Rekuperační

- Obvyklá konstrukce spočívá v instalaci 2 oddělených výměníků:
Jeden výměník pro ohřev, druhý pro chlazení;
Výměníky spojeny vodním okruhem s čerpadlem

Regenerační

- Obvykle nazývané REGAVO (Regenerativ Gas Vorwärmer)
- Nejčastější konstrukce s pomaluběžným rotorem v ocelové skříni;
- Malé kotle neužívají regeneraci ani rekuperaci, ale koncové ohříváky 3 konstrukcí:
 - Ohřev parou nebo horkou vodou přes teplosměnné plochy;
 - Ohřev injektáží horkým vzduchem;
 - Ohřev pomocí dodatečného hořáku na bezsirné palivo.

Rozdělení

Subsystémy vápencové vypírky



■ Rekuperační výměníky (Zdroj: Babcock Borsig Steinmüller GmbH)

– ECOGAVO;

Nepřímý výměník bez průniku surových spalin do komína

Chladič a ohřívák spalin v samostatných jednotkách

Sdílení tepla zprostředkováno cirkulující vodou

Korozivzdornost zajištěna užitím plastových trubek

– ECOCROSS;

Výměník trubkového typu s křížovým tokem spalin

Trubkové svazky vyrobeny z korozivzdorného fluoroplastu G-Flon

Původně vyvinuto pro spalovny TKO, až následně pro odsíření

– DAGAVO (Dampf-Gas Vorwärmer)

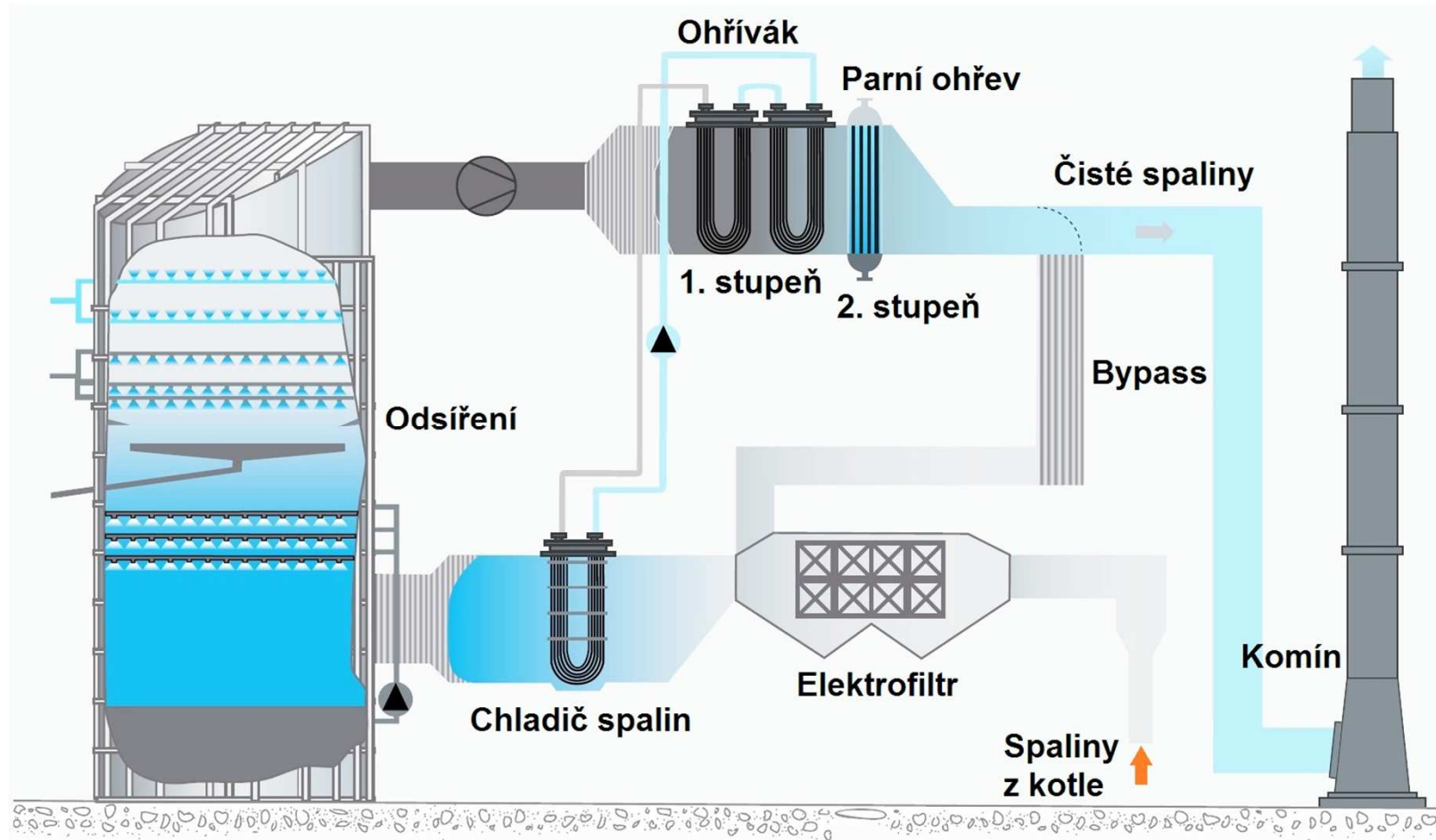
Parou vyhřívaný ohřívák spalin z odsíření

Trubky vyrobeny z korozivzdorné oceli, trubkovnice a vnitřní plášť také, případně v opláštění ocel nahrazena plasty.

Subsystémy vápencové vypírky



- **Tepelné výměníky** (Zdroj: Babcock Borsig Steinmüller GmbH)

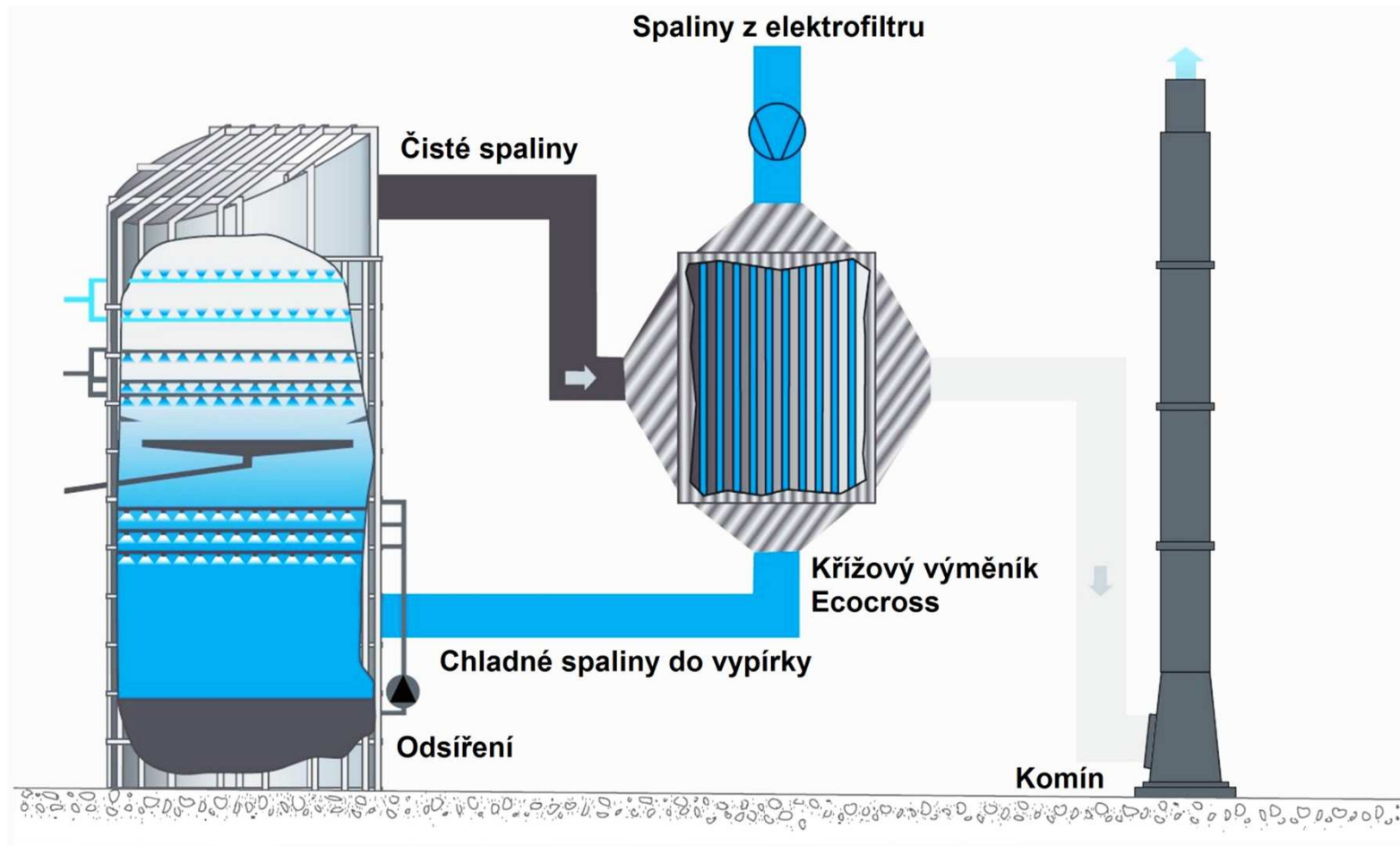


– Systém Ecogavo (někdy s přídavným dohřevem parou)

