

ES GPGB dideliems kūrą deginantiesiems įrenginiams ir jų palyginimas su esama situacija Lietuvos energetikos sektoriuje

R. Šležas, LEI, Degimo procesų laboratorija

1. Dūmų išvalymas nuo kietųjų dalelių

Deginant skystą kūrą, susidaro įvairaus dydžio kietosios dalelės - nuo milimetro iki dešimtųjų mikrono dalių. Jos susidaro iš kure esančių nedegių priemaišų, nesudegusios kuro anglies, suodžių, liepsnoje pasigaminusių kietų sieros junginių, degimo oro dulkių. Deginant dujinį kūrą, kietosios dalelės dūmuose gali atsirasti dėl suodžių ir degimo oro dulkių. Tinkamai kontroliuojant degimą, skysto kuro dūmuose daugiausiai lieka iš nedegių medžiagų sudaryti pelenai, o dujinio kuro dūmuose gali būti randamas labai nedidelis kietųjų dalelių kiekis dėl degimui tiekiamo oro dulketumo ir katilo paviršių apšvalymo. Mazuto dūmuose apie pusė pagal svorį dalelių gali būti mažesnių už 1 μm , orimulsijos dūmuose submikroninių dalelių kiekis gali siekti 70% ir daugiau nuo visų dalelių svorio. Aplinkos ore tokios dalelės išsilaiko kelias dienas ar savaites, o įkvėpus, nusėda plaučius. Dėl daromo žalingo poveikio žmonių sveikatai yra ribojamas kietųjų dalelių kiekis kūrą deginančių įrenginių išmetamuosiuose dūmuose.

1.1. Aplinkosauginiai reikalavimai dūmų išvalymui nuo kietųjų dalelių

Didžiausią leidžiamą kietųjų dalelių koncentraciją išmetamuosiuose dūmuose nustato "Išmetamų teršalų iš didelių kūrą deginančių įrenginių normos", patvirtintos Lietuvos Respublikos aplinkos ministro 2003 m. gruodžio 24 d. įsakymu Nr. 712. Deginant skystą kūrą AB "Lietuvos elektrinė" esamuose katiluose, kietųjų dalelių koncentracijai išmetamuose dūmuose taikoma 100 mg/Nm^3 ribinė vertė. Nuo 2008 m. sausio 1 d. skystą kūrą deginantiesiems katilams bus leidžiama ne didesnė kaip 50 mg/Nm^3 ribinė vertė. Tačiau, jeigu skysto kuro peleningumas viršija 0,06%, išmetamų kietųjų dalelių ribinė vertė ir po 2008 m. sausio 1 d. bus 100 mg/Nm^3 .

M100 mazutui pelenų kiekis pagal šio gaminio standartą GOST 10585-76 yra leistinas iki 0,14% kuro masės. Orimulsijos 400 peleningumas turi neviršyti 0,1% šio kuro masės. Todėl šios rūšies skysto kuro deginimui turi būti taikoma 100 mg/Nm^3 ribinė vertė.

Deginant dujinį kūrą esamuose katiluose kietųjų dalelių ribinė vertė yra 20 mg/Nm^3 . Nuo 2008 m. sausio 1 d. dujinį kūrą deginantiesiems katilams bus leidžiama ne didesnė kaip 5 mg/Nm^3 kietųjų dalelių ribinė vertė.

ES šalyse katilų dūmuose leistiną teršalų kiekį nustato 2001 spalio 23 d. Europos Parlamento ir Tarybos Direktyva 2001/80/EC dėl tam tikrų teršalų emisijos apribojimo iš didelių kūrą deginančių įrenginių. Lietuva perkėlė šių direktyvų reikalavimus į mūsų normatyvinius dokumentus. Lietuvoje

nustatytos kietųjų dalelių normos katilų išmetamuose dūmuose ir 2001/80/EC direktyvos reikalavimai palyginti 1.1 lentelėje

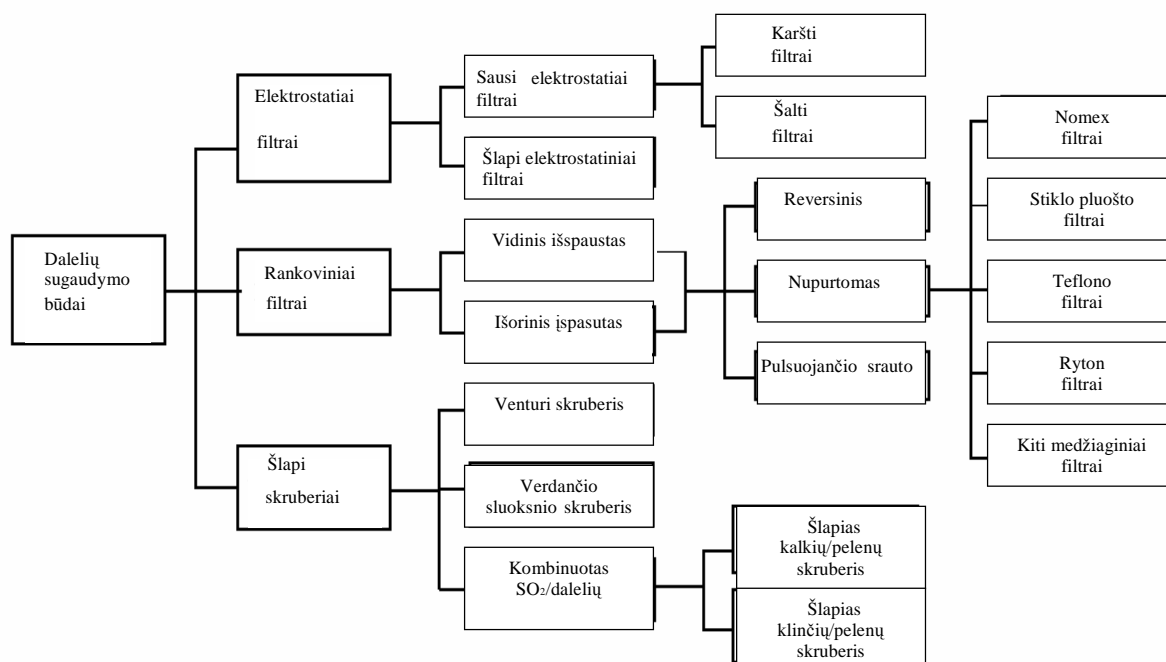
1.1 lentelė. Didžiausios leidžiamos dalelių koncentracijos prie 3% O₂, mg/Nm³

	Iki 2008m. sausio 1 d.		Po 2008 m. sausio 1 d.	
	Lietuvos normos	2001/80/EC	Lietuvos normos	2001/80/EC
Esami katilai (leidimas statyti išduotas iki 1998.07.01)				
Dujinis kuras	20	5	5	5
Skystas kuras	100	50 ¹⁾	50 2)	50 ¹⁾
Nauji katilai (leidimas statyti išduotas po 1998.07.01)				
Dujinis kuras	20	5	5	5
Skystas kuras	100	50 ¹⁾	50 1)	50
Nauji nauji katilai (leidimas statyti išduotas po 2002.11.27)				
Dujinis kuras	5	5	5	5
Skystas kuras				
50-100 MW	50	50	50	50
>100 MW	30	30	30	30

- 1) Katiluose iki 500 MW deginant skystą kurą, kurio peleningumas viršija 0,06 tūrio proc., išmetamų kietųjų dalelių didžiausia leidžiama koncentracija 100 mg/Nm³.
- 2) Katiluose deginant skystą kurą, kurio peleningumas viršija 0,06 tūrio proc., išmetamų kietųjų dalelių didžiausia leidžiama koncentracija 100 mg/Nm³.

1.2. Geriausiai tinkamos technologijos dūmų išvalymui nuo kietųjų dalelių

Dūmų išvalymui nuo kietųjų dalelių elektrinėse yra naudojami elektrostatiniai ir rankoviniai filtrai bei šlapi skruberiai. Ciklonų ir kitokių mechaninių dulkių gaudytuvų efektyvumas yra per mažas su dūmais lekiančių smulkių dalelių sugaudymui.

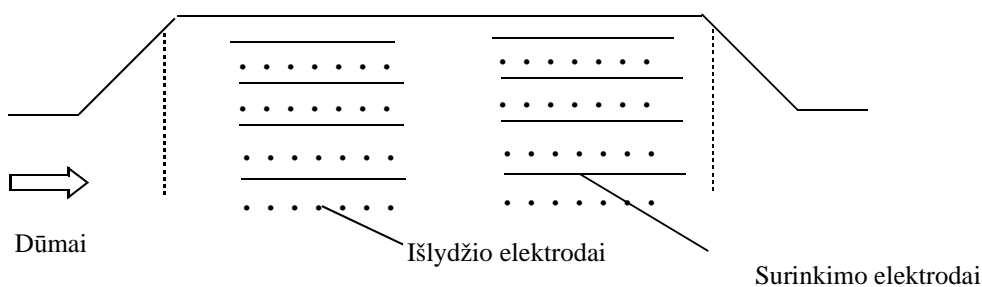


1.1 pav. Dūmų išvalymo nuo kietųjų dalelių būdai

Elektrostatiniu filtru galima pasiekti labai aukštą išvalymo efektyvumą. Šiuo metu

elektrostatiniai filtrai sudaro apie 90 % elektrinėse naudojamų pelenų gaudymo įrenginių. Šalti filtrai įrengiami už oro šildytuvo ir gali dirbti 130-180°C temperatūroje. Karšti filtrai statomi prieš oro šildytuvą ir dirba 300-450°C dūmų temperatūroje. Jų efektyvumas mažai priklauso nuo dalelių dydžio ir gali dirbti tiek sausoje, tiek ir šlapioje aplinkoje.

Elektrostatiniame filtre su dūmais lekiančios dalelės yra įelektrinamos neigiamai aukštos įtampos išlydžiu ir nusodinamos ant teigiamo potencialo surinkimo plokščių. Susikaupusios ant kolektoriaus kietosios dalelės periodiškai nudažomos plaktukais į surinkimo bunkerius (1.2 pav.)



Dalelių sugaudymo efektyvumas priklauso nuo surinkimo elektrodų ploto, dūmų debito ir dalelių nusodinimo greičio elektriniame lauke. Todėl labai svarbu tinkamai parinkti elektrodų plotą bei elektrinio lauko stiprumą pagal dūmuose esamų dalelių savybes. Šiuolaikiniuose filtruose tai pasiekama padalinant filtro tūrį į kelias sekcijas ir kiekvienam iš jų atskirai reguliuojant įtampą tarp elektrodų.

