Spaljivanje plina tijekom proizvodnje nafte

Šafarek, Juraj

Undergraduate thesis / Završni rad

2022

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:169:814437

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-29**



Repository / Repozitorij:

Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering Repository, University of Zagreb







SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET

Preddiplomski studij naftnog rudarstva

SPALJIVANJE PLINA TIJEKOM PROIZVODNJE NAFTE

Završni rad

Juraj Šafarek

N4315

Zagreb, 2022.

Sveučilište u Zagrebu
Rudarsko-geološko-naftni fakultet

Završni rad

SPALJIVANJE PLINA TIJEKOM PROIZVODNJE NAFTE

JURAJ ŠAFAREK

Rad izrađen: Sveučilište u Zagrebu
Rudarsko-geološko-naftni fakultet
Zavod za naftno-plinsko inženjerstvo i energetiku
Pierottijeva 6, 10 000 Zagreb

Sažetak

Spaljivanje plina na baklji je proces izgaranja plina proizvedenog s naftom iz naftnih ležišta, kao i iz rafinerija i drugih postrojenja, bilo zbog uklanjanja plina ili zbog sigurnosnih razloga u smislu smanjivanja tlaka postrojenja. Procjenjuje se da se godišnje spali i ispusti u okoliš od 150 do 170 milijardi kubnih metara plina, što je ekvivalent vrijednosti od 30,6 milijardi dolara. Spaljivanje plina je jedan od najizazovnijih ekološko-energetskih problema s kojima se svijet danas suočava. U radu je opisan sustav za spaljivanje sa njegovim komponentama, vrstama baklji koje se koriste u naftnoj industriji i mogućnosti smanjenja količine spaljenog plina.

Ključne riječi: Spaljivanje plina, baklja, protok, sastav plina, tlak, plamenik, uspravna baklja, vodoravna baklja, dovod zraka, dovod pare

Završni rad sadrži: 23 stranice, 1 tablica, 9 slika i 15 referenci.

Jezik izvornika: Hrvatski

Pohrana rada: Knjižnica Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta, Pierottijeva 6, Zagreb

Mentorica: Dr. sc. Katarina Simon, redovita profesorica RGNF

Komentorica: Dr. sc. Katarina Žbulj, poslijediplomandica

Ocjenjivači: Dr. sc. Katarina Simon, redovita profesorica RGNF
Dr. sc. Vladislav Brkić, izvanredni profesor RGNF
Dr. sc. Sonja Koščak Kolin, docentica RGNF

Datum obrane: 9. rujna 2022., Rudarsko-geološko-naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu

SADRŽAJ

1. UVOD 1
2. SPALJIVANJE PLINA PRI PROIZVODNJI NAFTE 2
2.1. Sastav i količina plina za spaljivanje **2**
3. SUSTAV ZA SPALJIVANJE 6
3.1. Komponente sustava **8**
4. PODJELA BAKLJI 14
4.1. Uspravne baklje **14**
4.1.1. Baklje s dovodom pare 14
4.1.2. Baklje s dovodom zraka 15
4.1.3. Obična baklja 16
4.1.4. Baklje s povećanim tlakom plina 16
4.2. Vodoravne baklje **17**
5. MOGUĆNOSTI SMANJENJA KOLIČINA SPALJENOG PLINA 20
6. ZAKLJUČAK 21
7. POPIS LITERATURE 22

POPIS SLIKA

Slika 2-1. Korelacija količine spaljenog plina u svijetu s proizvedenom količinom nafte....4
Slika 2-2. Zemlje koje spaljuju najveće količine plina.....5
Slika 3-1. Dijagram zračenja za baklju instaliranu na proizvodnoj naftnoj platformi 8
Slika 3-2. Tipovi konstrukcije uspravnih baklji.....10
Slika 3-3. Shema sustava za spaljivanje plina na kopnu 13
Slika 4-1. Baklja s dovodom pare 15
Slika 4-2. Baklja s dovodom zraka.....16
Slika 4-3. Vodoravna baklja s ogradom 18
Slika 4-4. Zatvorena baklja.....19

POPIS TABLICA

Tablica 2-1. Mogući sastav spaljenog plina za različita postrojenja 3

1. UVOD

Prirodni plin koji se proizvodi iz naftnih ležišta može biti u kontaktu s naftom (plin u plinskoj kapi) ili u njoj otopljen. Prilikom proizvodnje nafte taj se plin obično spaljuje.

Spaljivanje plina na baklji predstavlja proces kontroliranog izgaranja hlapljivih organskih spojeva koji se odvode cijevima na udaljeno, obično povišeno mjesto i spaljuju na otvorenom plameniku, koji za potpuno izgaranje bez dima koristi dodatan dovod zraka ili vodene pare.

Na odabir optimalnog sustava za spaljivanje utječu sljedeći čimbenici: raspoloživi prostor, karakteristike plina za spaljivanje (sastav, količina, tlak), investicijski i operativni troškovi, javno mijenje i lokalni propisi. Što se tiče baklje odnosno njenog dizajna te sigurnog i učinkovitog rada, važno je regulirati protok, sastav, temperaturu i tlak plina.

Podaci iz 2022. godine pokazuju da je tijekom 2021. godine spaljeno 143 504,82 milijuna m^3 prirodnog plina emitirajući tako u okoliš 382,68 Mt CO_2 godišnje (The World Bank, 2022). Shodno tome, spaljivanje plina predstavlja izniman ekološko-energetski izazov današnjice zbog čega se povećava interes za istraživanjem različitih metoda smanjenja volumena plina koji se spaljuje te alternativnih načina iskorištenja istog.

Cilj ovoga rada je opisati i analizirati sustav za spaljivanje plina i njegove komponente, kao i vrste baklji koje se pritom koriste te izložiti mogućnosti zbrinjavanja plina koji se spaljuje na ekološki i ekonomski prihvatljiv način.

2. SPALJIVANJE PLINA PRI PROIZVODNJI NAFTE

Spaljivanje plina na baklji je proces izgaranja plina proizvedenog s naftom iz naftnih ležišta, kao i iz rafinerija i drugih postrojenja, bilo zbog uklanjanja plina ili zbog sigurnosnih razloga u smislu smanjivanja tlaka postrojenja.

Po definiciji Kanadskog udruženja proizvođača nafte, spaljivanje plina pri proizvodnji nafte je kontrolirano gorenje prirodnog plina koji ne može biti obrađen u svrhu prodaje ili daljnjeg korištenja zbog tehničkih ili ekonomskih razloga (CAPP, 2022). Bez obzira na razloge, spaljivanje plina znači gubitak vrijednog resursa.

Gubici uslijed spaljivanja u industrijskim operacijama i postrojenjima koji uključuju proizvodnju nafte, rafinerijska i kemijska postrojenja, industriju ugljena i odlagališta otpada ne podrazumijevaju samo gubitak prirodnog plina, već i procesnih plinova, pogonskog plina, pare i dušika.