Subsystémy vápencové vypírky



- **Tepelné výměníky** (Zdroj: Babcock Borsig Steinmüller GmbH)



– Systém Ecocross

Subsystémy vápencové vypírky



- **Tepelné výměníky** (Zdroj: Babcock Borsig Steinmüller GmbH)

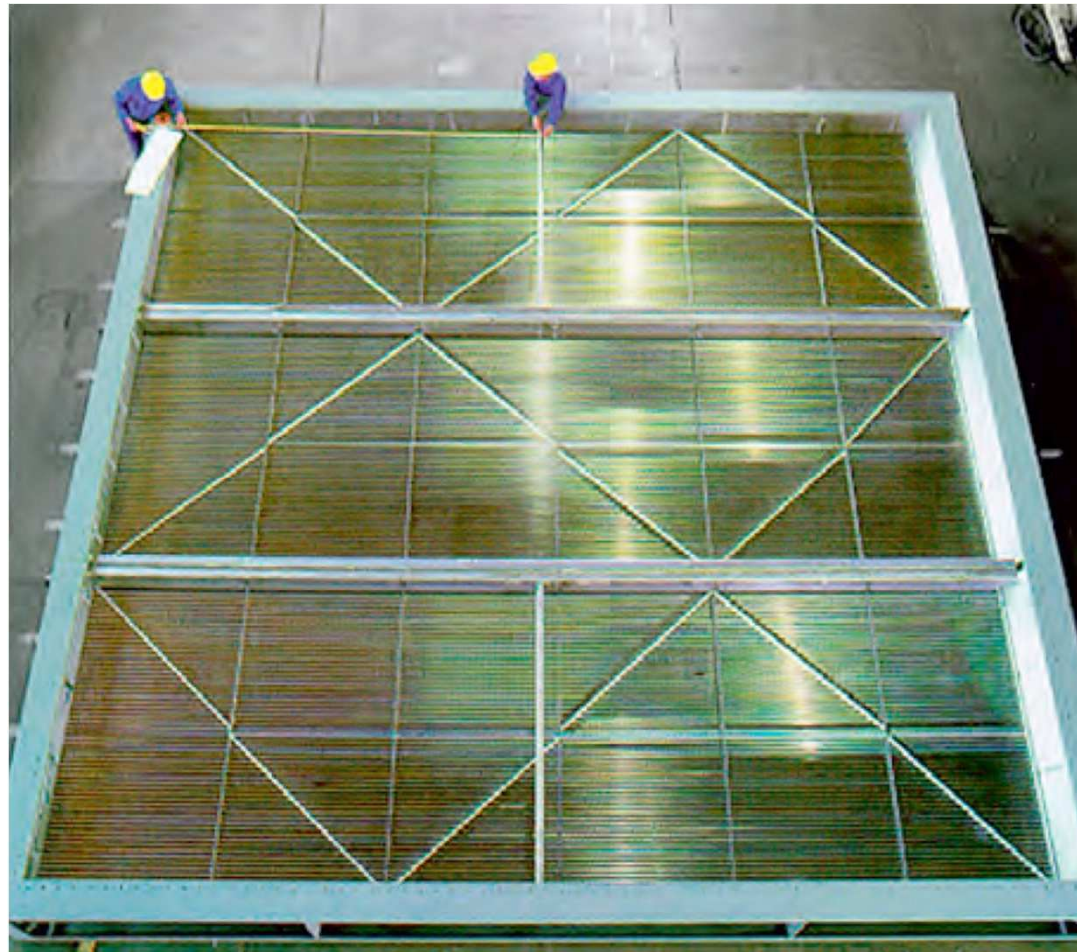


– Systém Ecocross (výměna vadného modulu)

Subsystémy vápencové vypírky



- **Tepelné výměníky** (Zdroj: Babcock Borsig Steinmüller GmbH)

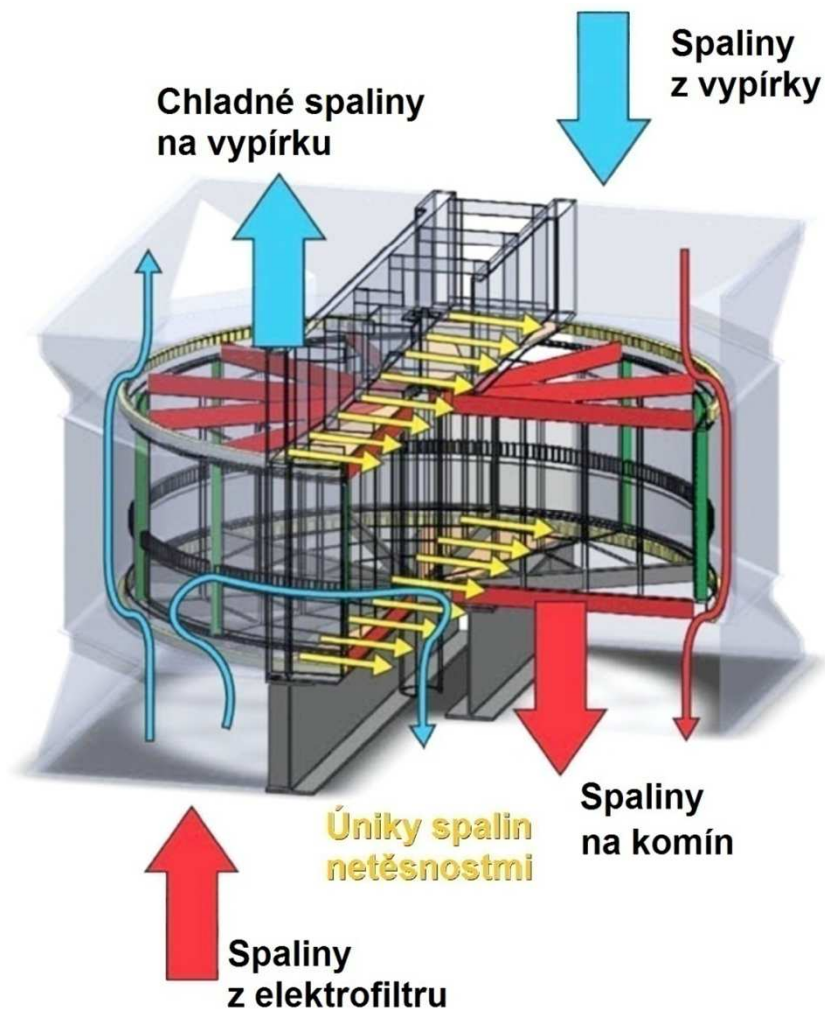


– Systém Dagavo (modul připraven k montáži)

Subsystémy vápencové vypírky



- **Tepelné výměníky** (Zdroj: Balcke-Dürr)

