



ВИСОКА ТЕХНИЧКА ШКОЛА СТРУКОВНИХ СТУДИЈА НИШ
МАСТЕР СТРУКОВНЕ СТУДИЈЕ

Студијски програм: УПРАВЉАЊЕ ОТПАДОМ

Предмет: ЕНЕРГЕТСКИ ПОТЕНЦИЈАЛ ОТПАДА

Предметни наставник: Др БОБАН ЦВЕТАНОВИЋ

Предметни асистент: Мр БРАТИМИР НЕШИЋ

10. СИСТЕМИ ЗА
ПРЕЧИШЋАВАЊЕ

УВОД

У процесу термичке обраде отпада, настаје велика количина димних гасова.

Димни гасови у себи садрже материје настале као последица непотпуног сагоревања, као и широк спектар полутаната односно загађујућих материја.

Концентрација загађујућих материја зависи од састава отпада који се сагорева и карактеристика самог процеса.

Загађујуће материје се суштински групишу на: тешке метале, различита органска и неорганска једињења и пепео.

Мере које се користе за отклањање или смањење емисије одређених загађујућих материја, могу да се поделе на основне и додатне.

ОСНОВНЕ МЕРЕ ЗАШТИТЕ

Основне мере подразумевају контролу и стварање предуслова у самом процесу сагоревања у циљу да дође до што мањег формирања загађујућих материја, пре свега NOx и органских једињења попут диоксида.

Тежи се да се у што дужем периоду димни гасови задржавају на високим температурама (односно што краће на нижим температурама) уз одговарајућу количину присутног кисеоника, као и да се врши константно мешање и рецикулација унутар самог процеса.

Садржај CO и TOC у димним гасовима, пре него што они доспеју у систем за пречишћавање представља веома добар индикатор ефикасности основних мера у склопу процеса сагоревања ($CO < 50 \text{ mg/Nm}^3$, $TOC < 10 \text{ mg/Nm}^3$).

ДОДАТНЕ МЕРЕ ЗАШТИТЕ

Додатне мере се заснивају на коришћењу уређаја у оквиру система за пречишћавање у циљу додатног уклањања и смањења концентрације загађујућих материја.

Неки од најчешће коришћених уређаја за пречишћавање су: врећасти филтери, суви, полу-суви и мокри системи за пречишћавање киселих гасова, катализатори и слично. Њихово функционисање је углавном засновано принципу таложења, адсорпције, апсорпције или трансформацији структуре полутаната.

Избор система за пречишћавање који се користити у пракси зависи од стандарда и законских ограничења за дозвољене вредности емисија из процеса сагоревања. На основу тога ови системи могу да се поделе на основне, средње и напредне системе за контролу емисија.

ПАРАМЕТРИ КОЈИ СЕ КОНТРОЛИШУ У ЗАВИСНОСТИ ОД ПРИМЕЊЕНОГ СИСТЕМА

Врста система за контролу	Параметри
Основни систем	<ul style="list-style-type: none">• Суспендоване честице
Средњи систем	<ul style="list-style-type: none">• Суспендоване честице• Стандардни за HCl, HF, SO₂• Тешки метали As, Cd, Cr, Cu, Pb, Mn, Hg и Ni
Напредни систем	<ul style="list-style-type: none">• Већа контрола свих параметра из основног и средњег система• Додатна контрола NO_x• Метали Sb, Co, Tl, V• Диксини и фурани

ОСНОВНИ СИСТЕМ

Овај систем је релативно једноставан за функционисање и одржавање и подразумева минимална улагања. Како се прелази са основних на средње или напредне системе они постају све сложенији, укључују већи број уређаја за пречишћавање специфичних и појединачних загађујућих материја али исто тако расту и инвестициони и оперативни трошкови.

У оквиру основног система за контролу емисија врши се само редукција и уклањање суспендованих честица. Препоручена горња гранична вредност износи 30 mg/Nm^3 .

Овакви системи такође уклањају и значајан део осталих загађујућих супстанци због чињенице да се многи полутанти адсорбују на површини суспендованих честица, које се потом уклањају помоћу електростатичког таложника.

УРЕЂАЈИ КОД ОСНОВНОГ СИСТЕМА

Постоји неколико уређаја за уклањање суспендованих честица код основног система при чему је употреба само електростатичких филтера углавном довољна за постизање редукције до жељеног нивоа.