Sustavi za spaljivanje u naftnoj industriji se zbog svoje važnosti postavljaju na razne lokacije kao što su proizvodna postrojenja na kopnu i moru, brodovi za transport ugljikovodika, lučka postrojenja, spremnici za skladištenje i cjevovodi (Emam, 2015).

Spaljivanje plina je jedan od najizazovnijih ekološko-energetskih problema s kojima se svijet danas suočava. S energetskog aspekta radi se o nepovratnom gubitku energenta-plina po sastavu vrlo sličnog prirodnom plinu dok se s ekološkog aspekta spaljivanjem povećavaju emisije CO_2, CH_4 i ostalih stakleničkih plinova u okoliš što dodatno pogoršava situaciju u smislu globalnog zatopljenja (Emam, 2015).

2.1. Sastav i količina plina za spaljivanje

Plin koji se spaljuje sadrži različite ugljikovodike. Sastav plina koji ulazi u sustav spaljivanja će uvelike ovisiti o izvoru plina. Naftni plin koji je oslobođen tijekom proizvodnje nafte uglavnom sadrži ugljikovodike kao i prirodni plin. Prirodni plin je po sastavu više od 90% metan s određenim udjelom etana i malim sadržajem ostalih ugljikovodika, a u sebi može sadržavati i male količine dušika i ugljikovog dioksida. Plin iz rafinerija i ostalih procesnih postrojenja najčešće sadrži mješavinu ugljikovodika s dušikom, dok su deponijski plin i bioplin mješavine metana i ugljikovog dioksida s malim količinama ostalih inertnih plinova. Zbog procjene ekonomske vrijednosti plina odnosno donošenja odluke o njegovoj daljnjoj obradi ili spaljivanju važno je poznavati sastav otpadnog plina.

Iz navedenog proizlazi da ne postoji standardni sastav plina za spaljivanje i zbog toga je u tablici 2-1 definiran raspon udjela mogućih primjesa u sastavu plina za spaljivanje za različita postrojenja u kojima se plin spaljuje.

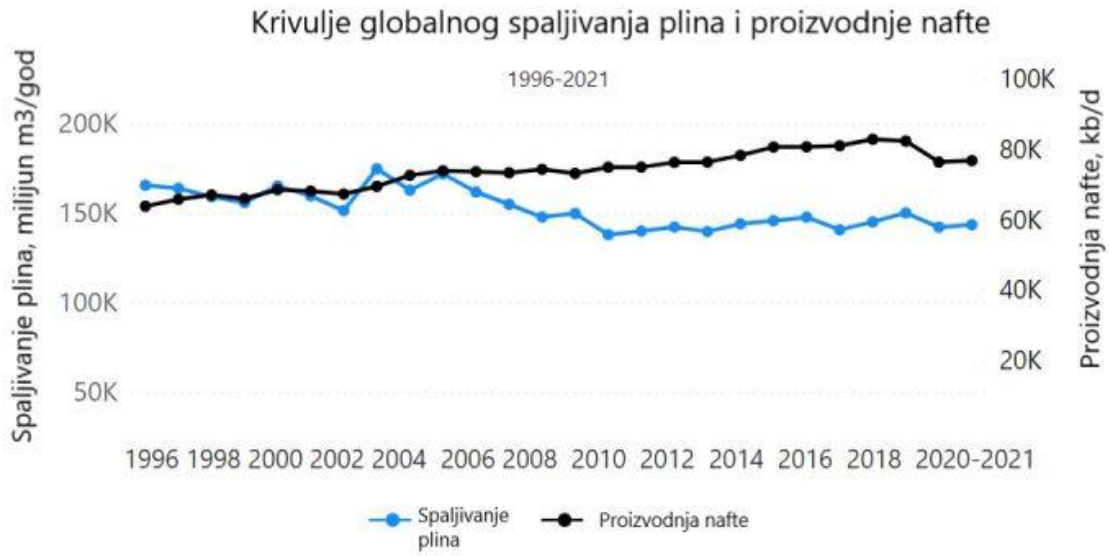
Tablica 2-1. Mogući sastav spaljenog plina za različita postrojenja (Emam, 2015)

Spoj	Formule	Postotak spaljenog plina, %		
		Min.	Maks.	Prosjek
Metan	CH_4	7,17	82,0	43,6
Etan	C_2H_6	0,55	13,1	3,66
Propan	C_3H_8	2,04	64,2	20,3
n-Butan	C_4H_{10}	0,199	28,3	2,78
Izobutan	C_4H_{10}	1,33	57,6	14,3
n-Pentan	C_5H_{12}	0,008	3,39	0,266
Izopentan	C_5H_{12}	0,096	4,71	0,530
Neopentan	C_5H_{12}	0,000	0,342	0,017
n-Heksan	C_6H_{14}	0,026	3,53	0,635
Etilen	C_2H_4	0,081	3,20	1,05
Propilen	C_3H_6	0,000	42,5	2,73
1-Buten	C_4H_8	0,000	14,7	0,696
Ugljikov monoksid	CO	0,000	0,932	0,186
Ugljikov dioksid	CO_2	0,023	2,85	0,713
Sumporovodik	H_2S	0,000	3,80	0,256
Vodik	H_2	0,000	37,6	5,54
Kisik	O_2	0,019	5,43	0,357
Dušik	N_2	0,073	32,2	1,30
Voda	H_2O	0,000	14,7	1,14

Količinu plina koja se svakodnevno spaljuje u svijetu je vrlo teško procijeniti zbog nedostatka opreme za praćenje i limitiranog nadzora, što se može vidjeti na primjeru Rusije

koja u pojedinim regijama ima mjerače protoka tek na polovici instaliranih baklji. Mnoge zemlje uopće ne daju javne izvještaje o volumenu plina kojeg spaljuju što dodatno dovodi u pitanje koliko se zapravo plina u svijetu spaljuje. Tijekom zadnja dva desetljeća za precizno mjerenje količine spaljenog plina u naftnoj industriji počeli su se koristiti vojni sateliti i sofisticirani računalni programi (Emam, 2015). Korištenje sofisticirane opreme rezultiralo je povećanjem pouzdanosti, potpunosti i točnosti podataka o spaljivanju.

Na slici 2-1. vidljiv je trend smanjenja volumena spaljenog plina u posljednjih dvadesetak godina bez obzira na povećanje proizvodnje nafte odnosno s njom proizvedenog plina u istom razdoblju.