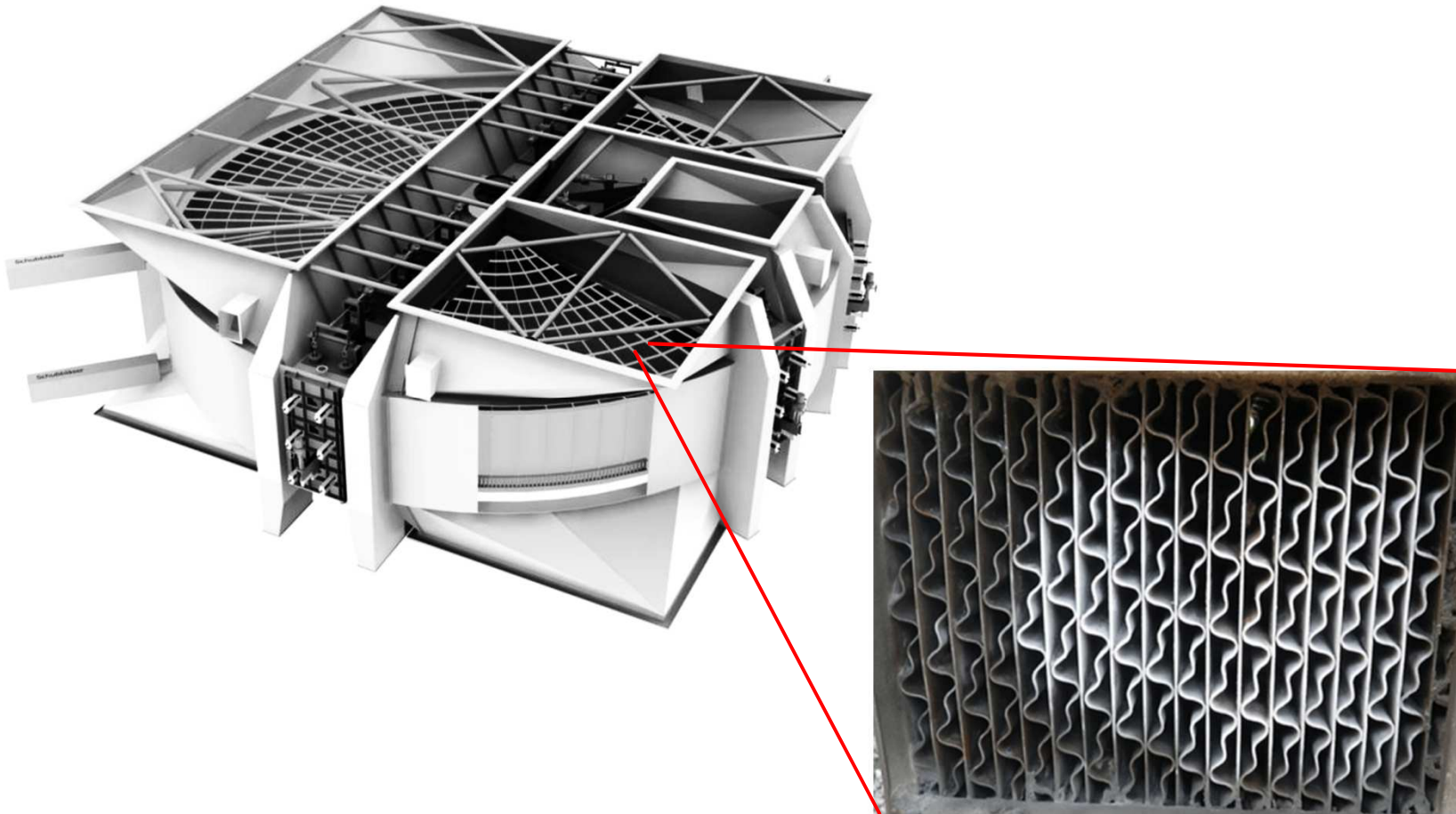


– Regenerační systém Ljungström

Subsystémy vápencové vypírky



- **Tepelné výměníky** (Zdroj: Balcke-Dürr)



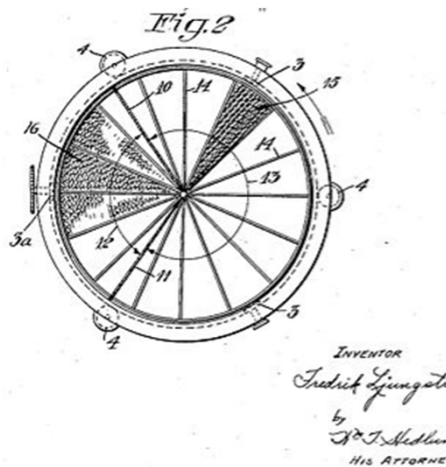
— Regenerační systém Ljungström

Subsystémy vápencové vypírky



■ Tepelné výměníky (Zdroj: <http://peoplecheck.de>)

- Vynálezce rotačního regeneračního výměníku, švédský strojní inženýr, vynálezce a průmyslník Fredrik Ljungström (1875 – 1964);
- Se svým bratrem Birgerem Ljungströmem (1872 – 1948) autoři mnoha patentů (mj. zdokonalený vysokotlaký kotel, radiální parní turbína, turbinová lokomotiva aj.)



Subsystémy vápencové vypírky



■ Spalinové ventilátory

- Účel ventilátoru je vyrovnání tlakové ztráty vyvolané průchodem přes odsiřovací jednotku;
- Spotřeba elektrické energie je dána vztahem:

$$E = 100 \cdot \frac{\dot{V} \cdot \Delta p}{\eta} ; [kWh]$$

V tomto vztahu je \dot{V} objemový tok spalin [$m^3 \cdot s^{-1}$]

η účinnost ventilátoru [%]

Δp tlaková ztráta systému [kPa]

- Parametry standardních ventilátorů jsou následující:

$$\eta = 55 \%$$

$$\Delta p = 2\,000 - 3\,000 \text{ Pa}$$

$$\dot{V} = 1,5 - 3,0 \cdot 10^6 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$$

$$E = 1\,500 - 3\,000 \text{ kWh}$$

Subsystémy vápencové vypírky



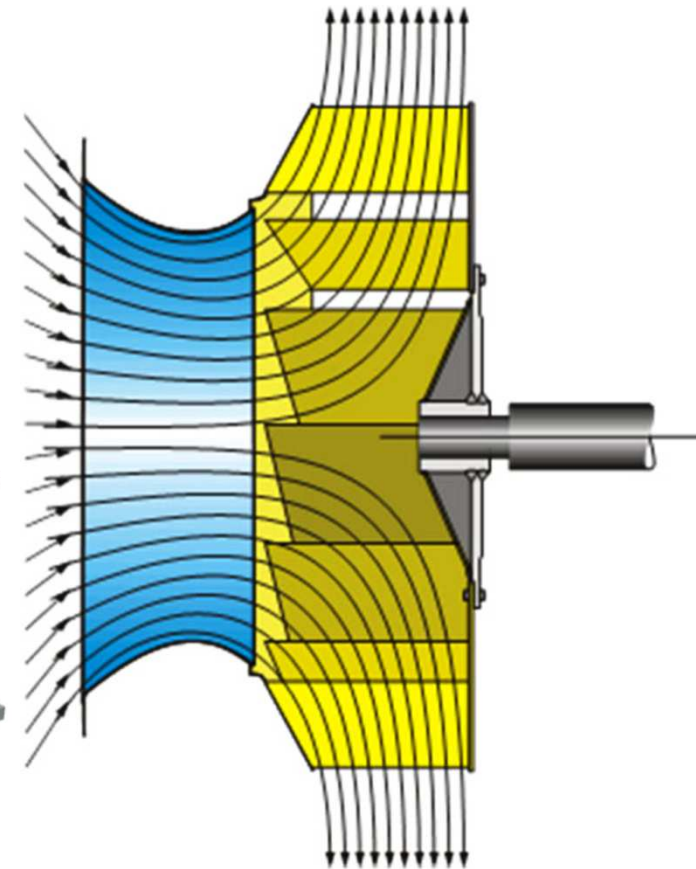
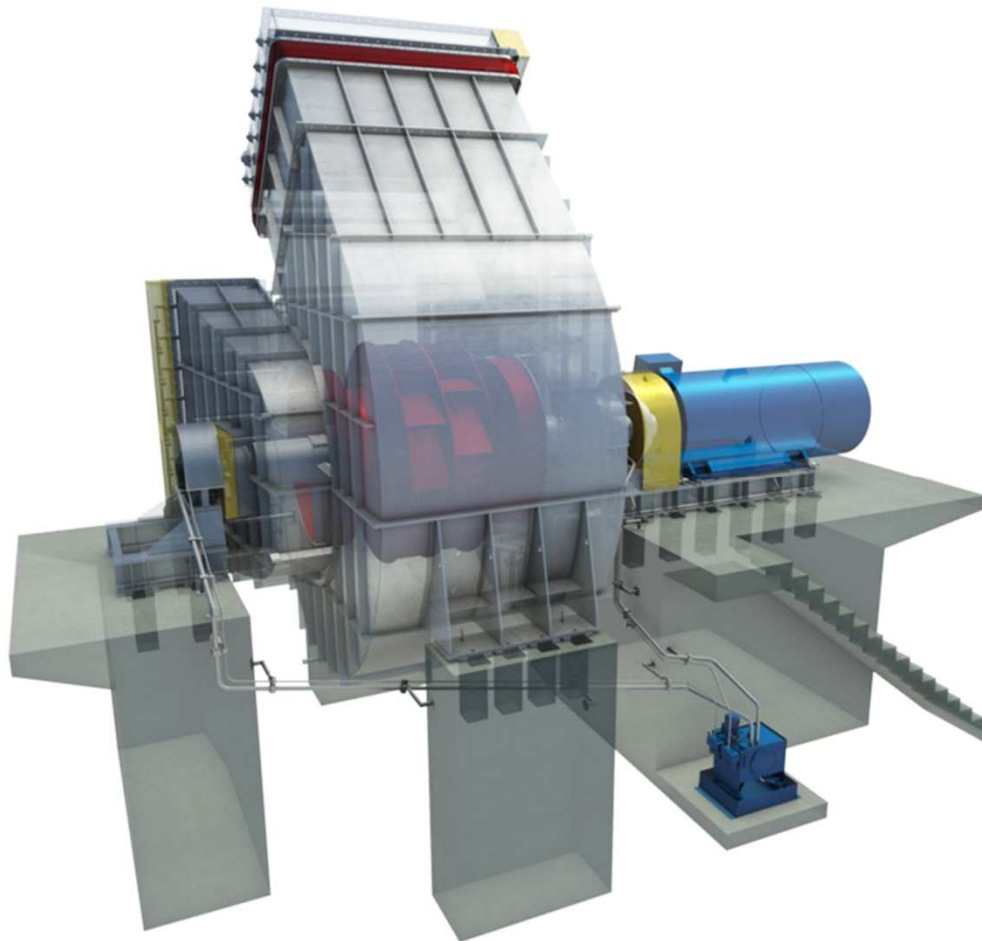
■ Spalinové ventilátory