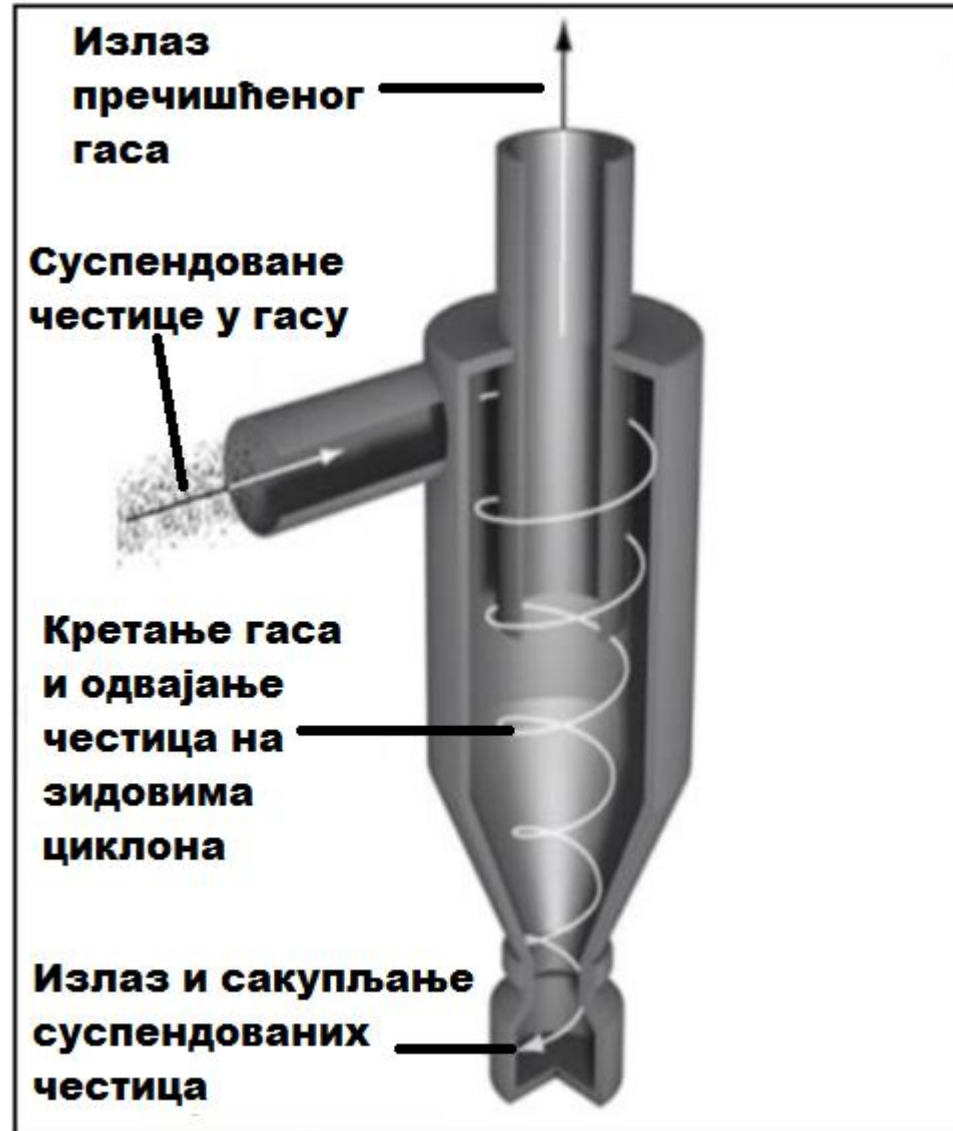
Уређаји који се користе у оквиру основног система за контролу емисија су:

- Механички колектори (циклони и мултициклони)
- Скрубери
- Фабрички филтери (врећасти филтери)
- Електростатички таложници

МЕХАНИЧКИ КОЛЕКТОРИ: ЦИКЛОНИ И МУЛТИЦИКЛОНИ

Ови уређаји обично не могу да смање концентрацију суспендованих честица испод нивоа од 150 mg/Nm^3 . Зато се углавном користе у условима када не постоји строжија контрола емисија суспендованих честица или као предтретман у оквиру напредних система за пречишћавање.

Принцип рада циклона



КАРАКТЕРИСТИКЕ ЦИКЛОНА

Назив уређаја: ЦИКЛОН	
Сврха:	Колектор суспендованих честица (прашине)
Ниво редуковане емисије:	500 mg/Nm ³
Предности:	Једноставан и робустан Ниска цена Ниски оперативни и трошкови одржавања
Недостаци:	Слаба ефикасност код фино суспендованих честица $PM_{2.5}$
Принцип рада:	Суспендоване честице ношене димним гасом тангенцијално улазе у циклонски колектор и помоћу центрифугалне силе се групишу на зидовима колектора након чега падају на дно где се скупљају. Пречишћени димни гас напушта циклон кроз средишњи део уређаја.

СКРУБЕРИ (НПР. ВЕНТУРИ СКРУБЕР)

Ови уређаји пројектовани су углавном да редукују емисије суспендованих честица до нивоа од 100 mg/Nm^3 . Скрубери нису погодни да буду први у низу уређаја за уклањање суспендованих честица и њихова улога је да коришћењем воде уклоне већину HCl присутне у димним гасовима. Тако се добија корозивна отпадна вода чија се рН вредност креће око 0.