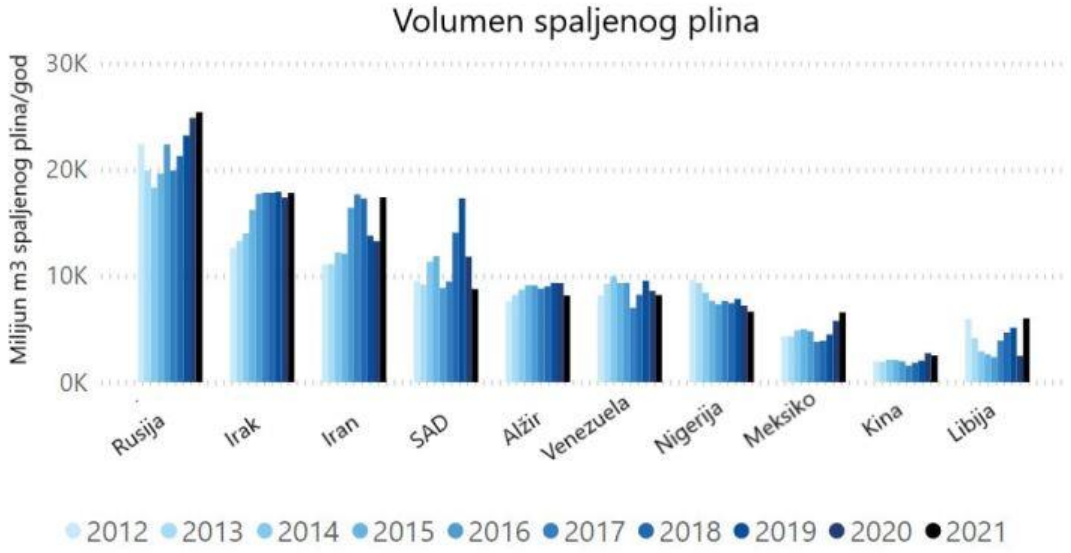
Slika 2-1. Korelacija količine spaljenog plina u svijetu s proizvedenom količinom nafte (The World Bank, 2022)

Podaci Svjetske banke iz 2015. godine procjenjuju da se godišnje spali i ispusti u okoliš od 150 do 170 milijardi kubnih metara plina, što je ekvivalent vrijednosti od 30,6 milijardi dolara. Kada se ti podaci stave u omjer s godišnjom potrošnjom plina u Sjedinjenim Američkim Državama ispada da se spaljuje 25% plina, a kada se promatra potrošnja Europske unije to je čak 30% godišnje potrošnje plina.

Emam (2015) navodi kako je krajem 2011. godine, deset zemalja (Rusija, Nigerija, Iran, Irak, SAD, Alžir, Kazahstan, Venezuela, Saudijska Arabija, Angola) bilo odgovorno za spaljivanje 72% od ukupne količine plina proizvedenog s naftom u svijetu. U 2012. godini Rusija i Nigerija su bile odgovorne za 40% sveukupnog volumena spaljenog plina.

Najnoviji podaci preuzeti sa stranice Global Gas Flaring Reduction Partnership pokazuju kako su u 2021. godini za 75% sveukupnog spaljenog plina i 50% sveukupne proizvodnje nafte, odgovorne Rusija, Irak, Iran, SAD, Venezuela, Alžir, Nigerija, Meksiko, Libija i Kina (slika 2-2).

Najveći iskorak u smanjenju količina spaljenog plina napravila je Nigerija koja je prema Al-Blaiesu 2010. godine je spaljivala 15,2 milijardi m^3 plina i bila druga na svijetu po volumenu spaljenog plina, odmah iza Rusije. Zahvaljujući dodatnom angažmanu, ulaganjima u postrojenja za ukapljivanje prirodnog plina, plinovodima za transport plina susjednim zemljama i zakonodavnim mjerama kojima se regulira naftna i plinska industrija, aktualni podaci iz 2022. pokazuju kako je Nigerija u 2021. godini spalila 6,6 milijardi m^3 plina, što je smanjenje od 56,6% u odnosu na 2010. godinu.



Slika 2-2. Zemlje koje spaljuju najveće količine plina (The World Bank, 2022)

3. SUSTAV ZA SPALJIVANJE

Na odabir sustava za spaljivanje utječe nekoliko čimbenika: raspoloživ prostor, karakteristike plina za spaljivanje (sastav, količina, tlak), investicijski i operativni troškovi, odnosi sa javnošću i lokalni propisi. Dva su uobičajena sustava za spaljivanje s bakljom: uzdignute baklje i prizemne baklje (Cheremisinoff, 2013).

Za dizajn, te siguran i učinkovit rad bilo koje baklje najvažnije je razmotriti sljedeće parametre:

Protok

Vrlo je bitno poznavati točan protok prema kojem se onda konstruira sustav za spaljivanje. Ukoliko se u izvornim specifikacijama protok prenaglasi, konstrukcijski će se dobiti neoptimalan sustav s prevelikom bakljom. To će dovesti do povećanja kapitalnih i operativnih troškova i do kraćeg vijeka trajanja sustava. S druge strane, ako se tijekom konstruiranja sustava predvidi manji protok od realnog, dobiva se nesiguran sustav.

Sastav plina

Produkti gorenja uvelike ovise o sastavu plina. Vrlo je važno prije odabira baklje i njenih dimenzija poznavati sastav plina, kao i potencijalne produkte gorenja, te utvrditi karakteristike gorenja. Kritičan parametar koji se mora poznavati je maseni omjer vodika s ugljikom jer je on pokazatelj sklonosti plina dimljenju. Ukoliko plin u sebi sadrži određene (dopuštene) količine sumporovodika, treba obratiti pažnju odabiru materijala od kojeg je izrađen sustav za spaljivanje zbog povećane opasnosti od korozije.

Temperatura plina

Temperatura plina ima izravan utjecaj na toplinsko širenje odnosno volumen plina te na tehničke karakteristike cijevi, separatora i ventila sustava. Osim toga, temperaturu je ključno razmotriti i zbog potencijalnog kondenziranja određenih komponenti plina, odnosno rezultirajućeg dvofaznog protoka, što uveliko utječe na sklonost dimljenju i iskrenju. To se može spriječiti dodavanjem separatora (engl. *knockout drum*) u sustav.

Dostupan tlak plina

Tlak plina je važan parametar za konstrukciju baklje koja osigurava dobro izgaranje bez dima. Pritom je posebno bitno da pad tlaka kroz sustav bude što manji. Oprema spojena na

sustav za rasterećenje, odzračivanje i/ili ispuhivanje bit će spojena na visokotlačnu ili niskotlačnu baklju. Općenito, oprema s projektiranim tlakom većim od 10 bara biti će spojena na visokotlačni sustav koji karakteriziraju: veliki dopušteni protutlak, smanjen promjer cijevi, sonični vrh baklje (plamenik) s uobičajenim tlakom na izlazu od 2 do 4 bara. Oprema s projektiranim tlakom manjim od 10 bara spaja se na niskotlačni sustav koji karakterizira: mali dopušteni protutlak, veći promjer cijevi, subsonični vrh baklje (plamenik) s tlakom na izlazu 0,2 bara do 0,5 bara.