- Z důvodu vysoké hlučnosti vybaveny tlumiči hluku
- Možnosti instalace 2;
- Buď radiální ventilátor na straně horkých spalin (bez korozní ochrany);
- Nebo (nověji) axiální ventilátor za odlučovačem kapek;
- Axiální ventilátor vybaven oplachem úsad po 1 000 – 1 500 provozních hodinách;
- Ventilátor za odlučovačem kapek vybaven protikorozní ochranou (pogumování statoru, rotor z antikorozi slitiny);

Subsystémy vápencové vypírky



■ Spalinové ventilátory

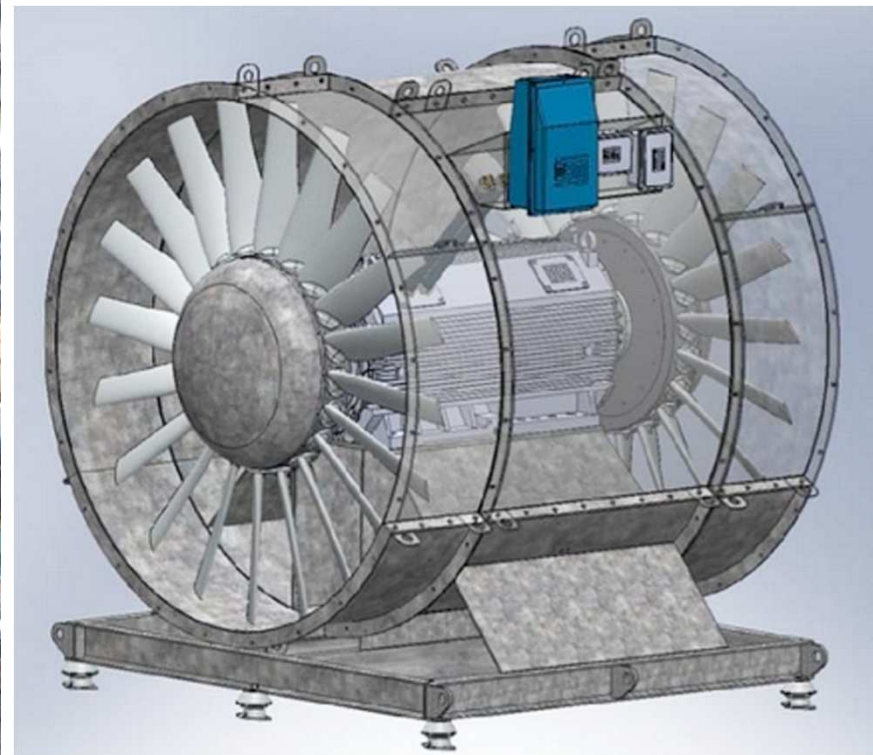


– Radiální ventilátor (Radial fan, Centrifugal fan)

Subsystémy vápencové vypírky



■ Spalinové ventilátory



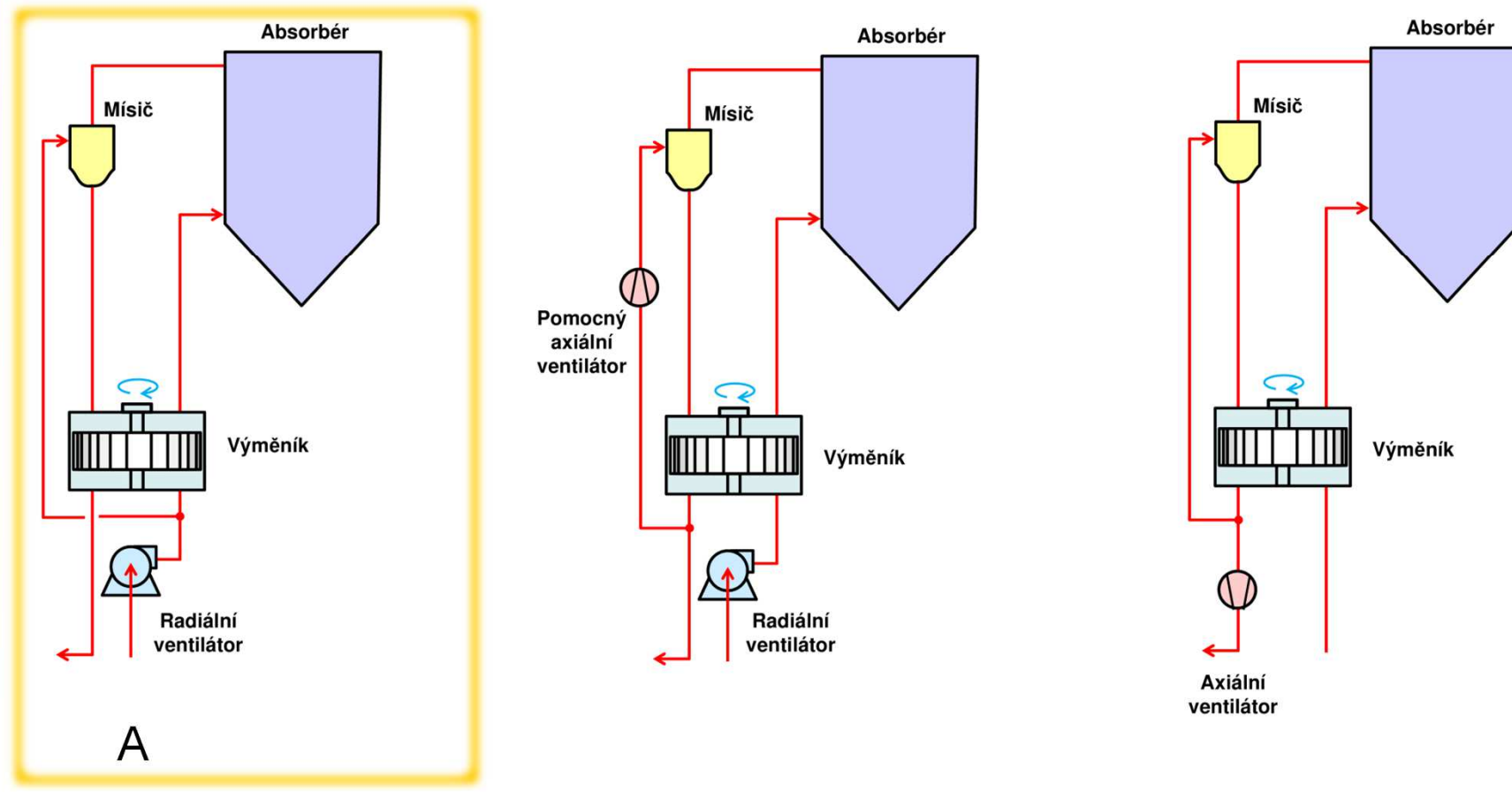
- Axiální ventilátor (bez izolací) Princip axiálního ventilátoru
- Příklad: výkon 3 mW se rezervou cca 30 %, hmotnost motoru 15 t, ventilátoru 46 t, izolace 15 t, tlumiče hluku 20 t

Subsystémy vápencové vypírky



Spalinové ventilátory – 5 možností umístění

- (A) Ventilátor před výměníkem, odpar kapek mísením s horkými spalinami odebranými před výměníkem (účinnost odsíření -9 %)