Ypač svarbi yra dalelių elektrinė varža. Kai ji yra per maža, dalelės pasiekusios surinkimo elektrodus lengvai atiduoda krūvį ir gali būti vėl nunešamos dūmų srautu. Kai dalelių varža yra per didelė, ant surinkimo elektrodų susidaro izoliacinis sluoksnis, sustabdantis normalų karūninį išlydį ir mažinantis dalelių surinkimo efektyvumą.

Nuo dalelių dydžio priklauso jų nusodinimo greitis elektriniame lauke. Didesnių už 1 μm dalelių nusodinimo greitis yra atvirkščiai proporcingas jų dydžiui, mažesnių už 1 μm dalelių nusodinimo greitis nebeprislauso nuo jų dydžio. Be to, dėl didelio submikroninių dalelių kiekio prie surinkimo elektrodų labai išauga erdvinis elektrostatinis krūvis ir gali trumpinti karūninį išlydį, kuris yra būtinas normaliam filtro darbui.

Įtekancio į filtrą dūmų srautas turi būti tolygiai paskirstytas per visą skerspjūvį, kad nesudarytų greito pratekėjimo zonos. Todėl filtro efektyvumas priklausys ir nuo dūmų srauto išlyginimo įtekėjimo dūmtakyje.

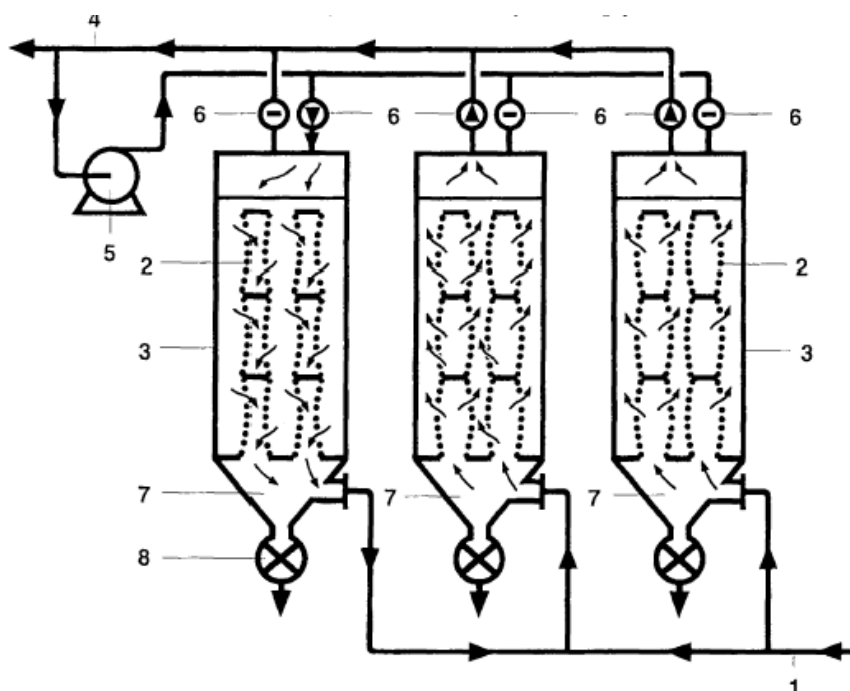
Elektrostatinio filtro efektyvumui labai svarbu yra tinkamais dulkių nupurtymas nuo elektrodų, kadangi šioje stadijoje daug dalelių gali būti vėl pribarstoma į dūmų srautą.

Šito išvengiama šlapiame elektrostatiniame filtre, kadangi dalelės yra nuolat drėkinamos, purškiant vandenį ar kitokį skystį ir nuplaunamos nuo surinkimo elektrodų. Tačiau šlapiame filtre susidaro nuotekos, kurias tenka valyti.

Rankoviniai filtrai yra taip pat labai efektyvi kietųjų dalelių valymo technologija. Jie dažniausiai naudojami pramonėje ir mažesniems deginimo įrenginiams. Pastaruoju metu jų kiekis auga ir elektrinėse ir šiuo metu sudaro apie 10% jose instaliuotų įrenginių pelenų sugaudymui.

Rankoviniame filtre dūmai yra prakošiami per specialios pluoštinės medžiagos rankoves, kurios sulaiko kietąsias daleles. Filtras veikia cikliška – po ilgos valymo fazės seka trumpas prapūtimas švariais dūmais iš kitos rankovių pusės. Rankovių vidinėje pusėje susikaupę pelenai subyra į apačioje esančius surinkimo bunkerius.

Rankoviniai filtrai medžiaga turi būti reguliariai valoma. Pagal filtrinės medžiagos valymo būdą filtrai skirstomi į atskirus tipus: valymo grįžtančiu srautu, mechaninio nupurtymo ir valymo su suspausto oro impulsu.



1.3 pav. Rankovinio filtro schema. 1 – įtekėjimo dūmtakis, 2 – filtro rankovės, 3 – gaubtas, 4 - išvalyti dūmai, 5 – prapūtimo ventiliatorius, 6 – vožtuvai, 7 – pelenų surinkimo bunkeriai, 8 – sukamieji vožtuvai

Filtruojanti medžiaga parenkama pagal gaudomų dalelių dydį, sudėtį bei dūmų temperatūrą. Dėl filtruojančios medžiagos susidėvėjimo valymo efektyvumas mažėja. Dar labiau pablogėja dalelių sugaudymas prakiurus vienai ar kelioms rankovėms. Todėl rankoviniams filtrams ypač svarbi yra patikima dalelių kiekio kontrolė išeinančiuose dūmuose.

Elektrinėse plačiausia naudojami rankoviniai filtrai su medžiagos valymu suspausto oro impulsais.

Šlapi skruberiai yra pigesni už elektrostacinius ir rankovinius filtrus, tačiau jiems reikalingos didesnės eksploatacinės išlaidos. Dūmai šlapiame skruberyje valomi purškiant į juos vandenį ar kitą skystį. Todėl dūmai yra atšaldomi ir juos reikia vėl pašildyti prieš išleidžiant į kaminą. Dėl šios priežasties šlapius skruberius dažniausiai įjungia į kombinuoto valymo sistemas, kur toks dūmų ataušinimas yra technologiškai reikalingas arba į dūmus purškiamas tirpalas gali sugerti ir dujinius teršalus. Drėkinant dūmus smulkios kietosios dalelės susigeria į didesnius lašelius, nesunkiai nusodinamus iš dūmų. Šlapių skruberių valymo efektyvumas bendru atveju yra mažesnis už rankovinių ir elektrostacinių filtrų. Smulkių dalelių sugaudymui gaunami dideli dūmų slėgio nuostoliai. Susidariusias nuotekas reikalinga valyti.

Elektrostacinių ir rankovinių filtrų bei šlapių skruberių eksploataciniai parametrai palyginti 1.2 lentelėje.

1.2 lentelė. Dūmų valymo nuo kietųjų dalelių įrenginių technologinių parametrų palyginimas

Technologija	Sugaudymo efektyvumas %				Kiti eksploataciniai parametrai		Pastabos dėl eksploatacijos
	< 1µm	2 µm	5 µm	>10µm	Parametrai	Reikšmė	
Elektrostatiniai filtrai	>96,5	>98,3	>99,95	>99,5	Darbinė temperatūra	120 – 220 °C (šaltiems filtrams) 300 – 450 °C (karštiems filtrams)	<ul style="list-style-type: none"> • Labai aukštas elektrostatinio filtro efektyvumas pasiekiamas gaudant net ir submikronines daleles. • Mažas slėgio kritimas filtre. • Maži eksploataciniai kaštai • Galima dirbti su bet koku priešslėgiu • Sudėtinga pakeisti pastatymo metu nustatytas eksploatacines sąlygas • Efektyvumas mažėja augant dalelių specifinei elektrinei varžai.
					Elektros energijos sąnaudos	0,3-1,8 % nuo gaminamos el.energijos	
					Slėgio nuostoliai	150 – 300 Pa	
					Valymo atliekos	Pelenai	
					Išeinančių dūmų debitas	> 200000 m ³ /h	
					Naudojimas	Visoms kuro rūšims	
Rinkos dalis	90 %						
Rankoviniai filtrai	>99,6	>99,6	>99,9	>99,95	Darbinė temperatūra	200 °C (polistirenas) 280 °C (stiklo pluošto)	<ul style="list-style-type: none"> • Filtracijos greitis paprastai yra 0,01 – 0,04 m/s ribose priklausomai nuo filtro tipo ir audinio. • Maišelių amžius mažėja didėjant sieros kiekiui ir filtracijos greičiui. • Per metus susidėvi apie 1 % maišelių. • Slėgio nuostoliai auga mažėjant dalelių dydžiui
					Energijos sąnaudos	0,4-0,7 kWh/1000 m ³	
					Slėgio nuostoliai	500 – 2000 Pa	
					Valymo atliekos	Pelenai	
					Išeinančių dūmų debitas	< 1100000 m ³ /h	
					Pritaikymas	Visoms kuro rūšims	
Rinkos dalis	10 %						
Šlapi skruberiai	98,5	99,5	99,9	>99,9	Energijos sąnaudos	5-15 kWh/1000 m ³	<ul style="list-style-type: none"> • Šlapiuose skruberiuose gali būti absorbuojami dujose esantys sunkieji metalai. • Reikalinga valyti nuotekas
					Skysčio ir dujų santykis	0,8 – 2,0 l/m ³	
					Slėgio nuostoliai	3000 – 20000 Pa	
					Valymo atliekos	Skystas šlammas	

2. Dūmų nusierinimas

Deginant kurą organinį kurą, jame esanti sieros oksiduojasi, sudarydama SO₂ ir SO₃. 99-97% sieros oksidų išsiskiria SO₂ pavidale, SO₃ sudaro 1-3 %. Kure esantys V, Ni metalai turi katalitinių savybių, spartinančių SO₃ susidarymą, todėl didėjant šių metalų kiekiui kure, didėja SO₃ kiekis. Sieros trioksidas yra adsorbuojamas kietųjų dalelių ir didina jų rūgštingumą, sieros dioksidas ore ir dirvožemyje reaguoja su vandeniu, sudarydamas sieros rūgštį.