Pomoćna mediji

Za optimalni rad baklje bez dima, potrebno je u sustav za spaljivanje uključiti i pomoćni medij kojim se ostvaruje vanjska sila potrebna za što učinkovitije miješanje zraka i plina koji se spaljuje. Pri odabiru pomoćnog medija treba uzeti u obzir lokalne troškove energije, te dostupnost i pouzdanost medija. Uobičajeni pomoćni medij je vodena para koja se protiskuje kroz mlaznice nalaze na vrhu baklje blizu plamenika. Ostali mediji bitni za sustav su plin za ispuhivanje i pilot plin. Plin za ispuhivanje (engl. *purge gas*) je inertni plin koji ne može kondenzirati, a utiskuje se u cijev baklje kako bi ublažio prodor zraka kroz baklju i onemogućio povratno zapaljenje unutar cijevi dok pilot plin održava gorenje na pilot plameniku. Potrebe za plinom za ispuhivamke će ovisiti o sastavu plina za spaljivanje.

Sigurnost

Najveći sigurnosni problem za bilo koji sustav spaljivanja jest toplinsko zračenje.

Za procjenu potrebne visine baklje, uobičajena je praksa generiranje dijagrama zračenja za različite razine zračenja. Primjer dijagrama zračenja prikazan je na slici 3-1.

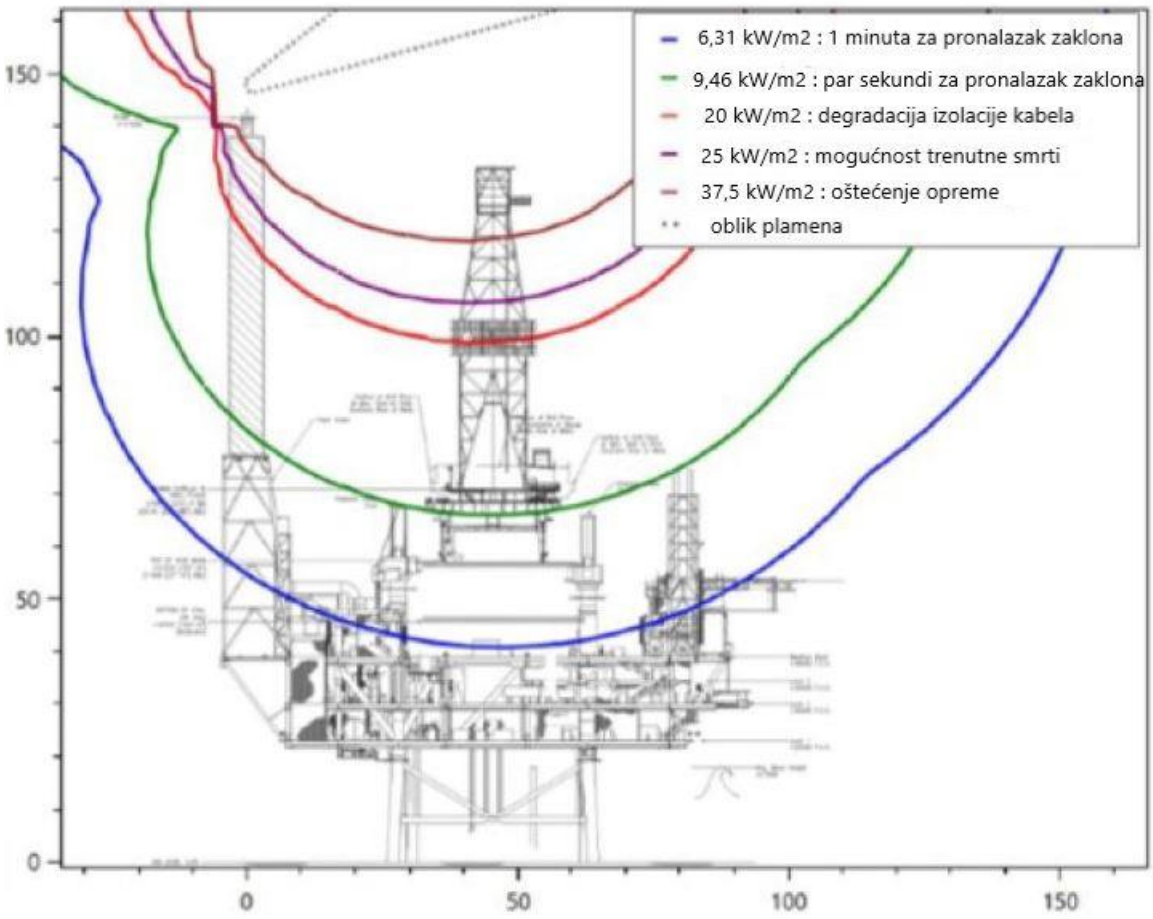
Različite razine zračenja predstavljaju dopušteno vrijeme izloženosti osoblja.

Prema API RP 521, zračenje od 1,58 kW/m², općenito je poznato kao kontinuirano izlaganje tijekom pune smjene, tj. područje u kojem osoblje s odgovarajućom odjećom i obućom može biti kontinuirano izloženo zračenju navedene jačine.

Razina zračenja od 4,73 kW/m² smatra se graničnom u području za izvođenje hitnih akcija u trajanju od dvije do tri minute u kojem osoblje ne treba biti posebno zaštićeno.

Razina zračenja od 6,31 kW/m² smatra se granicom u području u kojem mogu biti potrebne hitne akcije u trajanju do 30 sekundi, a da nije potrebna dodatna zaštita osoblja.

Prilikom generiranja dijagrama zračenja treba uzeti u obzir i sunčevo zračenje koje se razlikuje od mjesta do mjesta.



Slika 3-1. Dijagram zračenja za baklju instaliranu na proizvodnoj naftnoj platformi (Park, 2020)

3.1. Komponente sustava

Sustav za spaljivanje (slika 3-3) se može podijeliti u dvije zasebne cjeline:

- sabirni sustav s plinskim separatorom (engl. *knockout drum*) i
- baklju za spaljivanje.

Tipičan sustav za spaljivanje se sastoji od sljedećih komponenti i podsustava (Papas i dr., 2010):

A) Sustav cijevi koje prikupljaju i prenose ispušne plinove do baklje (engl. *header*)

Plin se prenosi putem cjevovoda s razdjelnikom prema baklji. Cijevi su dizajnirane i raspoređene tako da minimiziraju pad tlaka, onemogućuju nastanak takozvanih zamki za plin. Unutar cijevi se nalaze čistači kako bi se spriječio nastanak eksplozivnih smjesa.

B) Separator s odvajačem kapljica

Da bi se pospješilo gravitacijsko odvajanje plina od kapljevine, koriste se separatori koji mogu biti horizontalni ili vertikalni. Na naftnim poljima nalaze se na mjernim ili sabirnim stanicama. Nakon izdvajanja u mjernom odnosno zbirnom separatoru, plin za spaljivanje na baklji prolazi kroz odvajač kapljica (engl. *knockout drum*) jer u slučaju zaostajanja kapljive faze u plinu koji se spaljuje može doći do gašenja plamena baklje, nepravilnog sagorijevanja i dimljenja ili zapaljenje kapljevine iz čega proizlaze novi problemi: prskanje zapaljenje kapljevine u okoliš i stvaranje opasnosti za ljude koji rade u neposrednoj blizini.