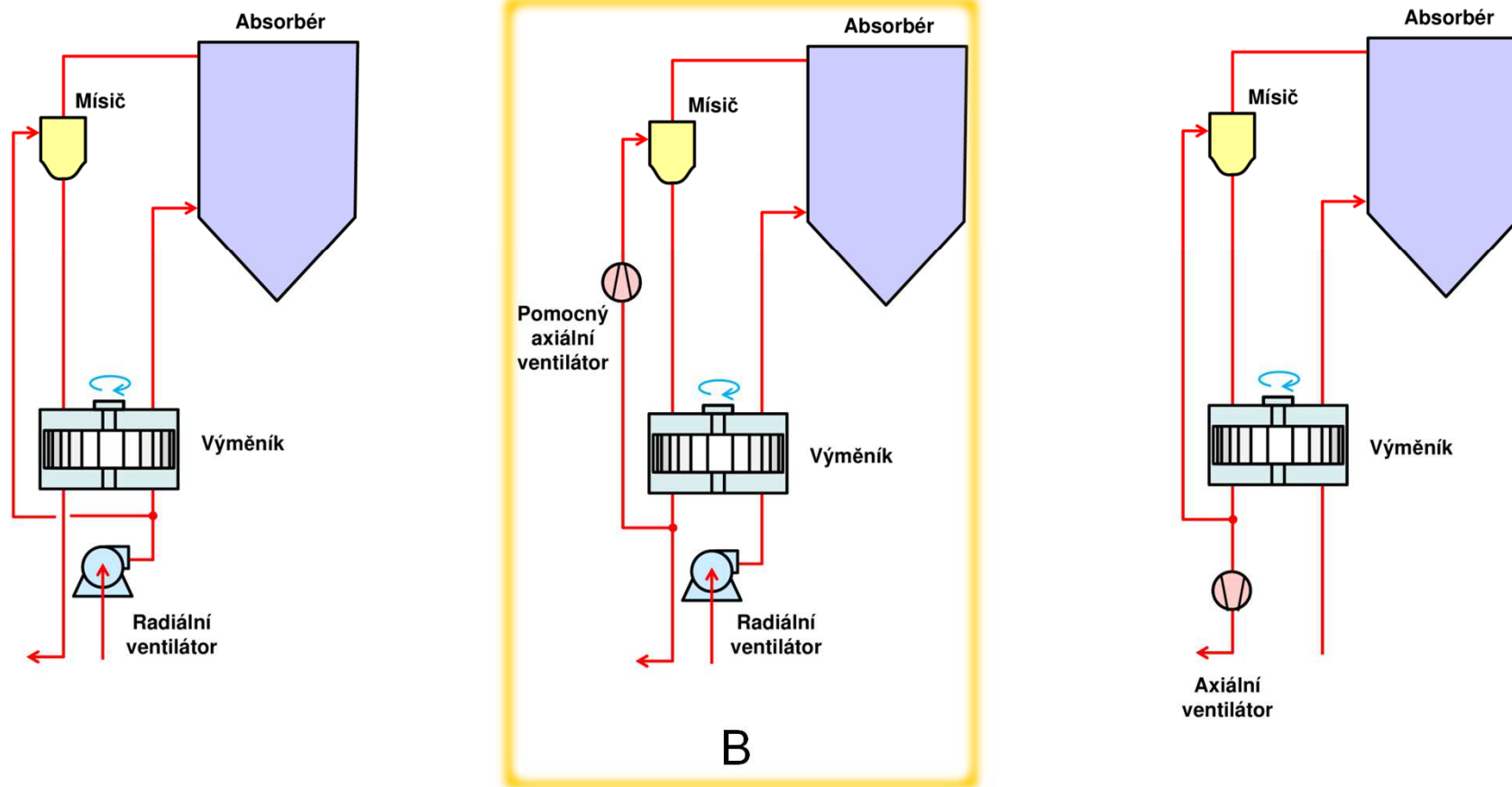


Subsystémy vápencové vypírky



■ Spalinové ventilátory – 5 možností umístění

- (B) Ventilátor před výměníkem, odpar kapek mísením s teplými spalinami odebranými za výměníkem (účinnost -2,5 %, En. + 4 %)

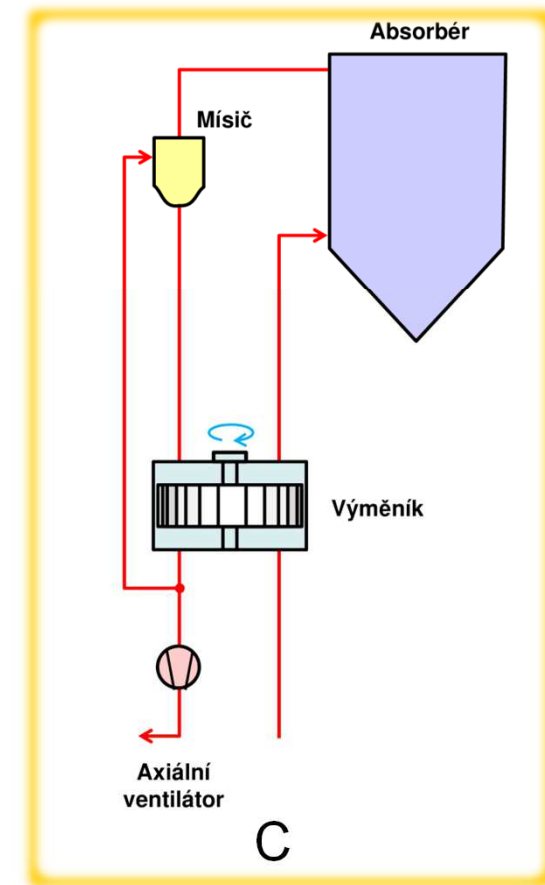
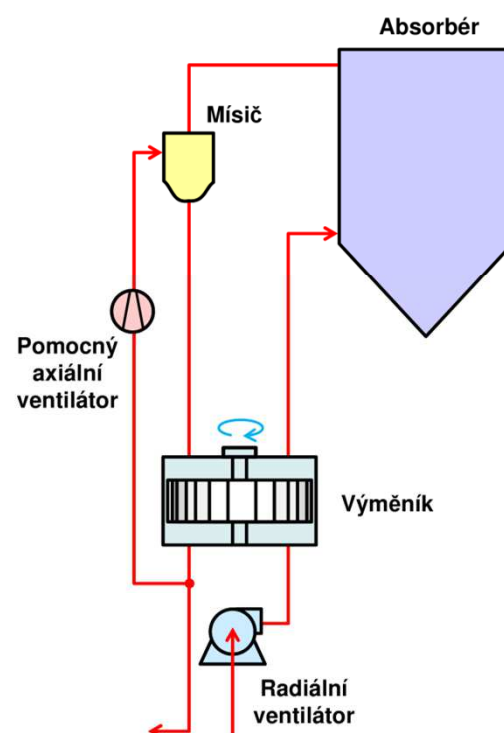
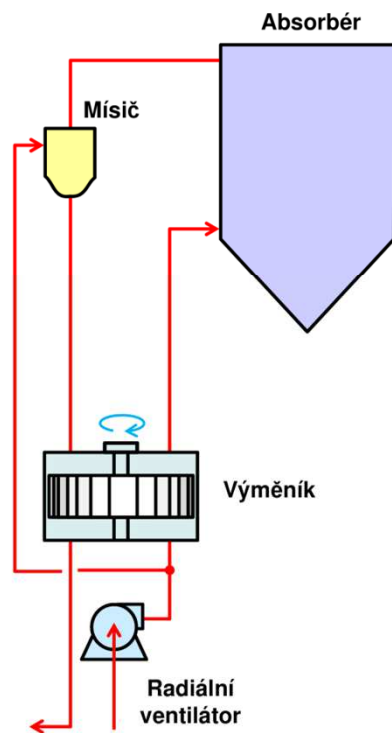


Subsystémy vápencové vypírky



■ Spalinové ventilátory – 5 možností umístění

- (C) Ventilátor za výměníkem, odpar kapek mísením s teplými spalinami odebranými za výměníkem (účinnost -2,5%, En. + 14%)

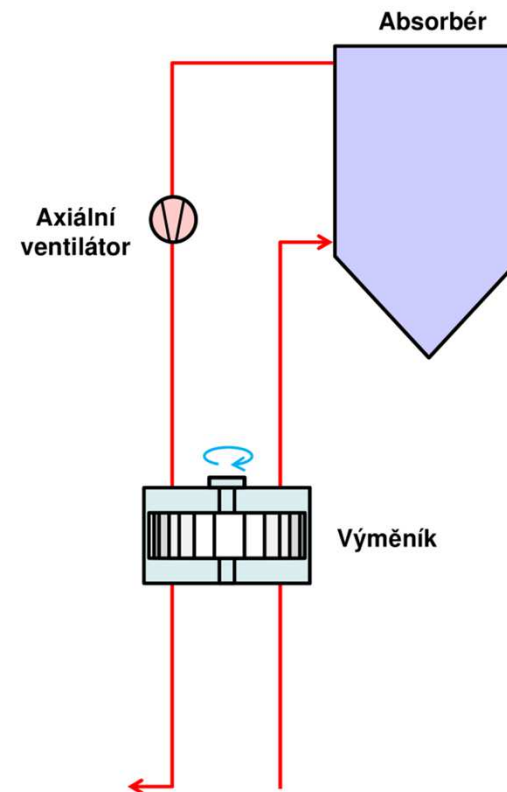
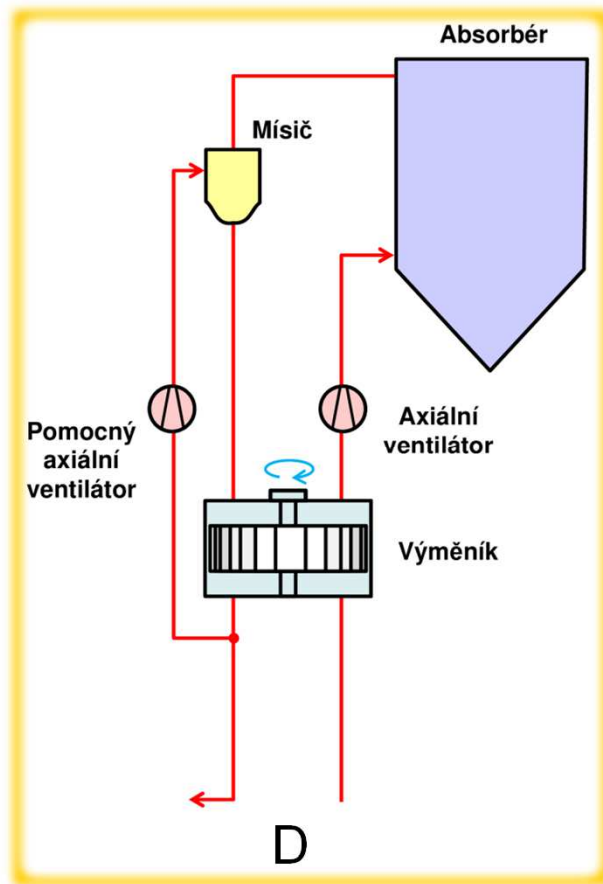