Lietuvoje gaminamo mazuto sieringumas ribojamas 2,5%, Rusijos standartas leidžia iki 3,5%. Orimulsijos sieringumas – iki 3%. Deginant šį kurą be valymo įrenginių, sieros dioksido koncentracija dūmuose siektų atitinkamai 4300 mg/Nm³, 6000 mg/Nm³ ir 7200 mg/Nm³, prie 3% O₂.

2.1. Aplinkosauginiai reikalavimai dūmų išvalymui nuo sieros oksidų.

Išmetamų sieros oksidų koncentraciją didelių kurą deginančių įrenginių dūmuose Lietuvoje reglamentuoja „Išmetamų teršalų iš didelių kurą deginančių įrenginių normos“, patvirtintos LR aplinkos ministro 2003 m. gruodžio 24 d. įsakymu Nr. 712 bei “Kuro ir degalų kokybės aplinkosauginiai rodikliai”, patvirtinti aplinkos ministro, ūkio ministro ir susisiekimo ministro 2001 m. rugpjūčio 31 d. įsakymu Nr. 438/268/266. Šiuose normatyviniuose dokumentuose perkeltos pagrindinės Europos Sąjungos direktyvų 88/609/EEC ir 2001/80/EC ir sieros kiekio ribojimo tam tikrų rūšių skystajame kure 1999/32/EC nuostatos.

Pagal Lietuvos ir ES normatyvinius dokumentus, nuo 2004 metų gegužės 1 dienos įsigalioja draudimas deginti skystą kurą, kuriame sieros kiekis viršija 1 procentą, nebent SO₂ koncentracija dūmuose siektų mažiau nei 1700 mg/Nm³. Nuo 2008 m. sausio 1 d. sieros oksidų koncentracija virš 500 MW šiluminės galios įmonėms bus sumažinta iki 400 mg/Nm³. Iki 2008 m. sieros oksidų koncentraciją dūmuose bus leidžiama sumažinti deginant vienu metu sieringą ir mažai sieringą kurą tokia proporcija, kad nebūtų viršijama SO₂ ribinė vertė. Nuo 2008 m. sausio 1 d. SO₂ koncentracija bus perskaičiuojama kiekvienai kuro rūšiai atskirai, todėl reikalavimus SO₂ taršos sumažinimui bus galima įvykdyti tik deginant mažai sieringą kurą arba valant dūmus nuo sieros oksidų. Lietuvos ir ES normos SO₂ koncentracijai katilų išmetamuose dūmuose palygintos 2.1 lentelėje

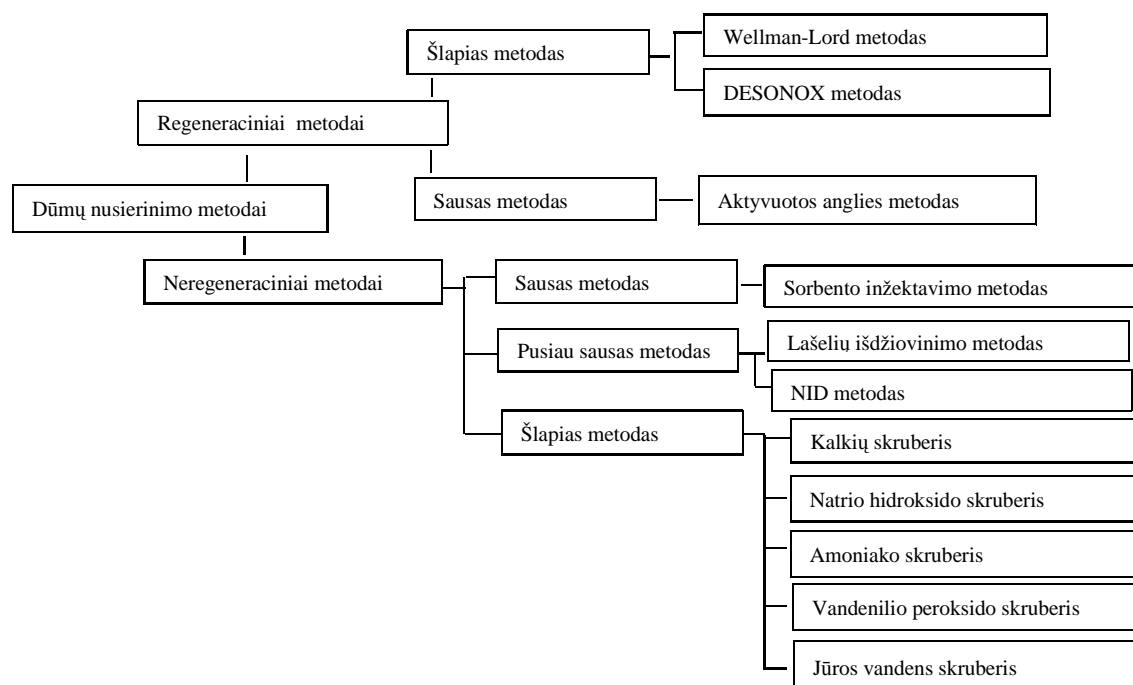
2.1 lentelė. Didžiausios leidžiamos SO₂ koncentracijos katilų dūmuose prie 3% O₂, mg/Nm³

	Iki 2008m. sausio 1 d.		Po 2008 m. sausio 1 d.	
	Lietuvos normos	2001/80/EC	Lietuvos normos	2001/80/EC
	Esami katilai (leidimas statyti išduotas iki 1998.07.01)			
Dujinis kuras	nenormuojama	35	35	35
Skystas kuras	1 700	1700	1700	1700
50-300 MW		1700-400	1700-400	1700-400
300-500MW		400	400	400
>500 MW				
	Nauji katilai (leidimas statyti išduotas po 1998.07.01)			
Dujinis kuras	35	35	35	35

Skystas kuras 50-300 MW 300-500MW >500 MW	1700	1700 1700-400 400	1700 1700-400 400	1700 1700-400 400
Nauji nauji katilai (leidimas statyti išduotas po 2002.11.27)				
Dujinis kuras	35	35	35	35
Skystas kuras 50-100 MW 100-300MW >500 MW	850 400-200 200	850 400-200 200	850 400-200 200	850 400-200 200

2.2. Geriausiai tinkamos technologijos dūmų išvalymui nuo sieros oksidų

Taršos integruotos prevencijos ir kontrolės dokumentuose dėl didelių deginimo įrenginių nusierinimo metodai klasifikuojami tokiu būdu :



2.1 pav. Dūmų nusierinimo metodų klasifikacija

Regeneraciniai nusierinimo metodai. Valant dūmus šiais metodais, pirmoje valymo stadijoje sorbentas absorbuoja SO_2 , antroje yra regeneruojamas ir gražinamas valymui. Gautas antrinis produktas panaudojamas sieros arba sieros rūgšties gamybai.

Willman-Lord regeneraciniame procese SO_2 absorbavimui naudojamas Na arba K sulfitas. Iš susidariusių bisulfito NaHSO_3 arba KHSO_3 yra pagaminama sieros rūgštis, o regeneruotas sorbentas gražinamas į pirmąją valymo stadiją.

Mg procese sieros oksidus absorbuoja magnio hidroksidas arba kt. magnio junginiai. Gautas magnio sulfitas separuojamas, džiovinamas, ir kalcinuojamas, kad atskirti surinktą SO_2 ir regeneruoti sorbentą. Iš SO_2 gaminama siera arba sieros rūgštis.

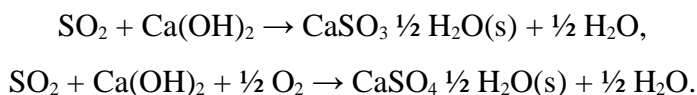
Kombinuoto SO₂/NO_x valymo technologija dar yra vystymo stadijoje. Pasaulyje yra nedaug komercinių valymo įrenginių. Juose naudojamas aktyvuotos anglies procesas ir katalitinės SNOX arba DESONOX sistemos.

Sauso regeneracinio valymo Reinfult procese absorbcijai naudojama aktyvuota anglis. Dūmai praleidžiami pro įkaitintą anglies sluoksnį gilaus vakuumo sąlygomis. Sieros dioksidas anglies sluoksnyje oksiduojasi iki SO₃ ir, reaguodamas su vandeniu, sudaro sieros rūgštį. Regeneracijos sekcijoje aktyvuota anglis ataušinama, iš jos išsiskybę sieros junginiai nukreipiami sieros rūgšties gamybai, o anglis gražinama valymui.

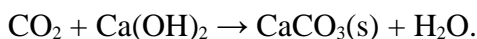
Idealiu atveju regeneracinėje valymo technologijoje turėtų užtekti pradinio sorbento kiekio ir nelikti atliekų, tačiau praktiškai gaunami šalutiniai produktai, kuriuos reikia tvarkyti, o sorbento kiekį tenka nuolat papildyti. Regeneracinio tipo valymo įrenginiai sugaudo virš 90% sieros oksidų, tačiau jie yra labai brangūs ir naudoja daug elektros energijos. Todėl didesnėse elektrinėse retai naudojami. Sorbentą regeneruojantys dūmų valymo įrenginiai užima apie 3% nusierinimo įrenginių rinkos.

Neregeneraciniai metodai Dideliuose deginimo įrenginiuose daugiausiai naudojami neregeneraciniai valymo metodai. Skysto kuro dūmams valyti taikomas pusiau sausas arba šlapias valymas. Sauso sorbento inžektavimo metodas daugiausiai naudojamas kieto kuro katilams.