C) Separator s vodenom preprekom (engl. *water seal*) ili dodatnim plinom za ispuhivanje (engl. *Purge gas*) za sprječavanje prodora zraka ili povratnog zapaljenja
To je fenomen koji se javlja u zapaljivoj smjesi zraka i plina kada brzina dotoka smjese postane manja od brzine plamena, uzrokujući povratak plamena kroz smjesu (API STD 521, 2014). Plin za spaljivanje prije dolaska do baklje najčešće pri izlazu iz separatora prolazi kroz vodenu prepreku. Time se sprječava moguće povratno zapaljenje uzrokovano nenamjernim uvođenjem zraka u sustav za spaljivanje što rezultira uvlačenjem plamena u baklju.

Vodena prepreka služi i za održavanje pozitivnog tlaka te djeluje kao mehanički prigušivač na eventualni povratni eksplozivni val iz baklje. Drugi uređaji, kao što su hvatači plamena (engl. *flame arrester*) i protupovratni ventili mogu zamijeniti vodenu prepreku u njenoj funkciji. Plin za ispuhovanje također pomaže u sprječavanju povratnog plamena u unutrašnjost baklje uzrokovanog niskim protokom ispušnog plina.

D) Baklja s jednim ili više plamenika

Zbog sigurnosnih razloga baklja se koristi kako bi se plamen što više odmaknuo od razine tla. Baklja se mora postaviti tako da ne predstavlja opasnost za okolno osoblje i objekte.
Uzdignute baklje mogu biti samostojeće (samodržive), učvršćene sidrenom užadi odnosno klinovima ili poduprte tornjem (slika 3-2).

Uobičajena visina samostojeće baklje je obično od 9,144 metara do 30,48 metara, ali postoje i konstrukcije visoke do 76,2 metara. Baklje učvršćene klinovima dosežu visinu od 91,44 metara, dok su baklje poduprte tornjem visine od 60,96 metara.

Prednost samostojećih baklji predstavlja idealna konstrukcijska potpora, ali treba uzeti u obzir cijenu koštanja koja progresivno raste s visinom baklje, kao i potrebne potrebne temelje te svojstva tla na koje se postavlja.

Prednost baklji koje su konstrukcijski poduprte tornjem je što se mogu graditi izrazito visoko jer je opterećenje raspoređeno po cjelokupnoj strukturi. Po cijeni koštanja izrade ovakve baklje spadaju u najskuplje konstrukcije.

Baklje učvršćene sidrenom užadi odnosno klinovima su konstrukcijski najjednostavnije. Nedostatak im je što zahtijevaju veći raspoloživi prostor, za siguran rad jer je užad kojima su učvršćeni klinovi široko razmaknuta. Pravilo potvrđeno u praksi kaže da je površina na tlu potrebna za postavljanje baklje učvršćene klinovima kružnica polumjera visine baklje s bakljom smještenom u središtu kružnice.



Slika 3-2. Tipovi konstrukcije uspravnih baklji (The piping talk, 2021)

Pod utjecajem vjetra ili zbog smanjenja volumena plina za spaljivanje uslijed smanjenja temperature, postoji mogućnost ulaska zraka unutar baklje i potencijalne eksplozije.

Kako bi se to spriječilo unutar baklje se postavlja prepreka za plin (engl. *gas seal*) koja se nalazi ispod vrha baklje (plamenika), a sprječava povratni tok zraka u unutrašnjost baklje.

F) Plamenik/vrh baklje

Plamenik je konstruiran tako da omogući izgaranje ispušnog plina u rasponu kapaciteta sustava baklje. Kod odabira se uzima u obzir stabilnost plamena, pouzdanost paljenja i suzbijanje buke. Glavna funkcija kod dimenzioniranja plamenika je održavanje stabilnog plamena (ne nužno bez dima) koji će sagorjeti maksimalni i minimalni volumen plina koji dolazi na baklju. Stabilnost plamena može se poboljšati uređajima za zadržavanje plamena ugrađenim u unutrašnjosti vrha baklje. Današnji plamenici mogu imati stabilan plamen u rasponu izlazne brzine plina za spaljivanje od 0,3048 m/s pa do 182,88 m/s.
Stvarni maksimalni kapacitet plamenika najviše ovisi o početnom tlaku plina koji mora nadvladati padove tlaka u cijelom sustavu.

Uobičajeno pravilo za dimenzioniranje promjera uzdignutih baklji je osiguravanje dovoljne brzine plina pri maksimalnom protoku što je obično 50% brzine zvuka tog plina.

G) Pilot plamenik (kontinuirani izvor plamena koji daje energiju paljenja plinu)

Postojeće specifikacije baklje zahtijevaju prisutnost kontinuiranog plamena koji se postiže pilot plamenikom. Kako bi se osiguralo da pilot plamenik kontinuirano gori, potreban je uređaj za detekciju plamena (termopar, infracrveni senzor ili rijetko ultraljubičasti senzor). Pilot plamenik se nalazi na vanjskoj stijenci vrha baklje. Tipični sustavi paljenja su prednji generator plamena i električni sustav paljenja. Prednji generator plamena je sustav u kojem se smjesa plina i zraka uvodi na razini tla i teče tankom usponskom cijevi pored baklje do pilot plamenika. Nakon potpunog ispunjenja cijevi smjesom, slijedi zapaljenje smjese iskrom. Nastali plamen putuje do vrha baklje gdje se pali pilot plamenik.

Električni sustav zapaljenja isključuje svu dodatnu opremu jer se iskra stvara na samom izlazu plina iz mlaznica na plameniku.