Принцип рада скрубера

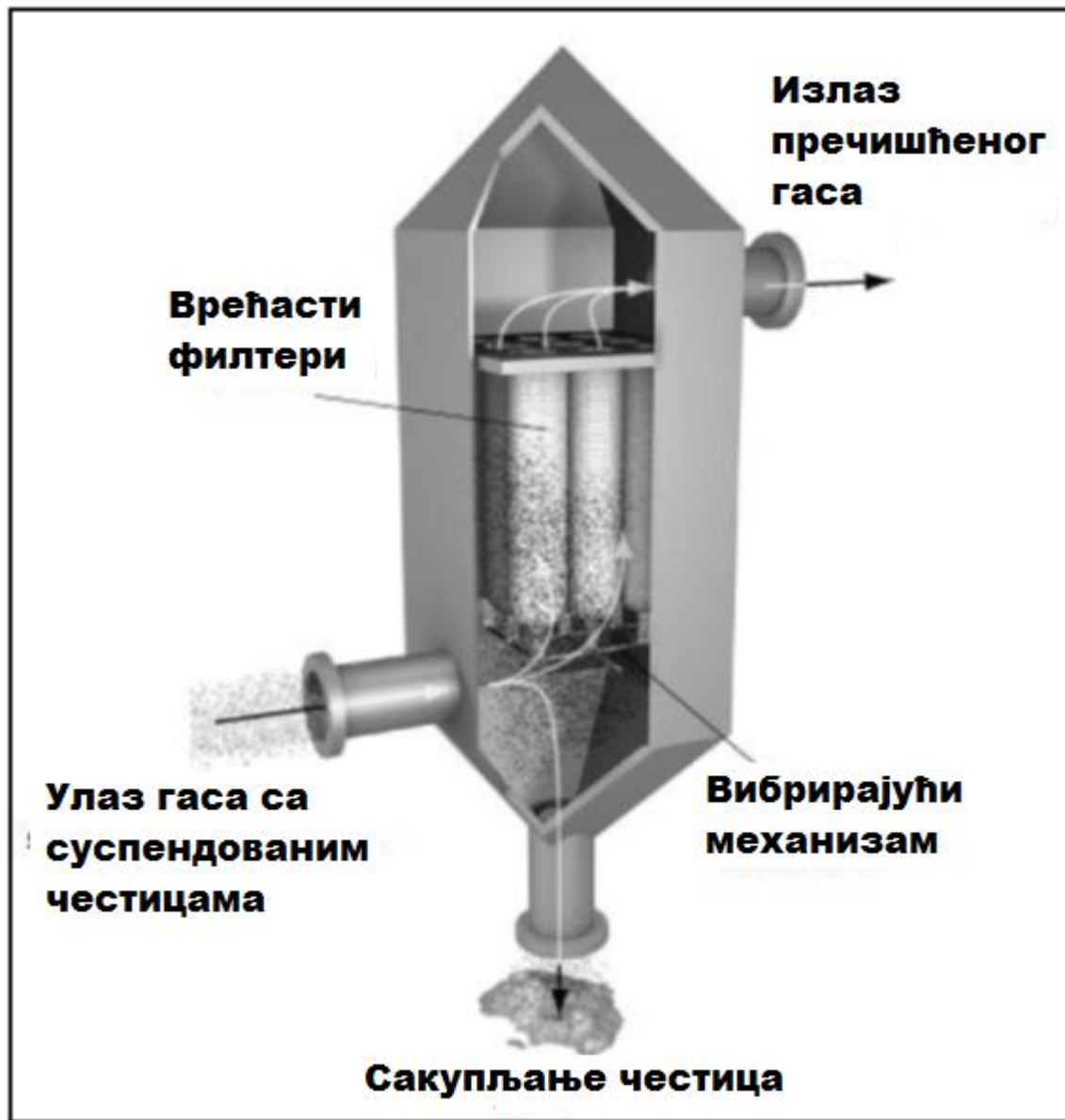
КАРАКТЕРИСТИКЕ СКРУБЕРА

Назив уређаја: СКРУБЕР

Сврха:	Колектор суспендованих честица (прашине)
Ниво редуковане емисије:	100 mg/Nm ³
Предности:	Ниска цена инвестиције
Недостаци:	Високи оперативни и трошкови одржавања Склоност корозији Генерише се слана отпадна вода
Принцип рада:	Суспендоване честице ношене димним гасом убрзано пролазе унутрашњост скрубера где се истовремено убацује вода у распршеном стању. Честице воде сакупљају суспендоване честице, након чега заједно у форми отпадне воде излазе из уређаја. Пречишћен гас излази на горе.

ФАБРИЧКИ (ВРЕЋАСТИ) ФИЛТЕРИ

Ови филтери имају велику способност пречишћавања и редукују суспендоване честице на ниво од око 10 mg/Nm^3 . Користе се за пречишћавање димних гасова који иду директно из котла па су зато осетљиви на варијације у температурама, ниво влажности и варнице из процеса сагоревања.



Принцип рада врећастог филтера

КАРАКТЕРИСТИКЕ ВРЕЋАСТОГ ФИЛТЕРА

Назив уређаја: ФАБРИЧКИ (ВРЕЋАСТИ) ФИЛТЕР	
Сврха:	Колектор суспендованих честица (прашине)
Ниво редуковане емисије:	10 mg/Nm ³
Предности:	Велика ефикасност Могуће је издвајање и киселих гасова Умерени оперативни и трошкови одржавања
Недостаци:	Осетљиви на варнице и влагу
Принцип рада:	Суспендоване честице ношене димним гасом долазе у унутрашњост уређаја који под притиском пролази кроз вреће цилиндричног облика. На врећама се на тај начин формира слој прашине (суспендованих честица) који се одстрањује вибрирајућим механизмом.