Pusiau sausas valymas. Valant dūmus pusiau sausu metodu, reakcija tarp SO₂ ir sorbento vyksta džiūvant lašeliams. Kontakto laikas tarp lašelių ir dūmų yra trumpas, todėl reikalingas aktyvus sorbentas - kalkės. Kalkių dalelės labai efektyviai absorbuoja SO₂, sudarydamos pusvandenį kalcio sulfitą ir sulfatą:



Be to, dalis kalkių reaguoja su dūmuose esančiu anglies dioksidu:

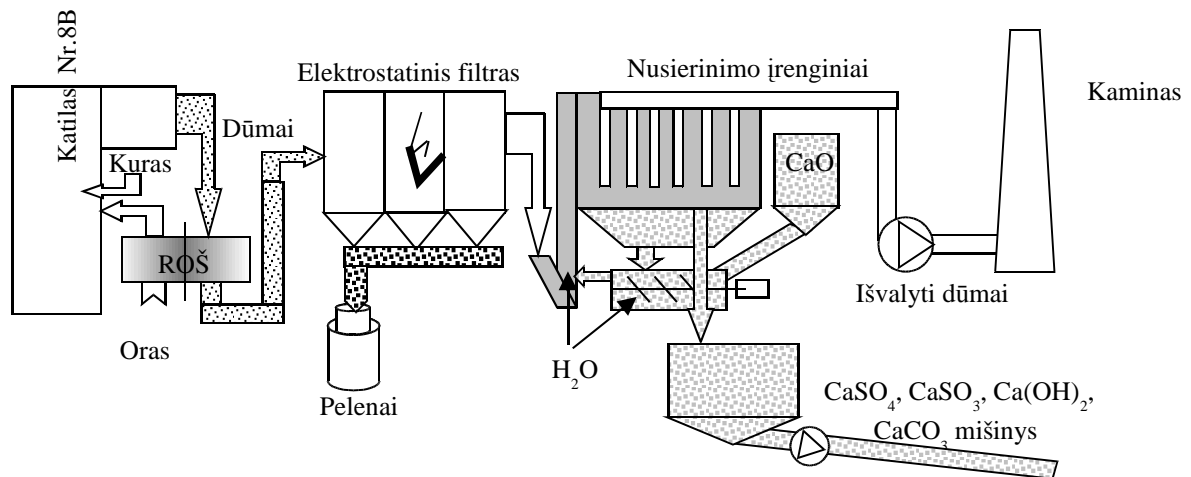


Lašeliams išdžiūvus, gaunamas sausos dalelės, sudarytos iš kalcio sulfito/sulfato mišinio, nesureagavusių kalkių ir pelenų. Kai prieš nusierinimo įrenginį naudojamas elektrostatinis arba rankovinis filtras, gaunamos švarios kalcio sulfito/sulfato atliekos.

Nesureagavusių kalkių ir pasigaminusio antrinio produkto dalelės sugaudoamos elektrostatiu arba rankoviniu filtru. Didžioji dalis filtre surinktų produktų kiekio gražinama atgal į nusierinimo reaktorių. Antrinių produktų perteklius tiekiamas į atliekų surinkimo bunkerį.

Šiuo principu pagrįstas ir *NID nusierinimo įrenginių* veikimas, kurie statomi AB "Lietuvos elektrinė" katilui Nr. 8B. Juose gesintų kalkių dalelės iš maišyklės bus įpurškiamos į reaktoriaus kanalą, įrengtą prieš rankovinį filtrą (2.2 pav.). Siekiant padidinti SO₂ absorbcijos efektyvumą, į dūmus bus įpurškiama ir vandens, kad dūmų temperatūra būtų 65-75°C, drėgmė sudarytų 40-50 %. Tokiomis sąlygomis kalkių dalelės labai efektyviai absorbuoja SO₂. Nesureagavusių kalkių ir pasigaminusio

antrinio produkto dalelės kaupsis ant rankovinio filtro ir periodiškai bus nukratomos į filtro apačioje esantį surinkimo bunkerį, iš kur bus gražinama atgal į nusierinimo. Susidaręs nusierinimo produktų perteklius bus surenkamas į atskirą bunkerį



2.2 pav. NID dūmų valymo technologinė schema

Pusiausauso valymo įrenginiai yra pigesni už šlapius skruberius, bet juose naudojamas brangesnis sorbentas – kalkės. Didelis pusiausauso valymo metodo privalumas yra tai, kad visas kalkių piene esantis vanduo išgarinamas ir nebereikia jo valyti.

Pagrindiniai šio metodo trūkumai yra mažesnis išvalymo efektyvumas ir liekančios nusierinimo atliekos, kurios neturi komercinės vertės. Prieš valymo įrengimus pastačius elektrostatinį filtrą, galima gauti švarų antrinį produktą, iš kurio su atskira technologija vėliau galima pagaminti gipsą.

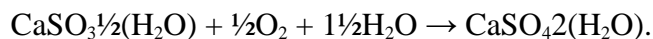
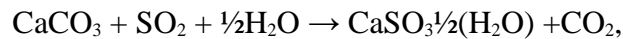
Šlapias valymas. Plačiausiai dūmų nusierinimui dideliuose deginimo įrenginiuose naudojamas šlapias metodas. Valant dūmus šiuo metodu galima panaudoti įvairias absorbuojančias medžiagas. Jeigu elektrinė yra šalia jūros, galima panaudoti jūros vandens savybę absorbuoti ir neutralizuoti SO₂. SO₂ ištirpdomas praplaunant skruberyje su dideliu kiekiu jūros vandens ir oksiduojamas iki sulfato SO₄²⁻. Panaudotas vanduo neutralizuojamas ir išleidžiamas atgal į jūrą. Nežiūrint absorbento pigumo, toks metodas naudojamas retai dėl didelės gamtos sauginės rizikos.

SO₂ galima absorbuoti ir su skystu amoniaku. Gaunama amonio salietra, kuri panaudojama kaip trąšos žemės ūkyje. Industrinėse valstybėse yra perteklius švamos amonio salietros ir taikomi griežti reikalavimai trąšų kokybei. Todėl sudėtinga realizuoti dūmų nusierinimo būdu pagamintą amonio salietra. Šis metodas buvo pritaikytas keliose elektrinėse Kinijoje bendram galimumui apie 200 MW_e.

Dėl panašių priežasčių – reagentų didelės kainos ir sunkumų, kylančių realizuojant pagamintą antrinį produktą, retai naudojami ir natrio hidroksido bei vandenilio peroksido skruberiai.

Geriausiai įsisavintas ir laikoma standartiniu SO₂ valymo būdu yra šlapias metodas, naudojantis klintis kaip SO₂ absorbuojančią medžiagą.

Šlapias CaCO₃-gipso metodas. Tokia technologija naudojama apie 80% pasaulyje esančių nusierinimo įrengimų. Valant šiuo būdu, iš dūmų išgaudomos kietosios dalelės ir po to dūmai ataušinami regeneraciniame šilumokaityje ir praleidžiami per šlapią skruberį ir oksidacijos įrenginį, kuriuose nuosekliai vykdomos absorbcijos ir oksidacijos reakcijos:



Žinomos įvairios skruberių konstrukcijos:

- skruberio bokštas, kuriame sukuriama didelis lašelių ir dūmų sąlyčio plotas, išpurškiant valymo skiedinį bokšto viršuje;
- plokščios konstrukcijos skruberis, kuriame dūmai praburbuliuojami per skiediniu užpildytus indus;
- perforuotų plokščių skruberis, kuriame skiedinio plėvelė apiplauna perforuotas plokštes, o per jų skylės praleidžiami dūmai. Plėvelė sudraskoma į burbulus, tuo sudarant reikalingą dūmų ir valymo reagento sąlyčio plotą;
- užpildytas skruberis, kuriame dūmai teka per užpildą iš apačios į viršų, o viršuje ant užpildo pilamas skiedinys;
- judančio užpildo sluoksnio skruberis, besiskiriantis nuo paprasto užpildyto skruberio tuo, kad jame dūmai judina užpildančią medžiagą, nuvalydami jos paviršių bei pagerindami masės mainus.

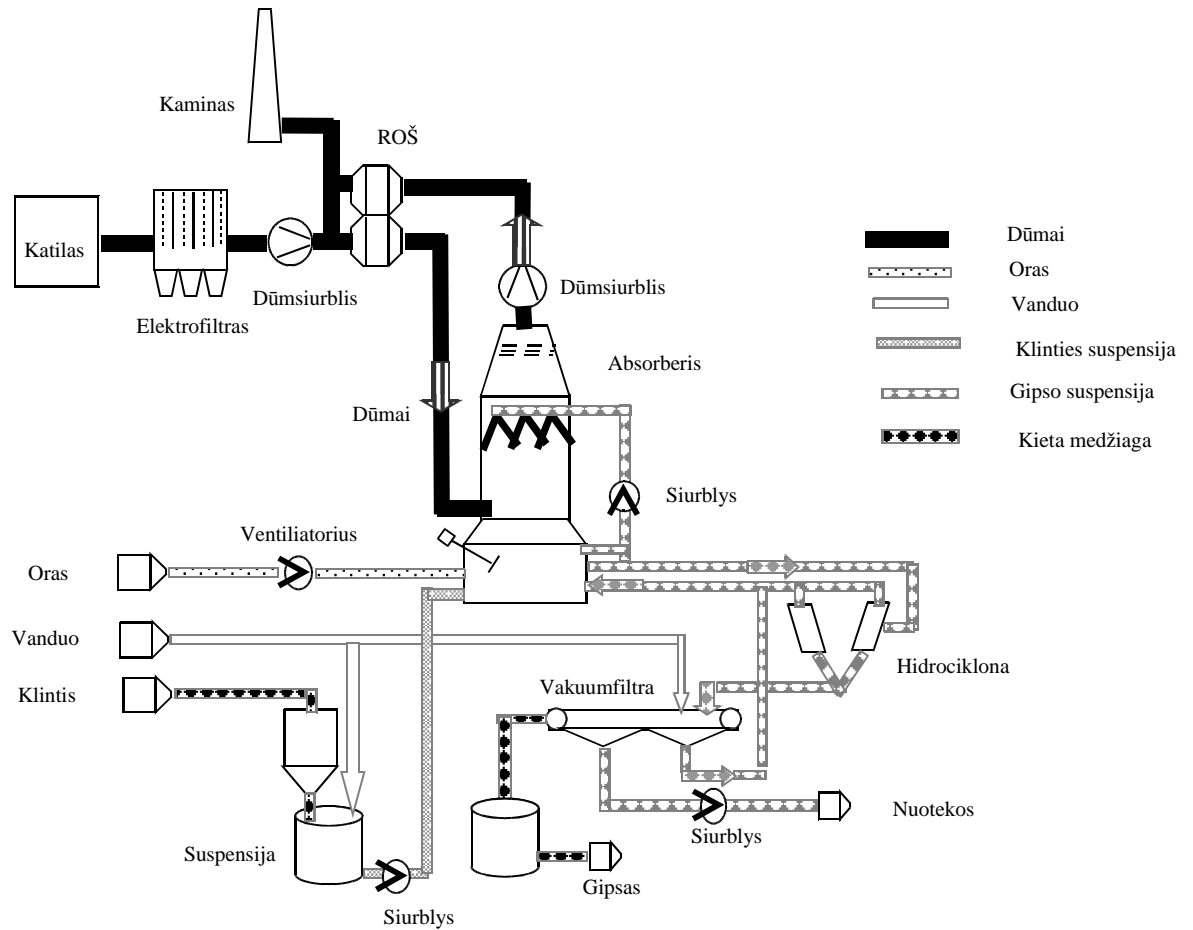
Paprasčiausios konstrukcijos šlapiame kalkių/klinties/gipso skruberyje visos cheminės reakcijos vykdomos viename absorberyje, todėl toks skruberis užima mažiau vietos, yra pigesnis ir naudoja mažiau energijos (2.3 pav.). Absorberio bokšto apačioje susikaupusios nuosėdos yra aeruojamos, kad visas kalcio sulfatas pabaigtų oksiduotis iki sulfato ir vandens terpėje susiformuotų gipso kristalai CaSO₄·2H₂O. Vanduo atskiriamas hidrociklonais ir vakuumfiltru, o likęs gipsas supilamas į talpas. Šlapio valymo įrenginiuose sugaudoama virš 95% sieros ir gaunamas gipsas iki 95% grynumo.