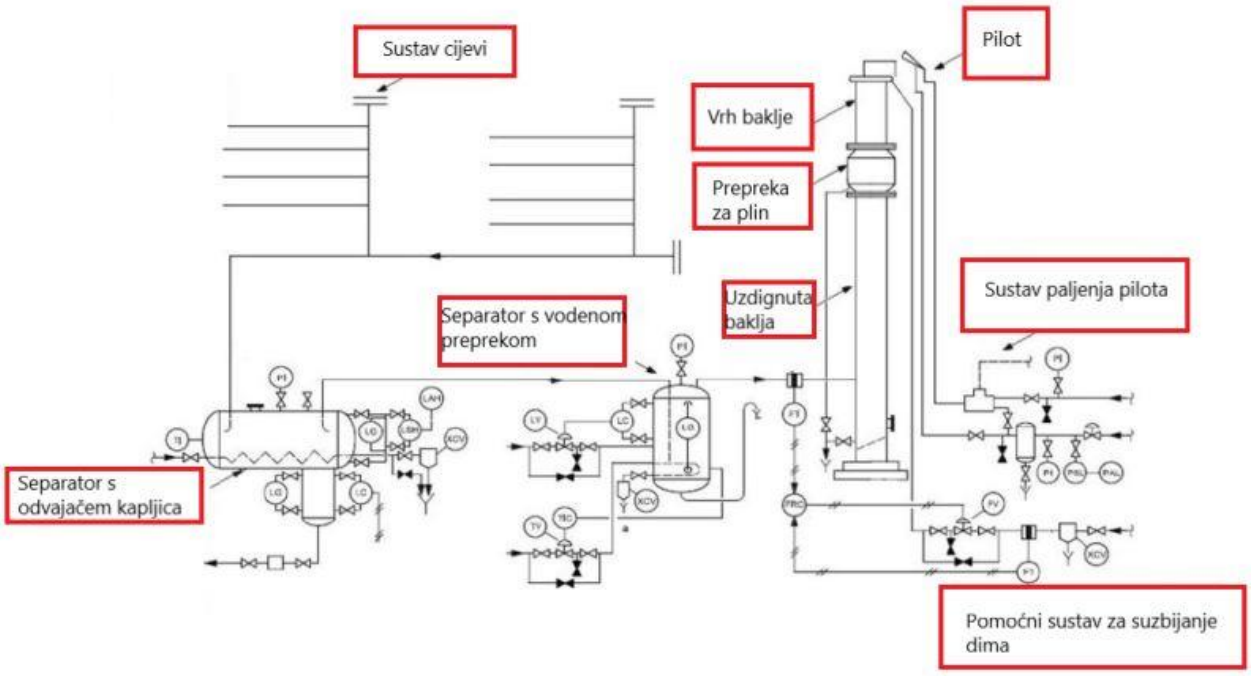
H) Dodatna oprema za gorenje bez dima (dodatno utiskivanje pare ili zraka)

Gorenje ili izgaranje je kemijski proces kod kojeg dolazi do oksidacije gorivih sastojaka nekog goriva (u ovom slučaju plina) uz stvaranje (oslobađanje) topline. Nepotpuno izgaranje će se pojaviti samo onda kada nema dovoljno kisika da omogući potpunu reakciju uz stvaranje ugljikovog dioksida i vode.

Da bi se spriječilo nepotpuno gorenje na vanjskoj strani vrha baklje postavljaju se mlaznice za brzo ubrizgavanje zraka. Na taj se način povećava turbulencija plina u graničnim zonama plamena, uvlači se više zraka za izgaranje i poboljšava učinkovitost izgaranja. Za veće baklje, koncentrično u vrh baklje može se ubrizgati para. Utiskivanje vodene pare u plamen baklje može osim uvlačenja zraka i turbulencije rezultirati i drugim učincima koji se ogledaju u smanjenju stvaranja dima. Dodatni učinak pare je smanjenje temperature u jezgri plamena čime se guši krekiranje - proces razgradnje dugolančanih ugljikovodika koji imaju više vrelište u kratkolančane ugljikovodike manjeg vrelišta pri visokim temperaturama i velikim tlakovima. Fizičko ograničenje količine pare koja se može isporučiti i utisnuti u plamen baklje određuje koliko će se proizvesti dima. Značajni nedostaci korištenja pare su povećana buka i troškovi. Para pogoršava problem buke pri radu baklje proizvodeći visokofrekventnu buku mlaza koja se može smanjiti korištenjem višestrukih parnih mlaznica malog promjera. Za optimizaciju korištenja pare dostupni su infracrveni senzori koji detektiraju karakteristike plamena i automatski prilagođavaju protok pare kako bi se održao rad bez dima.

I) Kontrola rada sustava

Upravljanje sustavom baklje može biti potpuno automatizirano ili potpuno ručno. Komponente sustava baklje koje se mogu automatski kontrolirati uključuju pomoćni plin, utiskivanje pare i sustav paljenja. Potrošnja gorivog plina može se minimizirati kontinuiranim mjerenjem protoka ispušnog plina i sadržaja topline (MJ/m^3) na temelju čega je moguće automatski podešavati količinu pomoćnog goriva za održavanje potrebnog minimuma od 300 MJ/m^3 za baklje potpomognute parom. Potrošnja pare također se može minimizirati kontrolom protoka na temelju brzine protoka ispušnog plina. Protok pare se može kontrolirati pomoću vizualnih monitora dima. Automatske ploče za paljenje detektiraju prisutnost plamena pomoću vizualnih ili toplinskih senzora i ponovno pale pilote kada dođe do prekida plamena.



Slika 3-3. Shema sustava za spaljivanje plina na kopnu (Park, 2020)

4. PODJELA BAKLJI

Baklje za spaljivanje plina u naftnoj industriji dijele se na: uspravne i vodoravne baklje. Uspravne baklje se najčešće koriste na postrojenjima za obradu nafte i plina, u rafinerijama i kemijskim postrojenjima. Dijele se na baklje s dovodom pare, zraka ili obične baklje. Utiskivanjem pare ili zraka želi se postići gorenje bez dima uz smanjeno emitiranje svijetlosti. Ako je dovoljno visoka, ovakva baklja ima dobre karakteristike disperzije zraka pri izgaranju otrovnih produktata bez neugodnog mirisa. Međutim problem koji se javlja kod utiskivanja nekog od navedenih medija je povećanje buke.

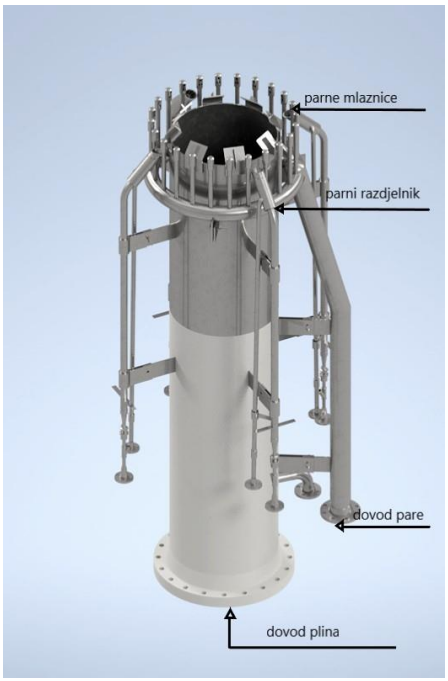
Vodoravna baklja je sustav u kojem se izgaranje odvija u razini tla. Sustav vodoravnih baklji se razlikuje po složenosti i može se sastojati od konvencionalnih plamenika koji izgaraju direktno u atmosferu ili više plamenika u vatrootpornom čeličnom kućištu.

4.1. Uspravne baklje

4.1.1. Baklje s dovodom pare

Baklje s dovodom pare su baklje s jednim plamenikom, podignute od razine tla koje spaljuju plin u difuzijskom plamenu. Difuzijski plamen je tip plamena u kojem su oksidans i gorivo odvojeni prije izgaranja. Izgaranje se odvija samo na površini plamena gdje se plin za spaljivanje susreće s kisikom (iz pare) u odgovarajućoj koncentraciji.