ЕЛЕКТРОСТАТИЧКИ ТАЛОЖНИЦИ

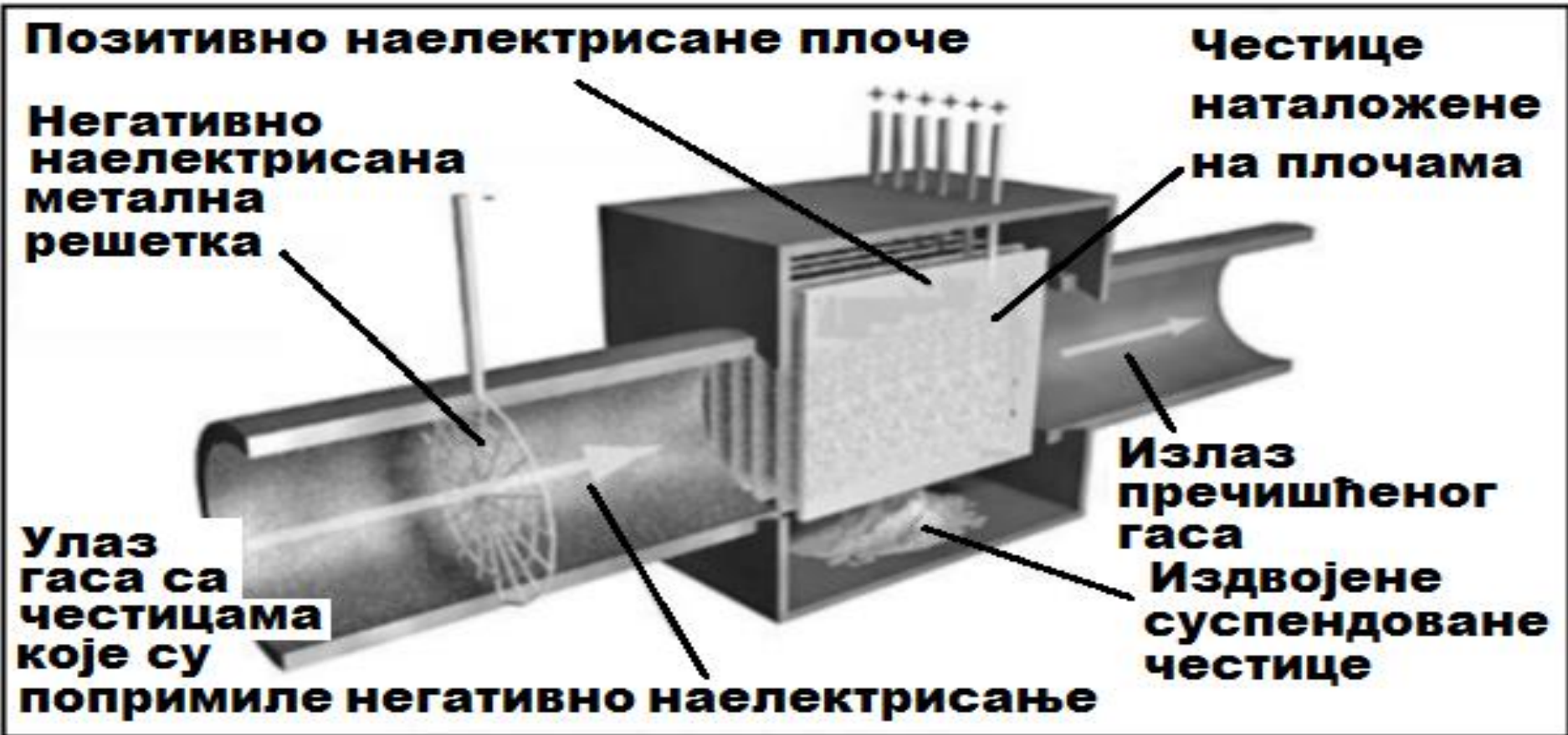
У пракси представљају најчешће решење за сакупљање суспендованих честица, насталих у процесу инсинерације. Систем може бити пројектован тако да користи 1, 2 или чак 3 независна електростатичка таложника у зависности од траженог стандарда за граничне вредности који се жели постићи.

Једним уређајем могуће је редуковати концентрацију суспендованих честица до 150 mg/Nm^3 , док се коришћењем два таложника постиже ниво испод 30 mg/Nm^3 .

Помоћу система од 2 електростатичка таложника могуће је чак редуковати и концентрацију тешких метала (осим Hg) испод нивоа који се захтева код напредних система за контролу емисија.

ЕЛЕКТРОСТАТИЧКИ ТАЛОЖНИЦИ

Такође, велики број осталих полутаната се у значајној мери може редуковати применом система два електростатичка таложника. Да би се емисија диоксида и фурана смањила на најмању могућу меру, неопходно је да таложници раде при температурама испод 200°C. На овај начин, без превеликих додатних улагања могуће је остварити велике еколошке бенефите.



Принцип рада електростатичког таложника

КАРАКТЕРИСТИКЕ ЕЛЕКТРОСТАТИЧКОГ ТАЛОЖНИКА

Назив уређаја: ЕЛЕКТРОСТАТИЧКИ ТАЛОЖНИК

Сврха:	Колектор суспендованих честица (прашине)
Ниво редуковане емисије:	Од 20 до 150 mg/Nm ³ у зависности од примењеног решења
Предности:	Робустан Могуће је издвајање тешких метала и осталих полутаната до задовољавајућег нивоа Ниски оперативни и трошкови одржавања
Недостаци:	Високи инвестициони трошкови Није могуће уклонити киселе гасове
Принцип рада:	Суспендоване честице ношене димним гасом првобитно пролазе кроз металну решетку која је негативно наелектрисана. Честице на тај начин попримају негативно наелектрисување и гас потом пролази кроз ред позитивно наелектрисаних плоча. Позитивно наелектрисување на плочама привлачи негативно наелектрисане честице у гасу и оне се скупљају на површини тих плоча. Слој честица на зиду плоча се одстрањује помоћу вибрација и прочишћен гас излази из уређаја.

СРЕДЊИ НИВО КОНТРОЛЕ ЕМИСИЈА

Системи средњег нивоа контроле емисија поред параметара који се контролишу код основних система подразумевају и редукцију киселина (HCl или HF) и тешких метала али углавном без редукције SO₂.

У пракси преовлађује углавном примена једног од следећи поступци:

- основни мокри поступак;
- суви и полусуви поступак.