Nusierinimo technologijoje, priklausomai nuo kristalizacijos režimo, gaunamos apvalios (A gipsas) arba adatinės (B gipsas) formos gipso dalelės. A gipso dalelių dydis 40-60 μm, tankis – 1.2 t/m³, B gipso – dalelės < 30 μm, tankis – 0.5 t/m³. Vandens ciklonais ir vakuumfiltrais atskyrus vandenį, gipso drėgnumas sudaro apie 10%.

Jeigu dūmai prieš nusierinimo įrenginius praeina per elektrostatinį ar rankovinį filtrą, gaunamas aukštos kokybės komercinis gipsas, savo savybėmis nesiskiriantis nuo natūralaus: CaSO₄·2H₂O >95%, MgO < 0,1%, chloridų < 0,01%, Na₂O < 0,06%, surišto SO₂ < 0,25%, pH – 5 ÷ 9, baltumas >80%, bekvapis ir netoksiškas.

Šiuolaikiniuose nusierinimo įrenginiuose SO_2 reakcijos su CaCO_3 arba CaO vyksta artimu stochiometriniam santykiui, o pagamintame produkte gipso dalis sudaro ne mažiau 95%.

Nusierinimo įrenginių eksploatacinės savybės palygintos 2.2 lentelėje.



2.3 pav. Šlapio CaCO_3 -gipso dūmų valymo technologinė schema

2.2 lentelė. Dūmų nusierinimo įrenginių eksploataciniai parametrai.

Technologija	SO ₂ sumažinimas	Kiti eksploataciniai parametrai		Pastabos
		Parametras	Reikšmė	
Šlapias klinties arba kalkių skruberis	90 – 95 %	Darbinė temperatūra	50 – 80 °C	<ul style="list-style-type: none"> • Šlapi skruberiai sudaro apie 80 % visų dūmų nusierinimo įrenginių. Apie 72 % šlapių skruberių naudoja klintį, 16 % naudoja kalkes ir 12 % kitus reagentus. • SO₂ išvalimo geresnis, kai klintyje daugiau kalcio carbonato ir mažiau Al, F ir Cl. • Energijos nuostoliai išleidžiamų dūmų pašildymui yra didesni už pusiau sauso nusierinimo įrenginių. • Kai dūmų pašildymui naudojant ROŠ, apie 3 – 5 % nenusierintų dūmų patenka į kaminą per jo nesandarumus. • Susidaro nuotekos, kurias reikia valyti. • Suvartojama daug vandens • Dėl didelio energijos sunaudojimo dūmų nusierinimui sumažėja bendras jėgainės efektyvumas.
		Sorbentas	Klintis, kalkės	
		Elektros energijos sunaudojimas	1-3%	
		Slėgio nuostoliai	2000 – 3000 Pa	
		Ca/S molių santykis	1,1 – 1,6	
		Patikimumas	95 – 99 % eksploatacijos laiko	
		Šalutinis produktas	Gipsas	
		Gipso grynumas	90 – 99 %	
		Pašalinamo SO ₃ kiekis	< 50 %	
		Pašalinamo HCl kiekis	98 – 99 %	
		Pašalinamo HF kiekis	98 – 99 % absorberyje	
		Dalelės	> 50 % priklausomai nuo dalelių dydžio	

Pusiai sausas skruberis	80 – 92 %	Darbinė temperatūra	Įeinančių dūmų: 120 – 160 °C Išeinančių: 65 – 80 °C	<ul style="list-style-type: none"> • SO₃ yra pašalinamas efektyviau negu šlapiame skruberyje. • Mažesnės el.energijos sąnaudos • Didžiausias trūkumas – brangus reagentas. • Efektyvumas sumažėja, esant kure daugiau nei 3 % sieros. • Valymo efektyvumas priklauso kietųjų dalelių filtro po nusierinimo įrenginių, kadangi nusierinimo reakcijos gali vykti ir filtre nusodintų dalelių sluoksnyje.
		Sorbentas	Kalkės	
		Ca/S molių santykis	1,1 – 2,0	
		Max. išeinančių dūmų debitas per absorberį	500000 m ³	
		SO ₃ ir HCl išvalymas	95 %	
		Panaudoto sorbento recirkuliacija	10 – 15	
		Patikimumas	97 – 99 %	
		Šalutinis produktas	Pelenų, reagentų ir CaSO ₃ mišinys	
		Elektros energijos sunaudojimas	0,5-3%	
		Vandens sunaudojimas	20 – 40 l/1000 m ³ dūmų	
		Slėgio nuostoliai	100 Pa	
		Patikimumas	99,9 %	
		Šalutinis produktas	Ca druskos mišinys	
Wellman-Lord procesas	95 – 98 %	Dūmų temperatūra absorberyje	55 – 90 °C	<ul style="list-style-type: none"> • Wellmann-Lord procesas dabar Europoje niekur nenaudojamas. • Reikalingi dideli kapitaliniai įdėjimai, daug ir aukštos kvalifikacijos personalo, didelės energijos sąnaudos.
		Max S kiekis kure	3,5 %	
		Max dūmų debitas	600000 m ³ /h	
		Elektros energijos sąnaudos	3 – 5,8 %	
		Vandens sunaudojimas	70 – 200 m ³ /h	
		Patikimumas	> 95 %	
Magnio oksido procesas	Nėra duomenų	Elektros energijos sąnaudos	Nėra duomenų	<ul style="list-style-type: none"> • Šį metodą naudoja trys anglų deginančios elektrinės JAV. Naujų daugiau nestatoma.
		Šalutinis produktas	Siera, sieros rūgštis	
		Patikimumas	Nėra duomenų	

3. Azotų oksidų sumažinimas

Deginant organinį kurą, azoto oksidai susidaro oksiduojantis kure esančiame su angliavandeniliais surištam azotui $C_xH_yN_z$ ir degimui tiekiamame ore esančiam molekuliniam azotui N_2 . Molekulinio azoto suskaldymui ir oksidavimui reikalinga aukšta virš 1300 °C temperatūra, todėl deginant gamtines dujas, kuriose nėra surišto azoto, azoto oksidų susidaro mažiau. Deginant skystą kurą, prie angliavandenilių prijungtas azotas lengviau atskyla ir oksiduojasi, todėl susidaro didesnis azoto oksidų kiekis. Mazute M100 ir orimulsijoje surišto azoto būna vienodai apie 0,5%, tačiau perskaičiavus kuro azoto kiekį pagal kuro šiluminę vertę, orimulsijoje azoto kiekis bus trečdaliu didesnis negu mazute M100.

Virš 90% azoto oksidų išsiskiria monoksido formoje NO, likusi dalis randama NO₂ ir N₂O pavidalu. Atmosferoje visų formų azoto oksidai transformuojasi į NO₂, todėl poveikio aplinkai įvertinimui naudojamas jų bendras kiekis NO_x. Dėl aplinką rūgštinančio poveikio ir smogų sudarymo ribojamas išmetamų NO_x kiekis.

3.1. Aplinkosauginiai reikalavimai NO_x kiekio sumažinimui

Deginant dujinį kurą esamuose katiluose, NO_x ribinė vertė yra 350 mg/Nm³, deginant skystą – 450 mg/Nm³. Tokios azoto oksidų ribinės vertės yra nustatytos tiek pagal Lietuvos Respublikos Aplinkos ministro 2003 m. gruodžio 24 d. įsakymu Nr. 712 patvirtintas “Išmetamų teršalų iš didelių kurą deginančių įrenginių normos, tiek ir pagal ES direktyvą 2001/80/EC. Pagal ES direktyvą 2001/80/EC numatoma dujinį kurą deginantiems katilams virš 500 MW šiluminės galios nuo 2008 m. sausio 1 d. sumažinti NO_x ribines vertes iki 200 mg/Nm³, analogiškos galios katilams deginantiems skystą kurą bus leidžiama ne didesnė kaip 400 mg/Nm³ NO_x ribinė vertė.

Lietuvoje nustatytos NO_x normos katilų išmetamuose dūmuose ir 2001/80/EC direktyvos reikalavimai palyginti 2.7 lentelėje

3.1 lentelė. Didžiausios leidžiamos NO_x koncentracijos katilų dūmuose prie 3% O₂, mg/Nm³