Većina baklji koje su postavljene po rafinerijama i kemijskim postrojenjima su baklje s dovodom pare. Kako bi se osigurala odgovarajuća opskrba zrakom i adekvatno miješanje, kod ovog sustava baklje se para ubrizgava u zonu izgaranja podržavajući tako turbulenciju za miješanje i induciranje zraka u plamen (slika 4-1). Para reagira sa spojevima koji sadrže ugljik tako da on oksidira (npr. u ugljikov monoksid) prije razaranja veza unutar tih spojeva i njihovog hlađenja uz stvaranje dima.



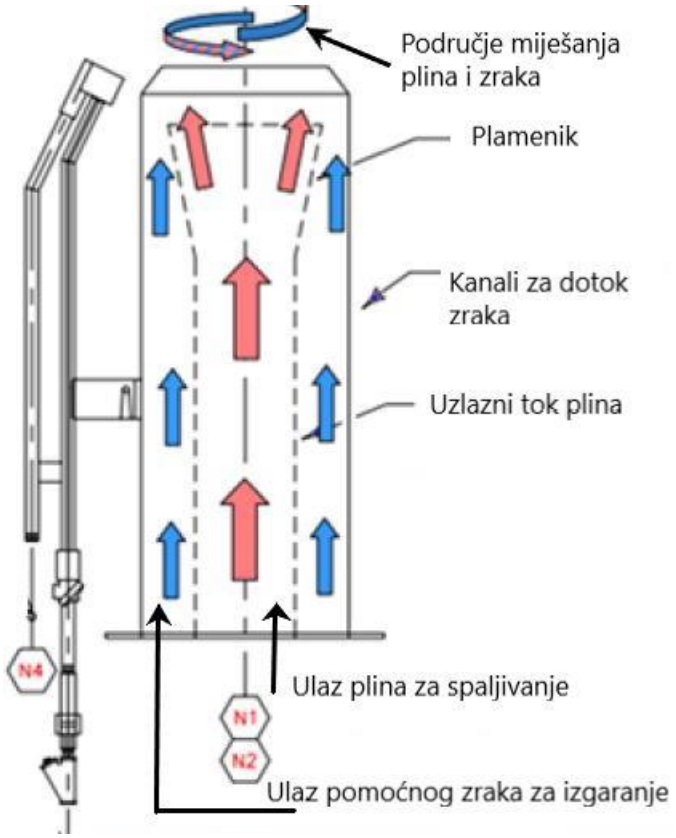
Slika 4-1. Baklja s dovodom pare (Encore Combustion, 2022)

4.1.2. Baklje s dovodom zraka

Ova vrsta baklji (slika 4-2.) koristi prisilni zrak kako bi se osigurao kisik potreban za miješanje s plinom i njegovo izgaranje bez dima. Konstruirane su s plamenikom u obliku pauka opremljenim s mnogo malih plinskih otvora smještenim unutar, ali blizu vrha čeličnog cilindra, promjera 60,96 cm ili više. Zrak za izgaranje se potiskuje kompresorom smještenim na dnu cilindra, a protok se kontrolira mijenjanjem brzine protjecanja. Glavna prednost ovakvih baklji je njena jednostavnost, a koristi se tamo gdje para nije lako dostupna. Korištenje sustava s dovodom zraka preferira se u hladnim područjima gdje bi došlo do smrzavanja pare i začepljenja vrha baklje. Ostale primjene uključuju instalacije na lokacijama gdje postoji nedostatak vode za proizvodnju pare ili gdje plin za spaljivanje reagira s parom (vodom).

Sustav je dizajniran za stvaranje turbulencije u zoni plamena ubrizgavanjem zraka pod niskim tlakom. Potreban višak zraka koji se utiskuje iznosi između 20% i 30% iznad stehiometrijskog odnosa za zasićene ugljikovodike i 30% do 40% za nezasićene ugljikovodike. Stehiometrijski omjer predstavlja minimalnu količinu zraka potrebnu za potpuno izgaranje plina. Zrak pod visokim tlakom također se može koristiti za sprječavanje stvaranja dima. Za to je potrebno utisnuti otprilike kilogram zraka za svaki kilogram

spaljenog plina. Ovaj pristup se rjeđe primijenjuje jer je komprimirani zrak obično puno skuplji od proizvodnje pare.



Slika 4-2. Baklja s dovodom zraka (Park, 2020)

4.1.3. Obična baklja

Njena je uporaba općenito ograničena na struje plina koje zahtijevaju manje zraka za potpuno izgaranje, s niskom entalpijom izgaranja i malim omjerom ugljika i vodika zbog čega plin lakše gori ne stvarajući dim.

4.1.4. Baklje s povećanim tlakom plina

Baklje s povećanim tlakom koriste tlak plina koji struji sustavom do plamenika gdje se plin miješa sa zrakom iz okoline. Ako je dostupan dovoljan tlak izlazne struje plina, ove baklje mogu zamijeniti sustave koji su zahtijevali dodatnu paru ili zrak za izgaranje bez dima. Plamenici s povećanim tlakom plina mogu se koristiti i kod sustava s uspravnim i kod sustava s vodoravnim bakljama.

4.2. Vodoravne baklje

Najčešći tip vodoravne baklje sastoji se od više mlaznica koje se nalaze u zatvorenom prostoru. Glave plamenika zatvorene baklje smještene su unutar kućišta koje je iznutra izolirano. Kućište ima zadaću smanjenja buke, osvjetljenja i toplinskog zračenja, te pruža zaštitu od vjetra. Visok pad tlaka kroz mlaznice smatra se dovoljnim za sigurno miješanje plina koji se spaljuje s okolnim zrakom što je potrebno za gorenje bez dima. Vodoravne baklje su poseban tip običnih baklji. Visina im mora biti dovoljna za adekvatnu opskrbu zrakom kako bi plin izgarao bez dima. Ovakav tip baklji ima manji kapacitet od otvorenih baklji, a primjenjuju se kod neprekidnog konstantnog protoka plina koji se spaljuje. U usporedbi s uspravnim bakljama, kod vodoravnih baklji postiže se izgaranje bez dima, bez buke i emitiranja svijetlosti pod uvjetom da se se ne premaši projektirana brzina protjecanja plina. Ove vrste baklji imaju lošu disperziju produkata izgaranja jer se izgaranje odvija blizu razine tla.

Značajan nedostatak vodoravnih baklji je potencijalno nakupljanje oblaka pare u slučaju neispravnosti baklje čime se ugrožavaju životi radnika. Zbog moguće velike opasnosti, u sustav se uključuju posebni sigurnosni sustavi disperzije. Iz tog razloga je postupak upravljanja i kontrole vodoravnih baklji strožiji nego sustava s uspravnim bakljama.

Kod velikih sustava s vodoravnom bakljom, plinovi s postrojenja dolaze do baklje kroz cijevi velikog promjera (od 50,8 cm do 152,4 cm), i ulaze u paralelno postavljene vodilice s regulacijskim ventilima. Svaka vodilica, čiji promjeri variraju od 30,48 cm do 60,96 cm, povezuje do 50 plamenika. Ovisno o broju vodilica, baklja se može sastojati od par stotina ili čak par tisuća plamenika. Plamenici i vodilice su razmaknuti tako da sprječavaju izravan sudar plamena te kako bi se omogućio protok zraka između.