Subsystémy vápencové vypírky



■ Spalinové ventilátory – 5 možností umístění

- (D) Ventilátor před vypírkou, odpar kapek mísením s teplými spalinami odebranými za výměníkem (účinnost -1 %, En. + 4%)

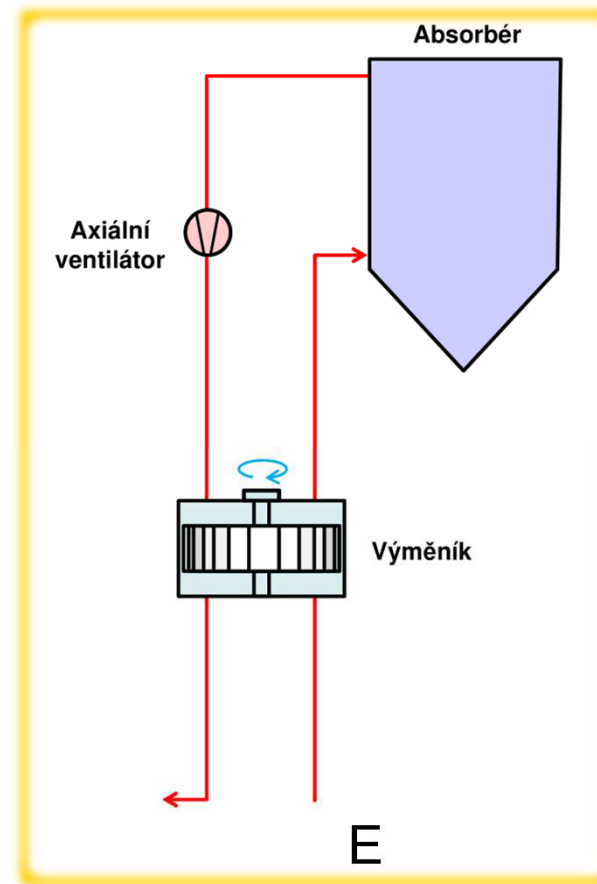
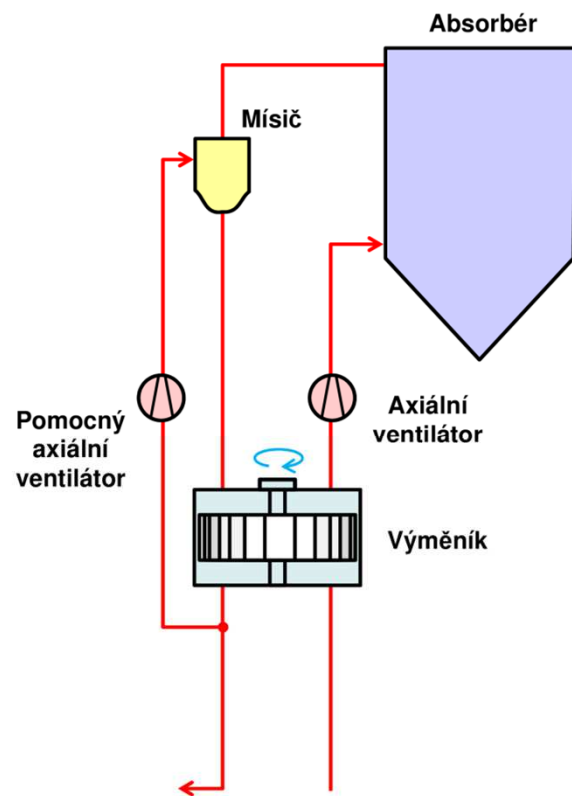


Subsystémy vápencové vypírky



■ Spalinové ventilátory – 5 možností umístění

- (E) Ventilátor za vypírkou, odpar kapek kompresí spalin ve ventilátoru (účinnost -1 %, En. + 18%)



Subsystémy vápencové vypírky



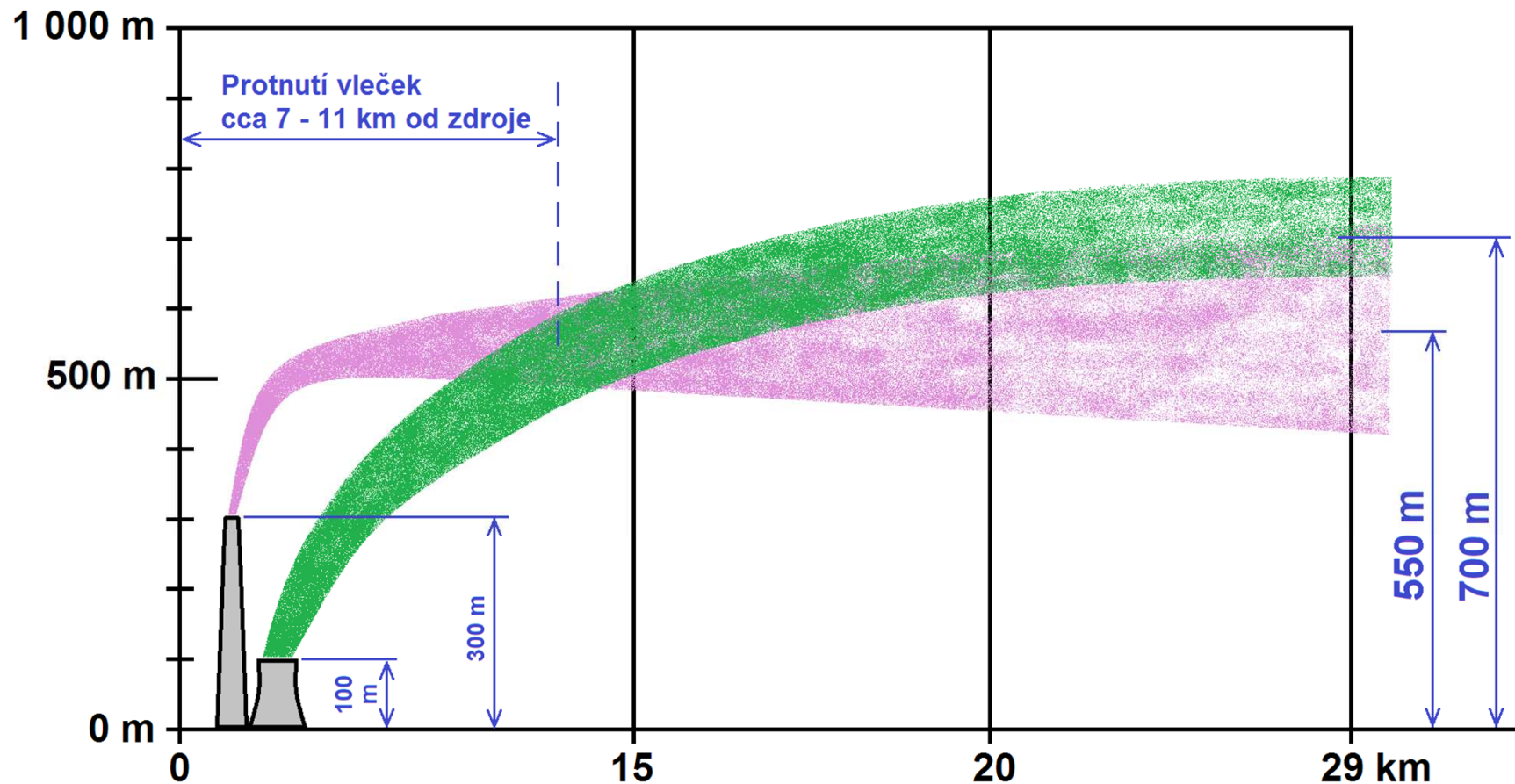
■ **Koncový rozptyl spalin do ovzduší**

- 2 možnosti řešení: komíny nebo chladicí věže;
- Komín: vnitřní povrch chráněn proti poškození kyselým kondenzátem (nerezová ocel, cihly z borosilikátového skla);
- Pozn. existuje i tzv. mokrá komín nevyžadující koncový ohřev spalin po odsíření.
- Chladicí věž: výhodné pokud vzdálenost od kotle < cca 600 m, pak nevyžaduje posilovací spalinový ventilátor, rozptyl spalin je po odparu chladicí vody a naředění vzduchem v ještě vyšší výšce, vnitřní betonový povrch chráněn kyselinovzdorným nátěrem;