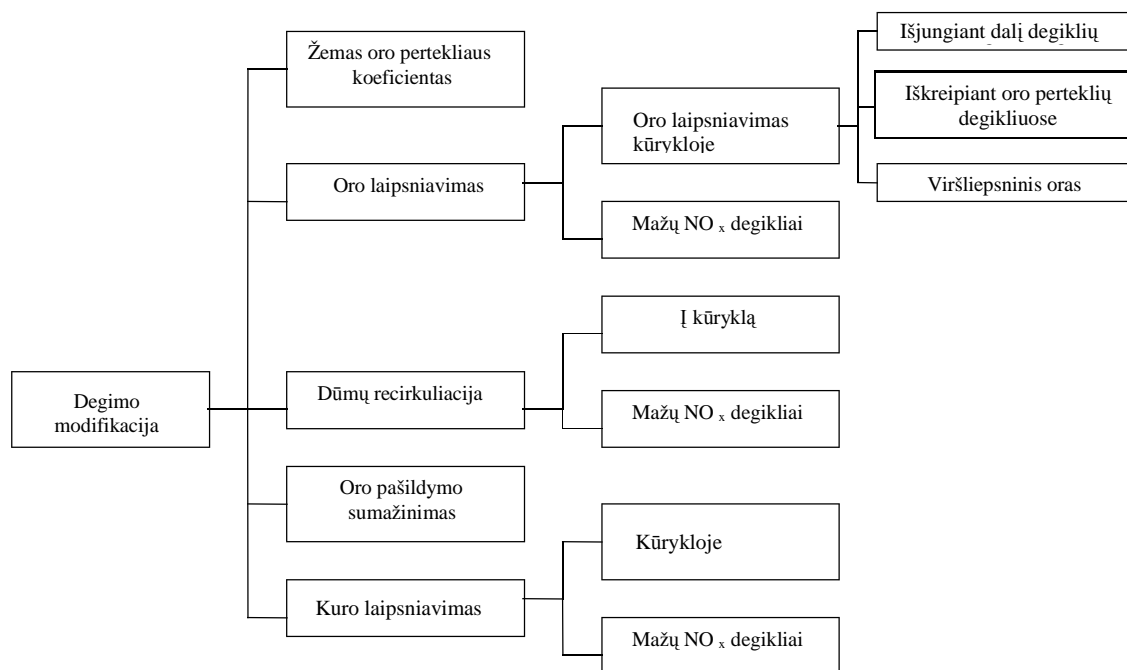
	Iki 2008m. sausio 1 d.		Po 2008 m. sausio 1 d.	
	Lietuvos normos	2001/80/EC	Lietuvos normos	2001/80/EC
Esami katilai (leidimas statyti išduotas iki 1998.07.01)				
Dujinis kuras 50-500 MW >500 MW	350	300 200	300 200	300 200
Skystas kuras 50-500 MW >500 MW	450	450	450 400	450 400
Nauji katilai (leidimas statyti išduotas po 1998.07.01)				
Dujinis kuras 50-500 MW >500 MW	300 200	300 200	300 200	300 200

Skystas kuras 50-500 MW >500 MW	450 400	450 400	450 400	450 400
Nauji nauji katilai (leidimas statyti išduotas po 2002.11.27)				
Dujinis kuras 50-300MW >300 MW	150 100	150 100	150 100	150 100
Skystas kuras 50-100 MW 100-300MW >500 MW	400 200 200	400 200 200	400 200 200	400 200 200

3.2. Geriausiai tinkamos technologijos dūmų išvalymui nuo azoto oksidų

Azoto oksidų kiekį dūmuose galima sumažinti taikant pirmines priemones, kuriomis ribojamas NO_x susidarymas degimo procese, arba antrines priemones, kuriomis iš dūmų pašalinami jau susidarę NO_x .

Pirminės priemonės. Pigiausios ir plačiausiai naudojamos yra pirminės priemonės (3.1 pav.)



3.1 pav. Pirminės azoto oksidų mažinimo priemonės

Žemas oro pertekliaus koeficientas. Oro pertekliaus koeficiento sumažinimas yra lengvai įgyvendinama priemonė azoto oksidams sumažinti. Sumažinti deguonies kiekį degimo zonoje galima iki minimalios, reikalingo pilnam degimo procesui įvykti, reikšmės. Nevyksta kure esančių azotų oksidavimasis ir sumažinami terminio NO_x formavimosi mastai.

Oro laipsniavimas. NO_x susidarymas sumažinimas sudarant dvi degimo zonas. Pirmoje degimo

zonoje yra deguonies trūkumas, o antroje degimo zonoje užbaigiamas kuro sudeginimas. Oro laipsniavimui naudojama:

- Dalies degiklių atjungimas. Apatiniai degikliai dirba riebiu mišiniu, o viršutiniai degikliai tik su oru.
- Oro pertekliaus iškreipimas. Apatiniai degikliai dirba riebiu mišiniu, o viršutiniai degikliai su oro pertekliumi.
- Viršliepsninis oras. Įrengiamos papildomos oro padavimo angos aukščiau viršutinės degiklių eilės. Paprastai 15 – 30 % nuo viso degimui reikalingo oro galima tiekti per viršliepsninio oro angas.

Taikant oro laipsniavimą kūrykloje nereikalingos papildomos energijos sąnaudos katilinėje. Pagrindiniai oro laipsniavimo trūkumai: gali padidėti CO kiekis dėl neteisingo oro angų išdėstymo bei išaugti nesudegusios anglies kiekis dėl sumažėjusio atstumo tarp degimo zonos pabaigos ir pirmojo šilumokaičio.

Dūmų recirkuliacija. Recirkuliuojant dūmus į kūryklą, degimo zonoje sumažėja deguonies kiekis ir taip pat yra atšaldomas fakelas, o tokiu būdu surišami kure azotai ir sustabdomas terminių NO_x susidarymas. Dalis dūmų (20 – 30 % apie 350 - 400 °C temperatūros) yra paimama iš dūmų srauto ir recirkuliuojama į katilą. Recirkuliuojami dūmai gali būti maišomi su į degiklius tiekiamu oru arba tiekiami atskirai. Specialios paskirties degikliai yra suprojektuoti darbui su recirkuliuojančiais dūmais. Per didelis recirkuliuojamų dūmų kiekis gali iššaukti ir nepalankias sąlygas: korozijos problemas, deginant itin siningą kurą, efektyvumo sumažėjimą padidėjus dūmų temperatūrai, bei padidėjus energijos sunaudojimui ventiliatoriuose. Dėl šių priežasčių ribojamas iki 30 % recirkuliuojamų dūmų kiekis

Oro pašildymo sumažinimas. Degimui reikalingo oro pašildymo temperatūra turi labai svarbią įtaką NO_x formavimuisi, nes didėjant oro pašildymo temperatūrai, didėja ir temperatūros maksimumas pirminėje degimo zonoje. Dėl šios priežasties formuojasi dideli terminių NO_x kiekiai. Pagrindiniai šios technologijos trūkumas, kad sumažinus pašildomo oro temperatūrą, išauga kuro suvartojimas.

Kuro laipsniavimas. NO_x sumažinimas gaunamas pakopomis paduodant kurą ir orą. Pirmoje degimo zonoje nuo 80 iki 90 % kuro yra deginama esant sumažintam oro kiekiui. Antroje degimo zonoje paduodamas papildomas kuras su taip pat sumažintu oro kiekiu. Susidarę angliavandenilių radikalai reaguoja su azoto oksidais susiformavusiais pirminėje zonoje. Degimo procesas užbaigiamas, paduodant papildomai oro į galutinio išdeginimo zoną.

Antrinio išdeginimo naudingumas priklauso nuo keleto parametrų:

- Temperatūros: siekiant sumažinti NO_x kiekius, antrinio išdeginimo zonos temperatūra turi būti kaip įmanoma didesnė.

- Buvimo laiko: didėjant azoto oksidų būvimo laikui antrinio išdeginimo zonoje, NO_x mažėja. Ši reikšmė turi būti tarp 0,4 ir 1,5 sek.
- Oro pertekliaus antrinio išdeginimo zonoje.
- Kuro tipo.
- Degiojo mišinio tarp papildomo kuro ir pirminės degimo zonos generuojamų dūmų.

Iš principo, antrinio išdeginimo technologija gali būti realizuota daugelio katilų degimo procesuose su mažų NO_x degikliais.

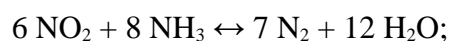
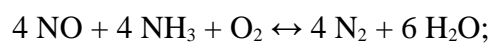
Mažų NO_x degikliai. Mažų NO_x degikliais pasiekiami geri eksploataciniai rodikliai, sumažinamas deguonies kiekis, maksimali temperatūra, sulėtinamas kuro azotų transformavimasis į NO_x ir terminius NO_x formavimas, palaikomas geras sudegimas.

Mažų-NO_x degikliai pagal panaudotus NO_x sumažinimo būdus yra skirstomi į tris pagrindines grupes: su oro laipsniavimu, su dūmų recirkuliacija ir su kuro laipsniavimu. Mažų NO_x degikliuose gali būti naudojami ir du arba visi trys aukščiau paminėti NO_x sumažinimo būdai

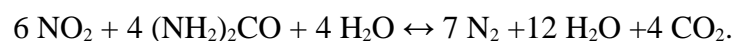
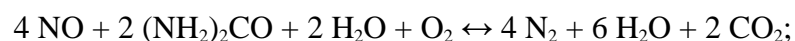
Antrinės priemonės. Antrinės priemonės naudojamos jau susiformavusių NO_x pašalinimui iš dūmų. Šias priemones galima įgyvendinti nepriklausomai nuo panaudotų pirminio NO_x sumažinimo technologijų. Antriniam NO_x kiekis sumažinamui į dūmus įpurškiama amoniako, karbamido ar kito komponento, kuris gali reaguoti su azoto oksidais ir redukuoti juos iki molekulinio azoto. Dažniausiai yra naudojama:

- Selektvinė katalitinė redukcija (SCR).
- Selektvinė nekatalitinė redukcija (SNCR).

SCR yra katalitinis procesas pagrįstas selektyvine azoto oksidų dezoksidacija su amoniaku ar karbamidais dalyvaujant katalizatoriui. NO_x virsmas vyksta ant katalizatoriaus paviršiaus esant 300 – 450 °C temperatūrai, vykstant reakcijoms su amoniaku:



arba su karbamidais:



SNCR procese nenaudojamas katalizatorius. Reakcijos vyksta, esant 850 – 1100 °C temperatūrai. Šios temperatūrinės ribos labai priklauso nuo naudojamo reagento (amoniako, karbamidų).

3.2 lentelėje pateikiama pagrindinės NO_x sumažinimo metodų charakteristikos.