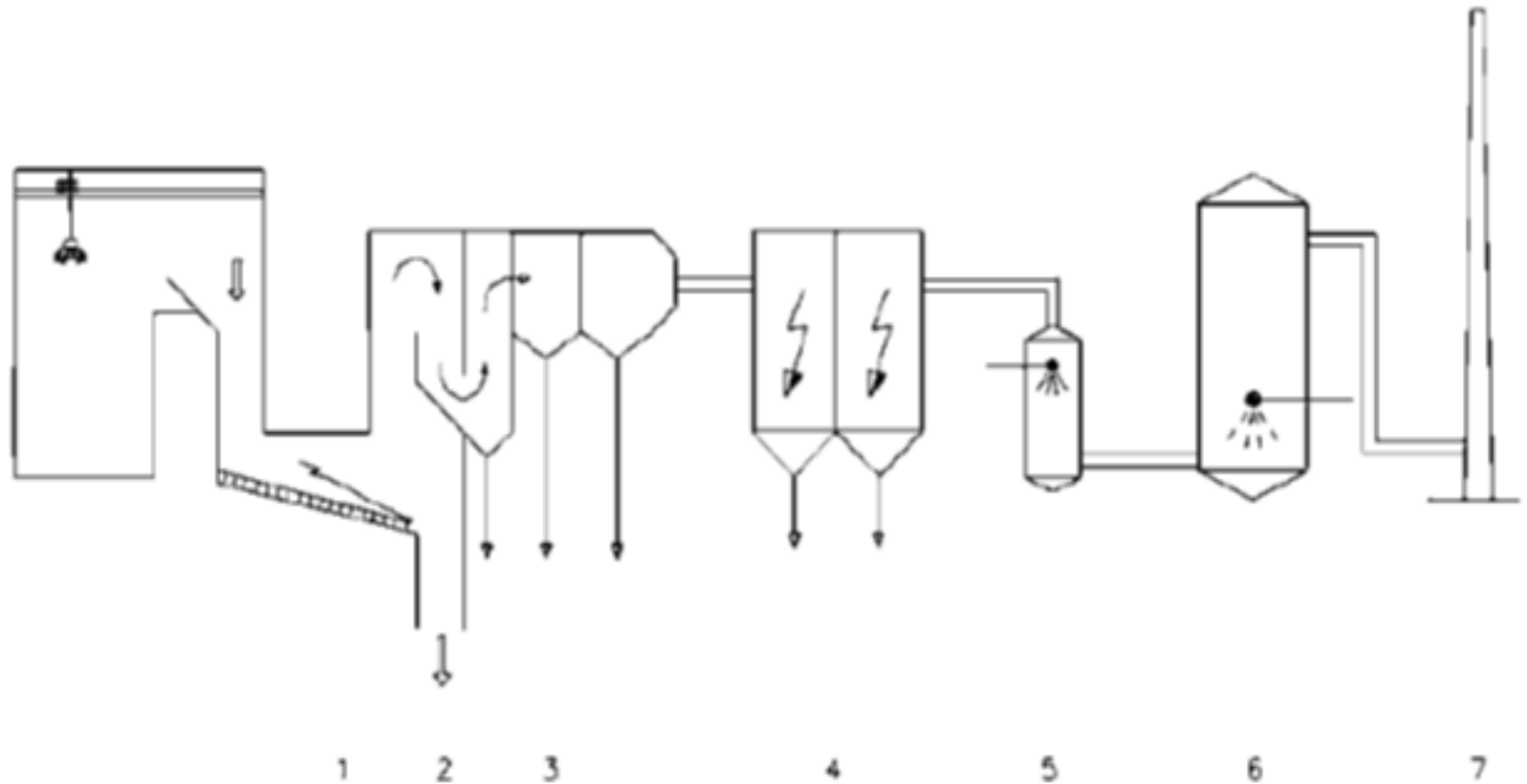
ОСНОВНИ МОКРИ ПОСТУПАК

Основни мокри поступак користи електростатичке таложнике и једноступено влажно пречишћавање. Подразумева уклањање суспендованих честица и већине тешких метала (осим Hg) помоћу електростатичких таложника, док се HCl, HF и велики удео живе уклања у влажном скрубери испирањем помоћу воде.

Због ефикасног рада електростатичких таложника димни гасови се хладе на температуру од 150–200°C, након тога скрубери за функционисање захтева додатно хлађење до температуре од 55–60°C. Хлађење може да се изврши распршивањем млаза воде у издвојеној комори за хлађење или помоћу размењивача топлоте.

Вода која улази у скрубери апсорбује HCl и HF до жељеног нивоа. Вода, која излази из скрубери поред HCl и HF садржи и издвојене тешке метале и њена рН вредност се креће око 0. Овакав тип отпадне воде мора се неутрализовати и најчешће се у ту сврху користи калцијум карбонат (CaCO_3) којим се вредност рН повећава на 2,5 а затим до 8-9 помоћу натријум хидроксида (NaOH). Третирана отпадна вода претежно сачињена од калцијум хлорида (CaCl_2) се потом испушта из система.

ОСНОВНИ МОКРИ ПОСТУПАК



ЛЕГЕНДА: 1. Пећ; 2. Уклањање пепела; 3. Котао; 4. Електростатички таложници; 5. Уређај за неутрализацију помоћу креча; 6. Скрубер; 7. Димњак

КАРАКТЕРИСТИКЕ МОКРОГ ПОСТУПКА ПРЕЧИШЋАВАЊА

ОСНОВНИ МОКРИ ПОСТУПАК

Сврха:	Уклањање суспендованих честица, HCl, HF и тешких метала
Ефикасност:	Средњи ниво контроле
Предности:	Мала употреба хемикалија HCl се неутрализује са јефтиним CaCO ₃ Мала количина остатака насталих из процеса
Недостаци:	Настајање отпадних вода Ризик од корозије Сви материјали морају бити направљени од отпорних материјала на корозију На излазу из димњака види се емисија густог белог дима