Subsystémy vápencové vypírky



■ Koncový rozptyl spalin do ovzduší

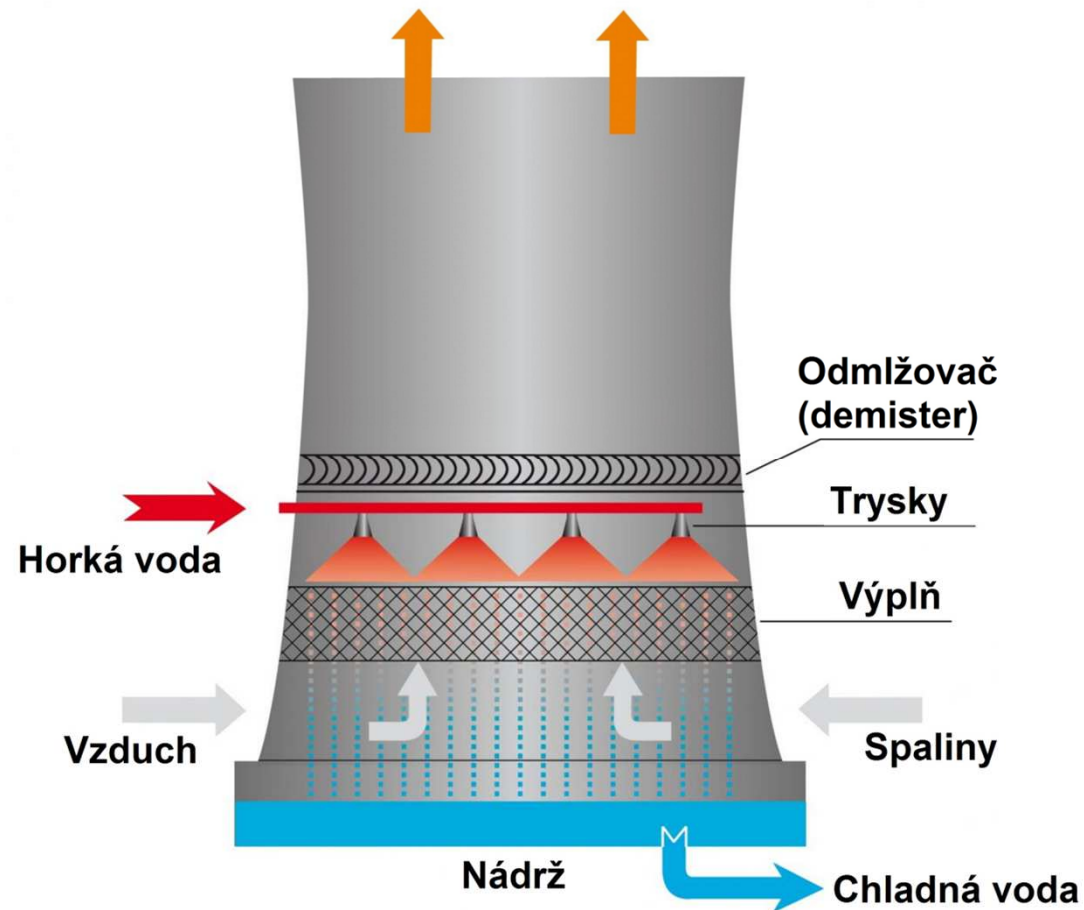


— Porovnání rozptylu spalin z věže a z komínu

Subsystémy vápencové vypírky



- **Koncový rozptyl spalin do ovzduší** (Zdroj: Hamon Group)



– Příklad technického řešení chladicí věže

Subsystémy vápencové vypírky



■ Příprava jemného vápence pro odsíření

- Užívány vápence s vysokým obsahem kalcitu ($\text{CaCO}_3 > 90 \%$);
- Vápenec velmi jemně mletý $< 40 \mu\text{m}$;
- Malé zdroje nakupují již namletý vápenec od dodavatelů.
- Velké zdroje (elektrárny) nakupují vápenec ve formě šterku a melou ho svépomocí.
- Mletí dvoustupňové:
 1. stupeň kladivový drtič frakce 2 – 5 mm
 2. stupeň mokrý kulový mlýn frakce $< 40 \mu\text{m}$
- Za mokrým kulovým mlýnem cyklonové třídíče recirkulující větší frakci zpět do mletí;
- Vápenec po mletí upraven na 15 – 25% vodní suspenzi a veden do míchaného zásobníku na čerstvou suspenzi.

Subsystémy vápencové vypírky



- **Doprava vápence – především vlaková doprava**



– Příklad TSS Cargo a.s.: otevřený výsypný vůz Falns 54.sk

Ložná hmotnost 65 t

Ložný objem 85 m³

Délka vozu 13,7 m



Subsystémy vápencové vypírky



■ Doprava vápence – bilance (Zdroj: ČEZ, a.s.)

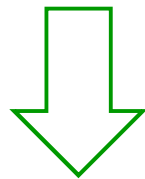
– Příklad 1 kotel 200 MW

objemový tok spalin = 1 050 000 m³/hod

primární koncentrace SO₂ = 6 500 mg.m⁻³

spotřeba vápence = 9 t/hod. = 216 t/den

produkce energosádrovce = 15 t/hod.



Vůz Falns 54.sk

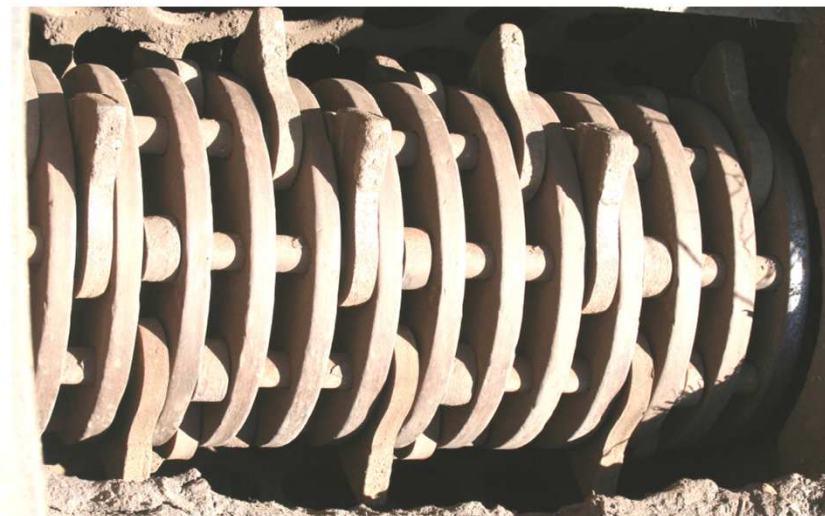
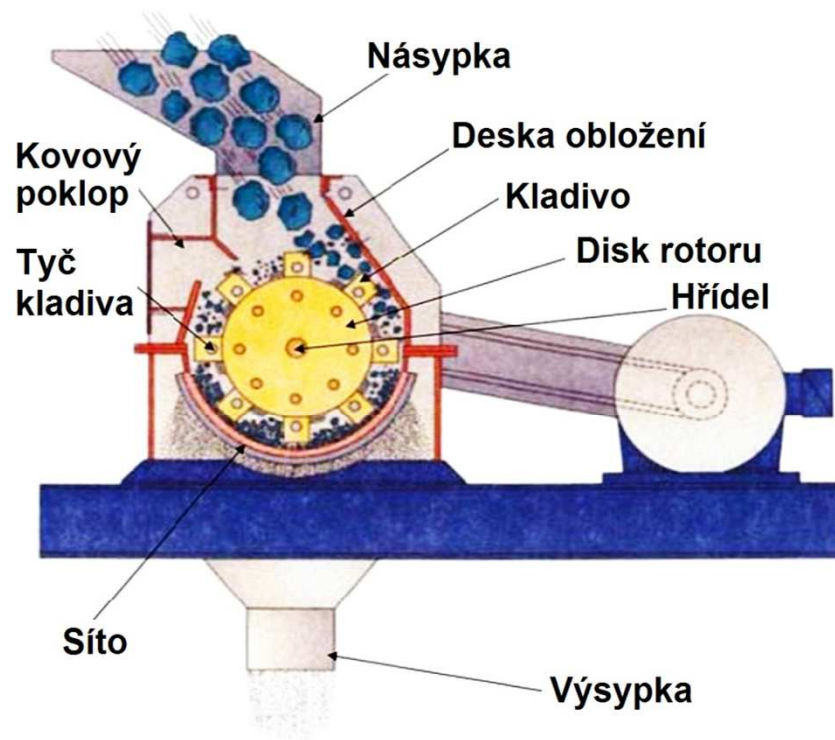
Pokryje spotřebu 1 kotle
na 7^{1/4} hodiny