3.2 lentelė. Pagrindinės NO_x sumažinimo metodų charakteristikos

Metodas		sumažėjimo reikšmė	Kuro rūšis	Įvykymo apribojimas	Pastabos
Mažas oro perteklius		10 – 44 %	Visas kuras	Nepilnas išdegimas	<ul style="list-style-type: none"> • NO_x sumažėjimas smarkiai priklauso nuo prieš tai buvusio jų lygio. • Reikalingas geras kūryklos užsandarinimas.
Oro laipsniavimas	Dalies degiklių atjungimas	maksimalus sumažėjimas deginant mazutą 45 %, dujas 65 %.	Visas kuras	Nepilnas išdegimas	<ul style="list-style-type: none"> • Iškyla problemos užtikrinant našumą, kadangi tiek pat šiluminės energijos reikia gauti dirbant su mažesniu degiklių skaičiumi. • Įrengiant senuose katiluose viršliepsninį orą kūrykloje esančius vamzdžius reikia išlenkti, arba galima panaudoti jau esamas senų degiklių ertmes, viršliepsninio oro tiekimui.
	Oro pertekliaus iškreipimas degikliuose		Visas kuras		
	Viršliepsninis oras				
Dūmų recirkuliacija		20 – 50 %	Visas kuras	Liepsnos nestabilumas	<ul style="list-style-type: none"> • Šis NO_x sumažinimo būdas gali būti naudojamas kartu su oro laipsniavimu. • Dūmų recirkuliacijos rezultatas papildomas energijos suvartojimas naudojant ventiliatorius.
Oro pašildymo sumažinimas		20 – 30 %	Visas kuras		<ul style="list-style-type: none"> • NO_x sumažėjimas daugiausiai priklausomai nuo buvusio oro pašildymo lygio ir nuo temperatūros kuri yra pasiekama po šio būdo įgyvendinimo.
Kuro laipsniavimas		50 – 60 %	Visas kuras		<ul style="list-style-type: none"> • Antrinio išdegimo metodo pranašumas tame, kad suderinamas su kitais pirminio NO_x sumažinimo metodais, paprastai instaliuojamas, naudojami standartinis kuras kaip redukavimo agentas ir reikalingas labai mažas papildomos energijos kiekis. • Naudojant gamtines dujas kaip antrinio išdegimo agentą, taip pat yra sumažinami ir kitų kenksmingų medžiagų

Mažų NO_x degikliai	Su oro laipsniavimu	25 -35 %	Visas kuras	Liepsnos nestabilumas Nepilnas išdeginimas	<ul style="list-style-type: none"> Šie degikliai gali būti naudojami kartu su kitais pirminio azoto oksidų išdeginimo būdais (viršliepsniniu oru, antriniu išdeginimu, dūmų recirkuliacija). Mažų NO_x degiklius naudojant kartu su viršliepsniniu oru galima pasiekti 35 – 70 % azoto oksidų sumažėjimą.
	Su dūmų recirkuliacija	Iki 20 %		Liepsnos nestabilumas	
	Su kuro laipsniavimu	50 – 60 %		Liepsnos nestabilumas Nepilnas išdeginimas	

Metodas	NO _x šalinimo efektas	Kiti eksploataciniai parametrai		Pastabos
		Parametrai	Reikšmė	
SCR	80 – 95 %	Darbinė temperatūra	350 – 450 °C	<ul style="list-style-type: none"> Amoniakos kiekiui ir tuo pačiu NH₃/NO_x santykiui didėjant, gali iškilti problemų, t.y. per didelis amoniako kiekis pelenuose. Problema gali būti išsprendžiama naudojant didelio tūrio katalizatorius ar pagerinant NH₃ ir NO_x susimaišymą dūmuose. Nesureagavus NH₃ ir NO_x pradeda formuotis amonio sulfatas, kuris nusėsta ant įrengimo dalių (katalizatoriaus, oro pašildytuvų, t.t.). Katalizatoriaus tarnavimo laikas 4 – 5 metai deginant anglį, 7 – 10 metų deginant mazutą ir daugiau kaip 10 metų deginant dujas.
		Reagentas	Amoniakas, karbamidai	
		NH ₃ /NO _x santykis	0,8 – 1,0	
		SO ₂ /SO ₃ transformacijos santykis prie katalizatoriaus	1,0 – 1,5 %	
SNCR	30 – 50 %	Darbinė temperatūra	850 – 1050 °C	<ul style="list-style-type: none"> Kai kurie gamintojai pateikia NO_x sumažinimo laipsnį net iki 80 %.
		Reagentas	Amoniakas, karbamidai	
		NH ₃ /NO _x santykis	1,5 – 2,5	

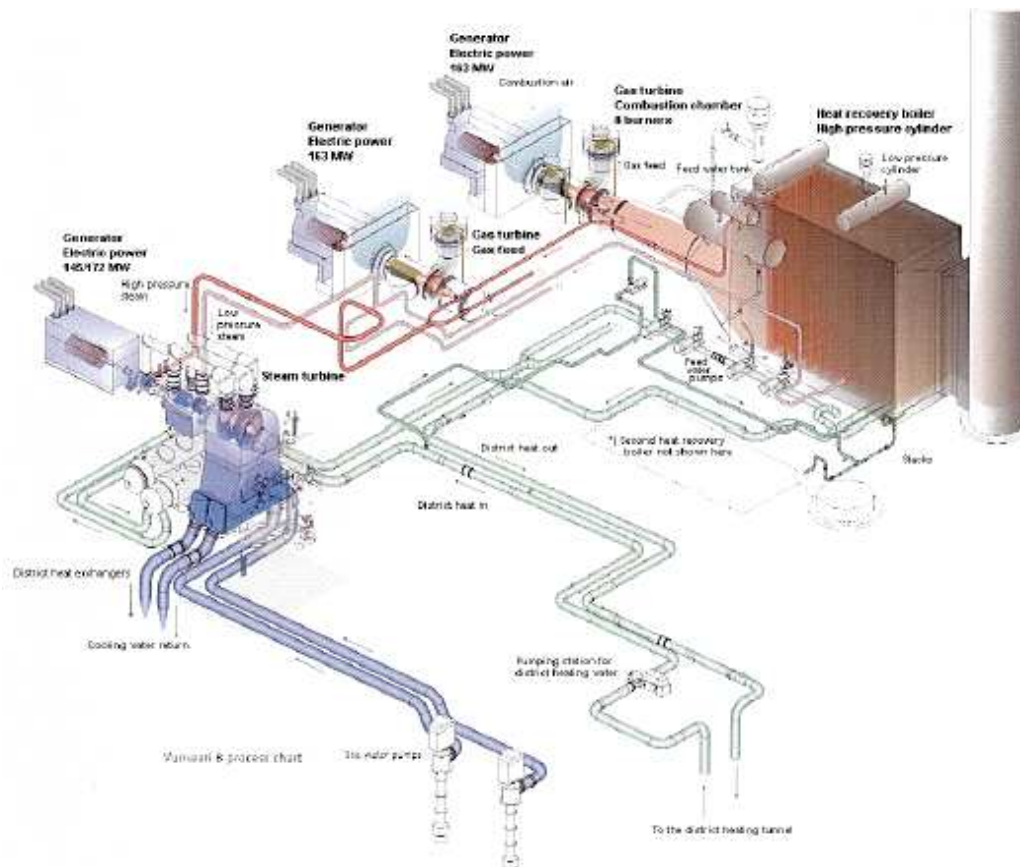
4. GPGB dujiniams ir skysto kuro katilams

4.1. Termodinaminio ciklo pagerinimas

Geriausia šilumos ir elektros energijos gamybos būdo pagerinimo priemonė yra termodinaminio ciklo efektyvumo pagerinimas. Šiandien, beveik pusė iš naujų elektrinių dirba kombinuotu ciklu. Jose dujų turbinos yra kombinuojamos su garo turbinomis ir tokiu būdu pagaminama daugiau elektros energijos. Kombinuoto ciklo jėgainėje dujų turbinos generuojamos galios naudingumo koeficientas yra 33 – 38 %. Iš dujų turbinos išeina nuo 530 – 630 °C temperatūros dujos. Šios karštos dujos toliau keliauja į garo generatorių, kur generuoja garą. Kombinuoto ciklo jėgainėse dabartiniu metu apytiksliai 2/3 iš gaunamos galios gaunama iš dujų turbinų ir 1/3 iš garo turbinų.

Naudojami kelių rūšių kombinuoti ciklai:

- Kombinuotas ciklas be antrinio deginimo;
- Kombinuotas ciklas su antriniu deginimu;
- Lygiagretaus deginimo kombinuotas ciklas.

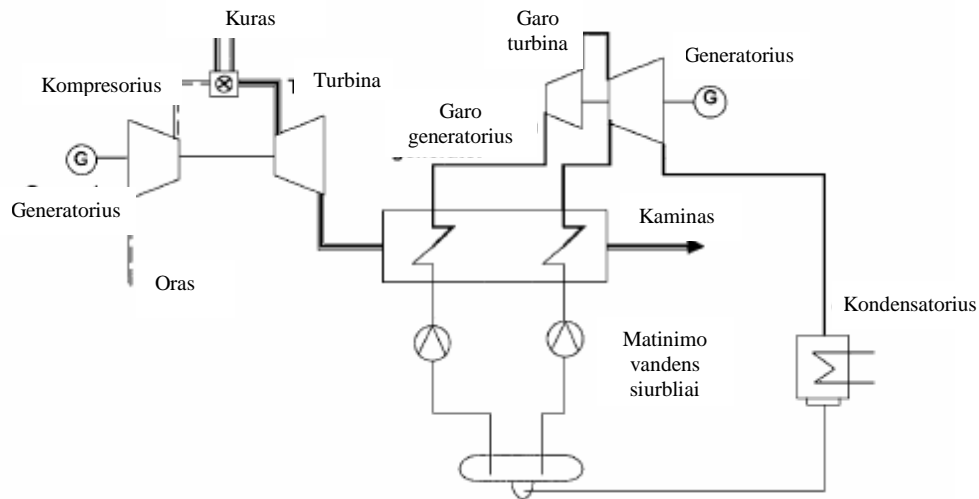


4.1 pav. Kombinuoto dujų/garo ciklo jėgainė

Kombinuotas ciklas be antrinio deginimo

Šio proceso metu, kuras tiekiamas tik į degimo kamerą, kurioje visiškai sudeginamas. Dūmų šiluma utilizuojama šilumokaityje, kuriame papildomai generuojamas garas. Šio dujų turbinos kombinuoto ciklo tipo našumas siekia virš 58,5 %.

Tokią jėgainę sudaro viena ar daugiau dujų turbinų ir šilumokaitis – garo generatorius, kuris tiekia garą per bendrą kolektorių į atskiras garo turbinas. Utilizatorius yra konvektyvinis šilumokaitis, su briaunuotais vamzdžiais, kuriuose išeinančių dūmų šiluma atiduodama vandeniui.