СУВИ И ПОЛУСУВИ ПОСТУПАК

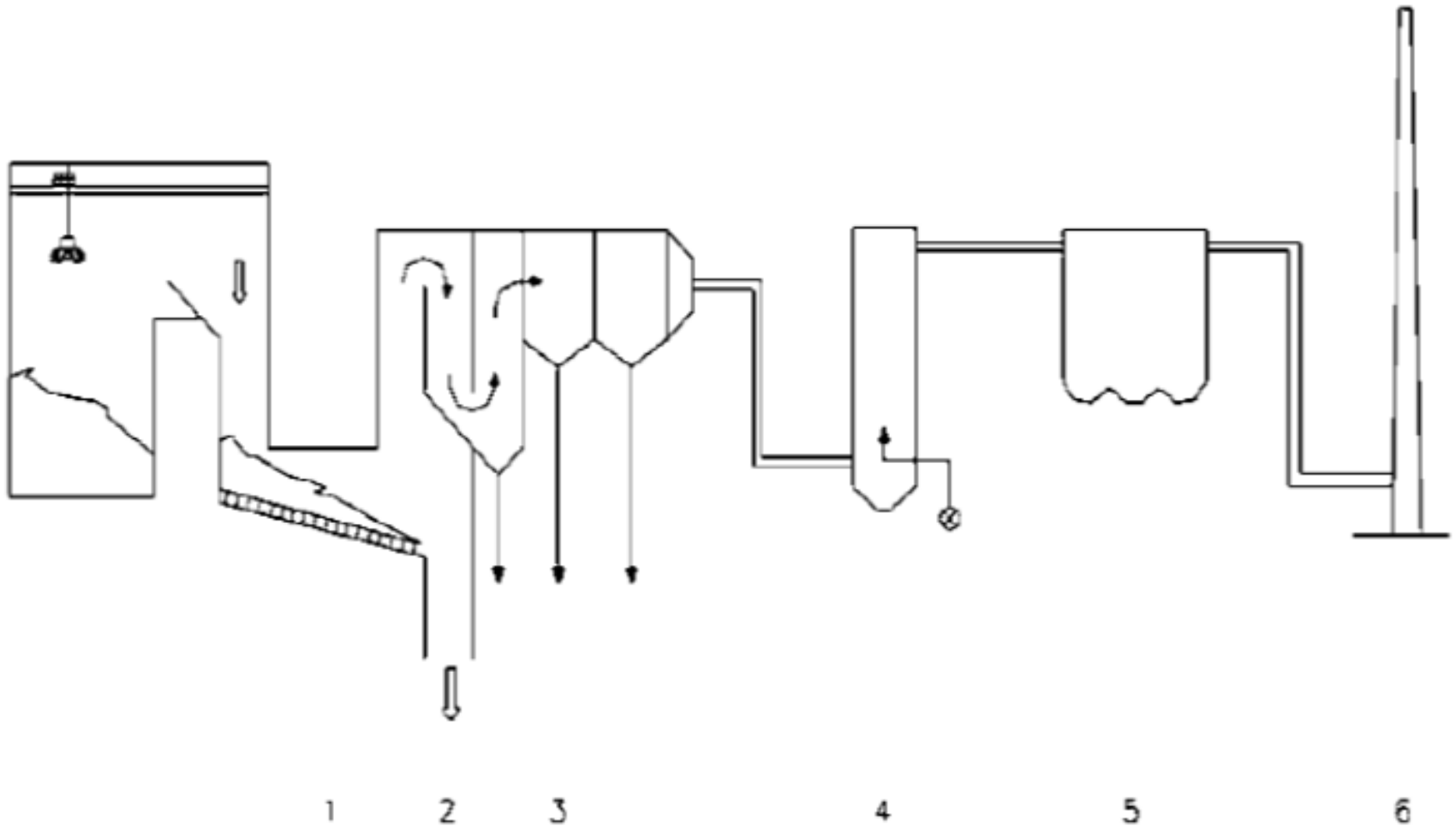
Суви и полусуви поступак представљају веома сличне системе у којима кисели гасови реагују са гашеним кречом - $\text{Ca}(\text{OH})_2$.

Код ових поступака се гасови конвертују у чврсте супстанце: калцијум хлорид (CaCl_2), калцијум сулфит/сулфат ($\text{CaSO}_3/\text{CaSO}_4$) и калцијум флуорид (CaF_2).

Основна разлика између два поступка је у томе што се код сувог поступка гашени креч дозира у чврстом агрегатном стању, за разлику од полусувог поступка где је он у форми водене суспензије.

Ови поступци не резултирају стварањем отпадне воде и самим тим су једноставнији и захтевају мање инвестиције.

СУВИ ПОСТУПАК



ЛЕГЕНДА: 1. Пећ; 2. Уклањање пепела; 3. Котао; 4. Уређај за дозирање гашеног креча; 5. Врећасте филтери; 6. Димњак

КАРАКТЕРИСТИКЕ СУВОГ ПОСТУПКА ПРЕЧИШЋАВАЊА

СУВИ ПОСТУПАК	
Сврха:	Уклањање суспендованих честица, HCl, HF и тешких метала
Ефикасност:	Средњи ниво контроле
Предности:	Нема настајања отпадних вода Мања склоност ка корозији Релативно једноставно систем се може надоградити до напредног нивоа за контролу емисија Дим из димњака је видљив само при веома хладном времену
Недостаци:	Већа употреба хемикалија Користи се реалтивно скуп $\text{Ca}(\text{OH})_2$ Настаје више чврстих остатака из процеса

НАПРЕДНИ (ВИСОК) НИВО КОНТРОЛЕ ЕМИСИЈА

У циљу достизања граничних вредности емисија које одговарају високом нивоу контроле могу да се користе:

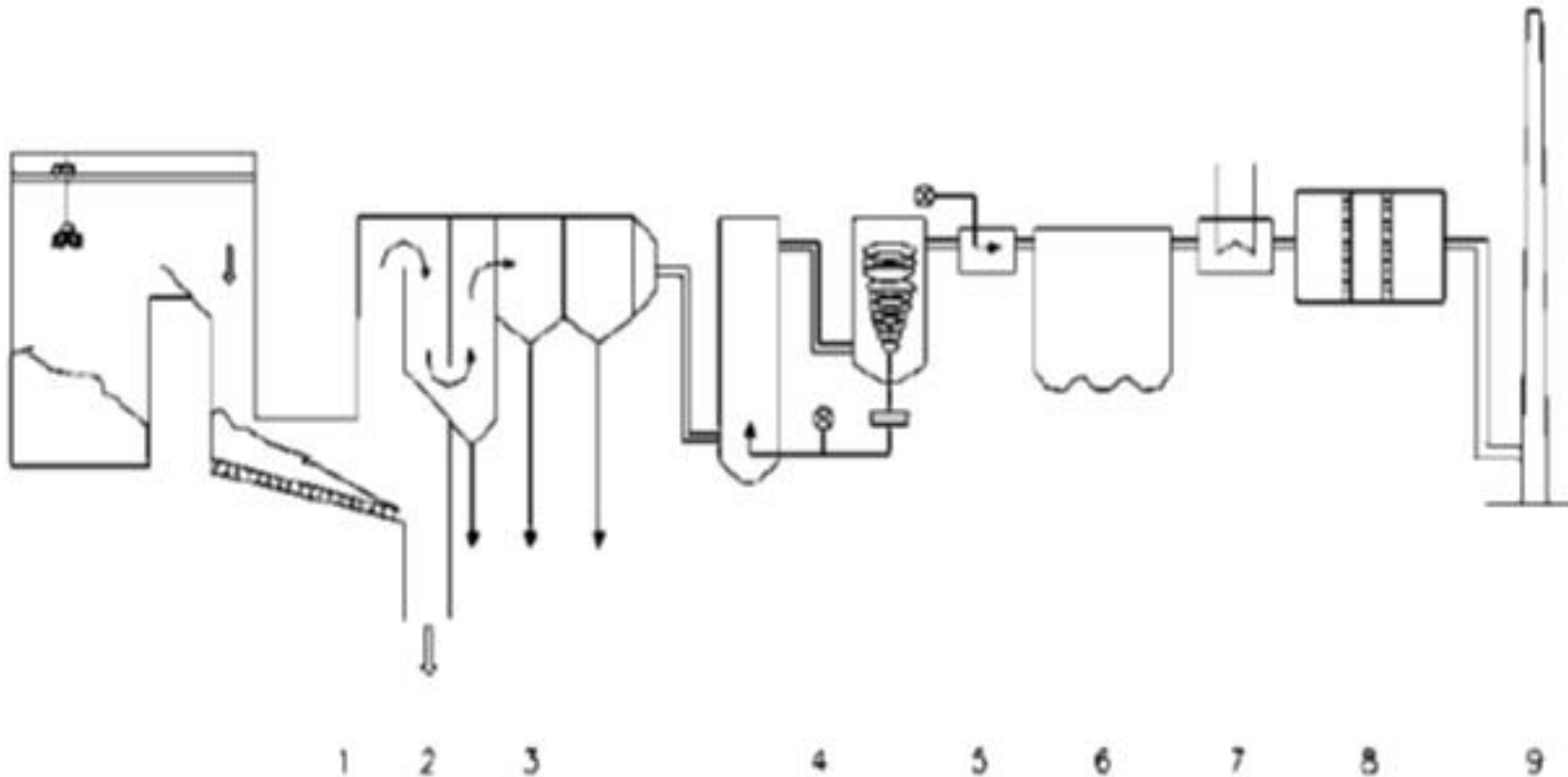
- Суви и полусуви поступак уз додатно коришћење хемикалија;
- Побољшани влажни поступак који комбинује електростатичке таложнике, размењивач топлоте, двостепени систем скрубера и врећасте филтере.

Код сувог и полусувог поступка повећање ефикасности редукције HCl , HF и SO_2 постиже се додатном употребом хемикалија. Повећено коришћење гашеног креча у поступку утиче на додатно смањење нивоа концентрације за поменута три полутанта. Уз то, смањење количине Hg и диоксида може се постићи додавањем активног угља у гашени креч.

КАРАКТЕРИСТИКЕ ПОЛУСУВОГ ПОСТУПКА ПРЕЧИШЋАВАЊА

ПОЛУСУВИ ПОСТУПАК	
Сврха:	Уклањање суспендованих честица, HCl, HF, тешких метала, SO ₂ , NO _x и диоксида
Ефикасност:	Висок ниво контроле
Предности:	Нема настајања отпадних вода Мања склоност ка корозији Нема видљивог дима из димњака
Недостаци:	Скуп процес за редукцију NO _x Велика потрошња хемикалија и енергије Настаје више чврстих остатака из процеса Диоксини нису потпуно уништени, само се адсорбују

ПОЛУСУВИ ПОСТУПАК



ЛЕГЕНДА: 1. Пећ; 2. Уклањање пепела; 3. Котао; 4. Уређај за дозирање гашеног креча; 5. Додавање активног угља; 6. Врећасте филтери; 7. Измењивач топлоте; 8. Каталитички редуктор; 9. Димњак

ПОБОЉШАНИ МОКРИ ПОСТУПАК

Побољшани мокри поступак за разлику од основне варијанту користи додатни скрубер помоћу којег се SO_2 редукује кроз реакцију са NaOH или CaCO_3 .

Због присуства кисеоника у димним гасовима, продукти реакције су Na_2SO_4 , односно гипс $\text{CaSO}_4 \cdot \text{X} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Гас на излазу из скрубера се поново загрева помоћу размењивача топлоте и води до врећастог филтера. Претходно се у гас убацује активни угаљ или мешавина креча и активног угља, што повећава ефикасност врећастог филтера.