Subsystémy vápencové vypírky



- Příprava jemného vápence pro odsíření



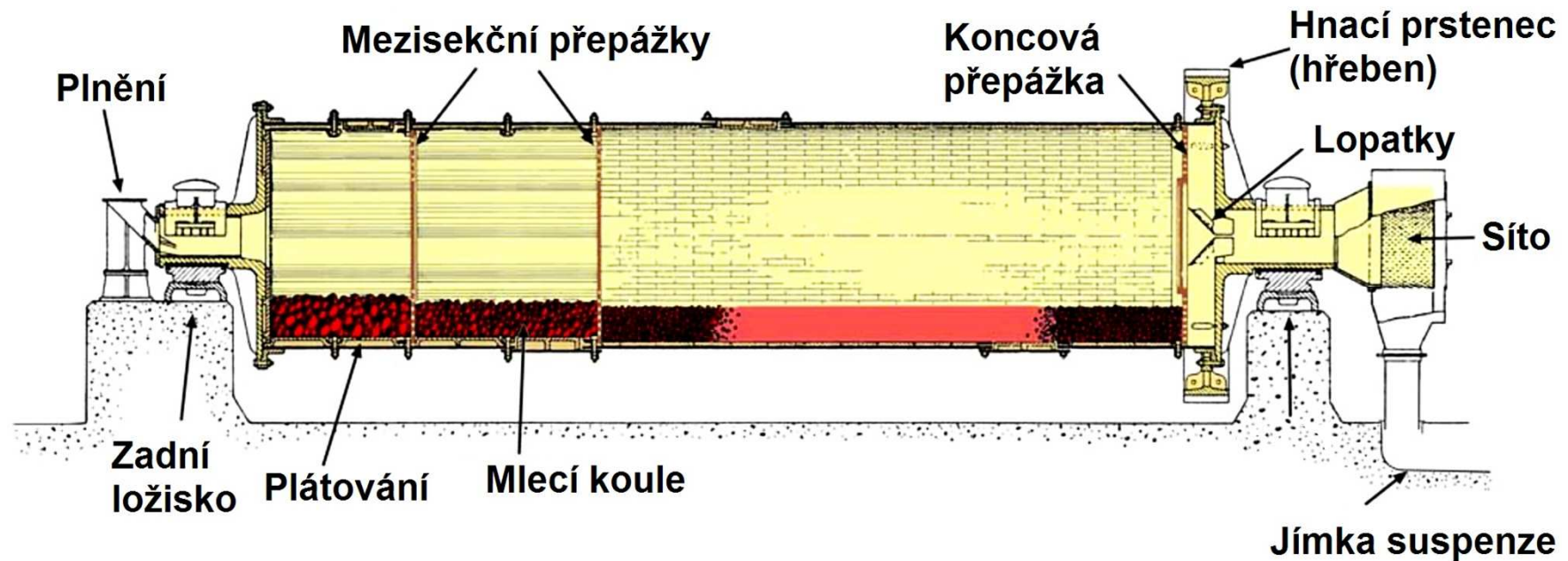
Kladivový drtič (Hammer grinder)

Detail kladiv

Subsystémy vápencové vypírky



■ Příprava jemného vápence pro odsíření

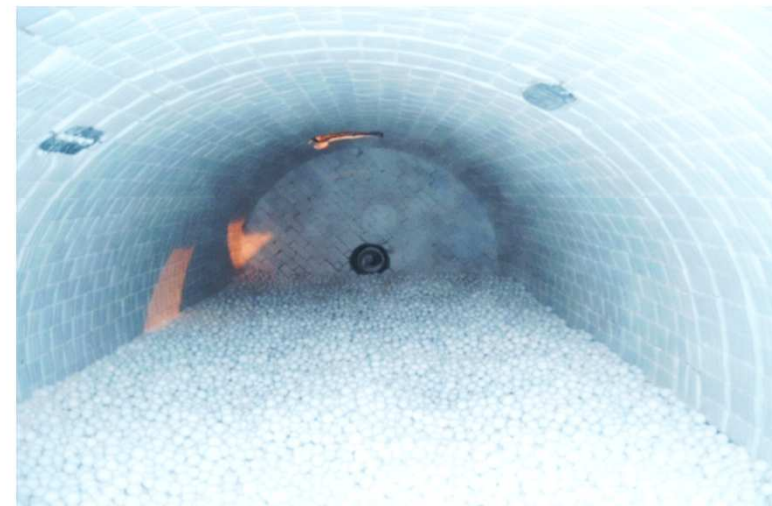
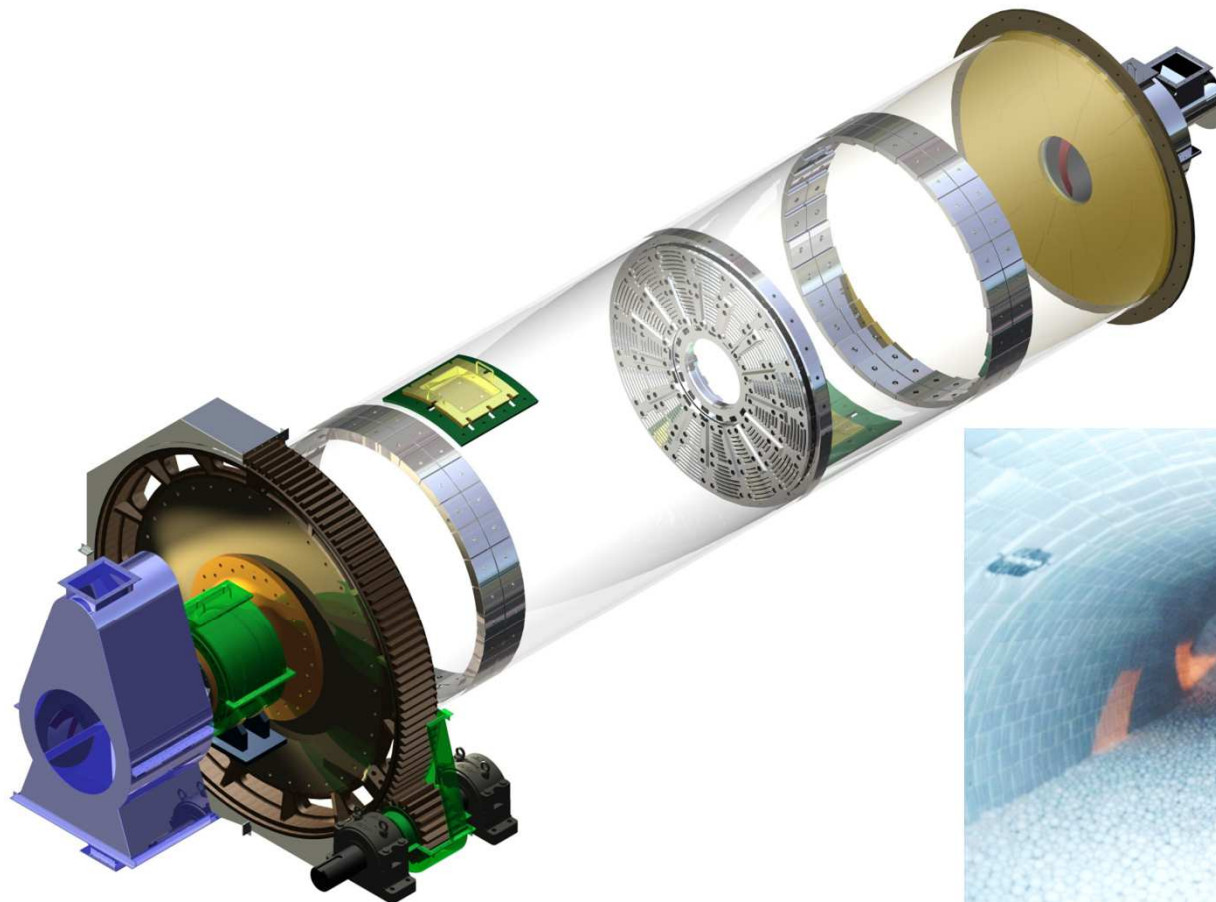


– Mokrý kulový mlýn (vícesekční provedení starší konstrukce)

Subsystémy vápencové vypírky



- Příprava jemného vápence pro odsíření



— Moderní koncepce kulového mlýnu (Ball mill)

Subsystémy vápencové vypírky



- Příprava jemného vápence pro odsíření (Zdroj: FAM Ball Mills)



– Dvojice mokrých kulových mlýnů