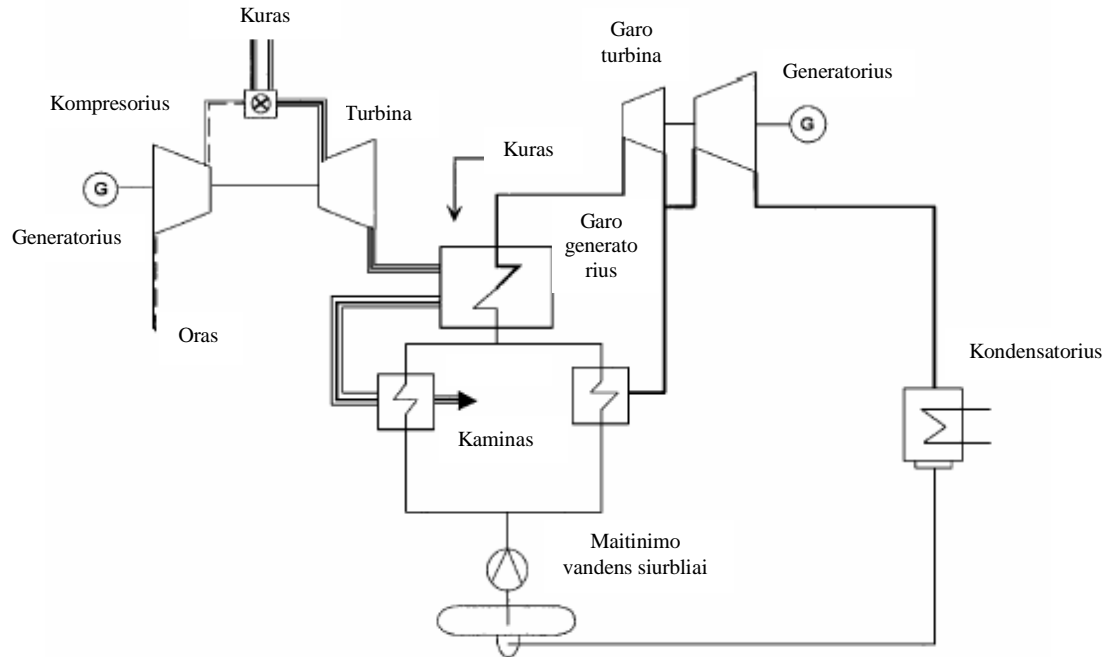


4.2 pav. Technologinė kombinuoto ciklo be antrinio deginimo jėgainės schema

Kombinuotas ciklas su antriniu deginimu

Šio ciklo pagalba galima dujų turbinas prijungti ir prie esamos jėgainės. Bet dėl to gali tekti pakeisti degiklius, garo turbinas ar rekonstruoti kūryklą. Proceso metu, iš karštos turbinos išeinančios dujos tiekiamos į garo katilo oro traktą ir naudojamos kaip oksidatorius garo katilo degikliuose. Ciklo efektyvumas siekia daugiau kaip 48 %.

Pilno degimo kombinuotame cikle, oro šildytuvai yra nereikalingi ir gali būti pašalinti. Iš dujų turbinos išeinančių dujų srautas sumažina į garo katilą tiekiamą oro kiekį. Kadangi iš dujų turbinos išeinančiuose dujose deguonies kiekis yra mažesnis, tai garo katile mažiau sudeginama kuro ir mažiau paruošiama garo. Sumažėja kūryklos vidutinė temperatūra ir NO_x gamyba.



4.3. Kombinuoto ciklo su antriniu deginimu jėgainės technologinė schema

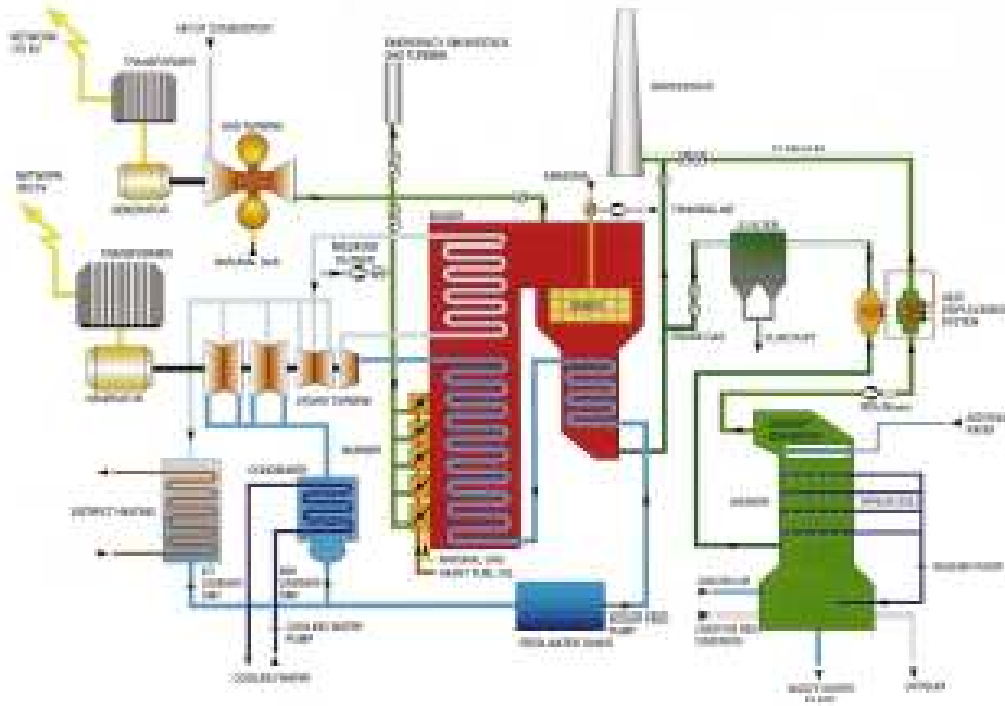
Dujų turbinos elektrinis galingumas siekia 20 – 25 % nuo visos jėgainės galingumo. Naudojant maitinimo vandens pašildymą, iš dujų turbinos išeinantys dūmai yra pakankamai gerai atšaldomi ir šiuo būdu našumas padidinimas apie 4 – 5 %.

Lygiagretaus deginimo kombinuotas ciklas

Šis kombinuotas dujų /garo turbinų ciklas sudėtas iš abiejų aukščiau paminėtų ciklų. Iš dujų turbinos išėjęs karštas dūmas nukreipiamas į atskirą šilumos utilizatorių – garo generatorių, į kurį tiekiami dalis kondensato ir maitinimo vandens. Garo katilas nėra sujungtas su dujų turbina bendra kūrykla, todėl dujų turbinos dūmai neužima degimo oro vietos. Lygiagretaus degimo kombinuotas elektros jėgainės ciklo efektyvumas pasiekiamas panašus į kombinuoto ciklo su antriniu deginimu.

Kogeneracinės jėgainės (TEC)

Šilumos ir elektros energijos kogeneracija yra laikoma vienu iš techniškai bei ekonomiškai efektyviausiu būdu padidinti jėgainės efektyvumą. TEC turėtų būti diegiamos kur tik yra didesnis šilumos poreikis. Geriausiose TEC pasiekiamas 45-55% ekserginis efektyvumas ir 75-90% kuro šilumos efektyvumas.



4.3 pav. Kombinuoto dujų/garo ciklo jėgainė gamtinėms dujoms ir mazutui

4.2. Geriausi būdai taršos sumažinimui deginant skystą kurą

Dulkių sugaudymui geriausias yra laikomi elektrosstatiniai ir rankoviniai filtrai. Gaunami rezultatai pateikti 4.1 lentelėje.

4.1 lentelė. Geriausi dulkių sugaudymo būdai skysto kuro katilams, mg/Nm³, 3% O₂

Našumas MW	Dulkių koncentracija		Geriausi būdai	Monitorin gas	Pritaikomumas	Pastabos
	Naujos jėgainės	Moderni zuotos				
50-100	10-20	10-20	ESF/RF	Nuolatinis	Naujos ir esamos jėgainės	ESF pasiekiamas efektyvumas >99,5%, RF efektyvumas >99,95%
100-300	5-15	5-15	ESF/RF su šlapiu nusierinimu	Nuolatinis	Naujos ir esamos jėgainės	
>300	5-10	5-10	ESF/RF su šlapiu nusierinimu	Nuolatinis	Naujos ir esamos jėgainės	ESF pasiekiamas efektyvumas >99,5%, RF efektyvumas >99,95% Šlapiame skruberyje taip pat sugaudoamos dulkės

Dūmų nusierinimui geriausia naudoti mažiau sieringą kurą arba nusierinimo įrenginius.

Geriausias nusierinimo įrenginiais laikomi šlapi skruberiai pasiekiantys 92-98% valymo efektyvumą ir pusiau sausi skruberiai, išvalantys 85-92% SO₂. Sausas nusierinimas naudojamas mažesnėse > 300 MW jėgainėse

Geriausi dūmų nusierinimo būdai skysto kuro katilams apibendrinti 4.2 lentelėje

4.2 lentelė. Geriausi SO₂ sugaudymo būdai skysto kuro katilams, mg/Nm³, 3% O₂

Našumas MW	SO ₂ koncentracija		Geriausi būdai	Monitoring as	Pritaikomumas
	Naujos jėgainės	Moderni zuotos			
50-100	200-300	200-300	Mažai sieringas kuras arba sausas arba pusiau sausas nusierinimas	Nuolatinis	Naujos ir modernizuotos jėgainės
100-300	100-200	100-250	Mažai sieringas kuras arba sausas arba pusiau sausas arba šlapias nusierinimas, kombinuotas SO ₂ ir NO _x valymas	Nuolatinis	Naujos ir modernizuotos jėgainės
>300	50-100	50-100	Šlapias arba pusiau sausas nusierinimas, kombinuotas SO ₂ ir NO _x valymas	Nuolatinis	Naujos ir modernizuotos jėgainės

Geriausias būdas NO_x sumažinimui yra derinimas pirminių ir antriniu priemonių. Katilams virš 100 MW ir ypač virš 300 MW geriausiai naudoti pirminės priemonės kartu su SCR. Katilams iki 100 MW geriausia naudoti įvairias pirminės priemonės.

Geriausi NO_x sumažinimo būdai skysto kuro katilams apibendrinti 4.3 lentelėje.

4.3 lentelė. Geriausi NO_x sumažinimo būdai skysto kuro katilams, mg/Nm³, 3% O₂

Našumas MW	SO ₂ koncentracija		Geriausi būdai	Monitoring as	Pritaikomumas
	Naujos jėgainės	Moderni zuotos			
50-100	150-250	200-300	Pirminės priemonės (oro ir kuro laipsniavimas, mažų-NO _x degikliai ir kt.	Nuolatinis	Naujos ir modernizuotos jėgainės
100-300	50-150	100-200	Pirminės priemonės kartu su SCR, NSCR	Nuolatinis	Naujos ir modernizuotos jėgainės
>300	50-100	50-150	Pirminės priemonės kartu su SCR, NSCR	Nuolatinis	Naujos ir modernizuotos jėgainės