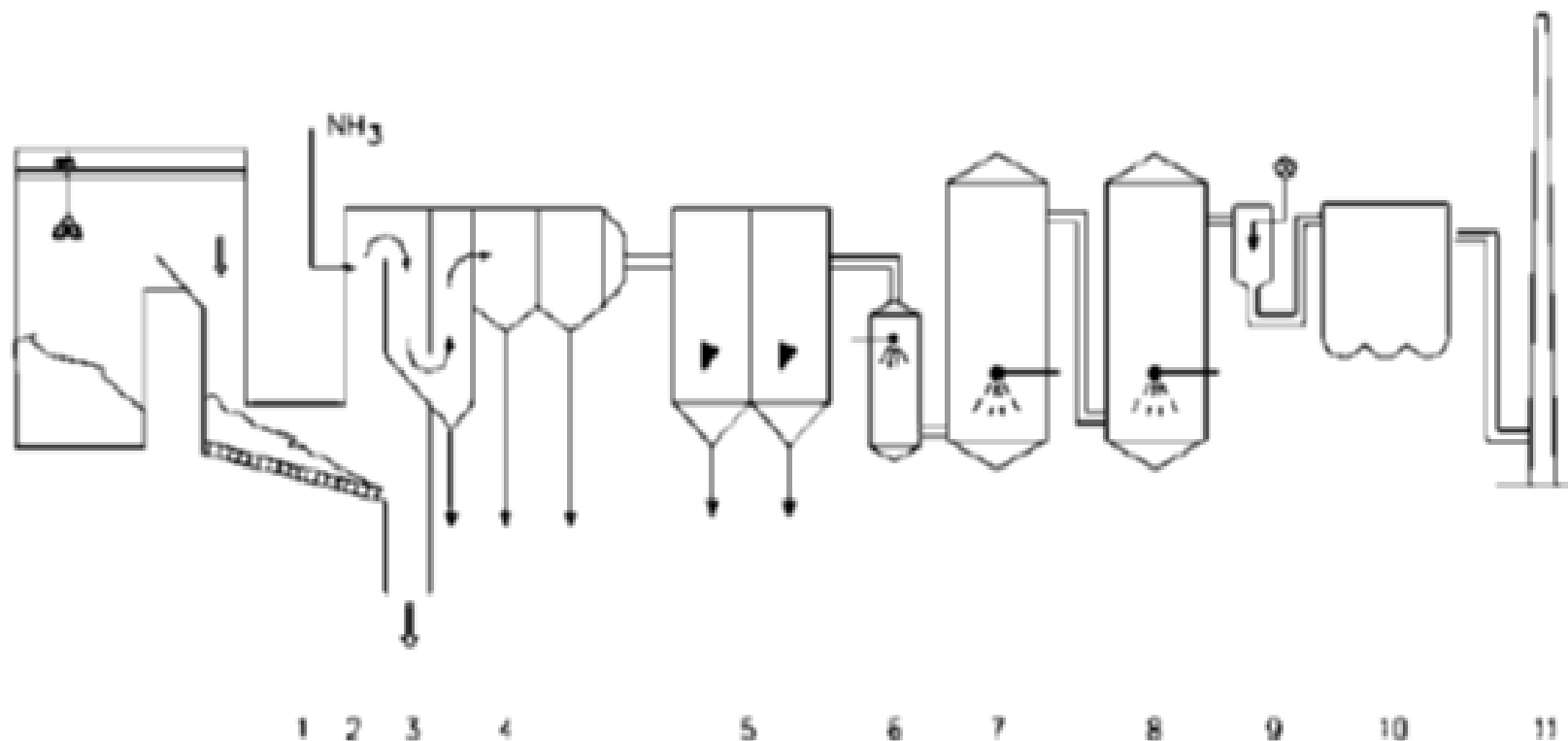
На тај начин, концентрациони нивои за живу и диоксине се налазе испод вредности које су дефинисане за системе са високом контролом емисија. Поред тога, суспендоване честице, HCl , HF и тешки метали су на овај начин додатно редуковани.

КАРАКТЕРИСТИКЕ ПОБОЉШАНОГ МОКРОГ ПОСТУПКА

ПОБОЉШАНИ МОКРИ ПОСТУПАК

Сврха:	Уклањање суспендованих честица, HCl, HF, тешких метала, SO ₂ , NO _x и диоксина
Ефикасност:	Висок ниво контроле
Предности:	Јефтин поступак за уклањање NO _x Јефтин CaCO ₃ за уклањање SO ₂ Диоскини се у потпуности уништавају
Недостаци:	Високи инвестициони трошкови Постоји отпадна вода из процеса Видљив бео дим из димњака при хладном и влажном времену

КАРАКТЕРИСТИКЕ ПОБОЉШАНОГ МОКРОГ ПОСТУПКА



ЛЕГЕНДА: 1. Пећ; 2. Уклањање пепела; 3. Дозирање амонијака; 4. Котао; 5. Електростатички таложници; 6. Уређај за неутрализацију помоћу креча; 7. Скрубер за киселе гасове; 8. Додатни скрубер; 9. Додавање активног угља; 10. Врећаста филтер; 11. Димњак

ЗАКЉУЧАК

Ипак, ни један од поменутих два поступка није ефикасан по питању смањења концентрације NOx. У том смислу, неопходно је обратити посебну пажњу на већ поменуте основне мере за контролу емисија.

Једна од мера која има практичну примену јесте рецикулација гаса у процесу сагоревања. Додатна контрола концентрације NOx може се постићи коришћењем амонијака (NH₃) у процесу, чиме се NOx трансформише у слободан азот и водену пару.

Оба гаса добијена на овај начин не представљају потенцијално оптерећење по животну средину и испуштају се кроз димњак.