Za različite brzine protoka koristi se stupnjeviti sustav kojim se osigurava viši ulazni tlak u plamenik čime se povećava učinkovitost gorenja bez dima. Tlak plina na ulazu u plamenik je obično između 2,25 i 3,43 bara. Plin koji dolazi u plamenik pod nižim tlakom spaljuje se u prvom stupnju koji je otvoren prema atmosferi i zaštićen barijerom konusnog oblika koja spriječava prodor zraka u baklju, dok se plin pod višim tlakom preko regulacijskog ventila preusmjeruje na druge plamenike (drugi stupanj). U slučaju da se regulacijski ventil ne otvori, uokolo ventila se postavlja premosnica za održavanje protoka rasterećenog plina do plamenika. Premosnica je opremljena rupturnim klinovima, posebnim ventilima za rasterećenje ili rupturnim diskovima koji se otvaraju na odgovarajući tlak.

Kod visokotlačnih sustava, izgaranje bez dima se ostvaruje korištenjem kinetičke energije plina velikog tlaka za uvlačenje i miješanje zraka. Prostor oko vodoravnih baklji je okružen visokim ogradama visine do 18,3 metara koje služe kao zaštita od vjetra, omogućavajući normalno miješanje zraka i plina (slika 4-3.). Konstrukcijski se nastoji osigurati da visina na kojoj se nalazi plamen bude manja od visine ograde, čime se blokira pogled na plamen i smanjuje izloženost zračenju za dvije trećine. Ipak, radijacija uz ogradu je dovoljno visoka da se zahtijeva zabrana boravka radnog osoblja u toj zoni. Za razliku od zatvorenih baklji, ograda ne pruža značajno prigušenje buke.



Slika 4-3. Vodoravna baklja s ogradom (Made-in-China, 2022)

Zatvorene baklje (slika 4-4) su tip vodoravnih baklji koje su omeđene sa svih strana, odnosno baklja je potpuno zatvorena i nalazi se unutar strukture (kućišta). Takav sustav uvelike smanjuje onečišćenje bukom, blokira radijaciju i emitiranje svjetlosti. Prednost ovakvih baklji je što zbog visine, struktura omogućuje duže vrijeme zadržavanja i miješanja zraka s plinom što pospješuje gorenje bez dima.

Količine plina spaljenog preko zatvorene baklje mogu varirati od 586,14 kW (otprilike 36,28 kg/h na temelju niže ogrjevne vrijednosti) pa sve do 2930710,38 kW (otprilike 1814369,48 kg/h). Velike baklje dosežu promjere do 21,34 metara i visine od 36,58 metara. Unutrašnjost kućišta je toplinski izolirana pločama od keramičkih vlakana.



Slika 4-4. Zatvorena baklja (Zeeco, 2022)

5. MOGUĆNOSTI SMANJENJA KOLIČINE SPALJENOG PLINA

Zbog ekonomskih i ekoloških razloga, danas se nastoje smanjiti količine plina koje se spaljuju, odnosno maksimalno iskoristiti potencijal plina. Smanjenjem spaljenih količina i njegovim korištenjem u druge svrhe uvelike se smanjuju emisije štetnih plinova, zagađenje zraka, onečišćenje bukom, toplinsko zračenje, troškovi rada i održavanja sustava za obradu i spaljivanje plina.

Postoji niz metoda za smanjenje spaljivanja korištenjem plina u druge svrhe kao što su:

- Prikupljanje i transportiranje do najbliže sabirno-otpremne stanice

- korištenje plina kao goriva
- korištenje plina kao sirovine u petrokemijskoj proizvodnji

- Prikupljanje i utiskivanje plina u:

- naftno ležište za povećanje naftnog iscrpka
- ležišta mokrog plina za poboljšano crpljenje
- plinsku kapu za podržavanje tlaka
- rafinerijske cjevovode

- Pretvorba plina u kapljevinu (engl. *Gas-to-liquid*)

a) pretvaranje u ukapljeni naftni plin (UNP)
b) pretvaranje u ukapljeni prirodni plin (UPP)

- Pretvorba plina u električnu energiju

Odluka hoće li se plin spaliti ili daljnje obraditi i iskoristiti na neki od prethodno navedenih načina uvelike ovisi o tržišnoj cijeni plina odnosno o ekonomskoj isplativosti dodatne obrade plina. Današnje cijene energenata pa tako i plina sigurno govore u prilog opciji iskorištenja plina na neki od opisanih načina umjesto njegovog spaljivanja,

6. ZAKLJUČAK

Danas je spaljivanje plina prepoznato kao vrlo važno ekološko i ekonomsko pitanje na koje se još uvijek traži pravi odgovor. Globalno partnerstvo za smanjenje spaljivanja plina (Global Gas Flaring Reduction Partnership, GGFR) sastavljeno je od vlada, naftnih kompanija i multilateralnih organizacija sa zajedničkim ciljem okončanja rutinskog spaljivanja plina na bakljama na lokacijama diljem svijeta. GGFR sa svojih 33 partnera (17 vlada, 13 naftnih kompanija, 3 organizacije) dijele najbolje globalne prakse, provode zakonsku regulativu specifičnu za određenu zemlju i rade na rješenju zajedničkog izazova smanjenja spaljivanja plina.

Tijekom posljednja dva desetljeća za precizno mjerenje količine spaljenog plina u naftnoj industriji počeli su se koristiti vojni sateliti i sofisticirani računalni programi što je rezultiralo povećanjem pouzdanosti, potpunosti i točnosti podataka o spaljivanju.

U Norveškoj se još od 1993. godine primijenjuju zakoni koji se odnose na mjerenje količina spaljenog plina s ciljem izračuna poreza na CO_2 generiranog u naftnim aktivnostima.

Alberta, jedna od deset provincija u Kanadi, definira ograničenje ukupne godišnje količine spaljenog plina na baklji. Zakonskom regulativom se postavlja godišnja granica količine plina koji se spaljuje na baklji na 670 milijuna m^3, s tim da kombinirani volumen spaljenog i ispušnog plina ne smije preći 500 m^3 dnevno po postrojenju.

Stroža zakonska regulativa i uvođenje novih načina korištenja plina koji se spaljuje kao što je prikupljanje i utiskivanje plina (u naftno ležište, ležišta mokrog plina, plinsku kapu i rafinerijske cjevovode), prikupljanje i transport do najbliže sabirno-otpremne stanice, korištenje plina kao goriva ili kao sirovine u petrokemijskoj proizvodnji te pretvorba u kapljevinu odnosno električnu energiju, predstavljaju dobar način rješavanja problema spaljivanja. Uz to i postojeće cijene energenata možda je konačno vrijeme da se ovaj problem trajno riješi.

7. POPIS LITERATURE

1. EMAM, E., 2015. Gas flaring in industry: an overview. Suez University, Egipat.

2. CHEREMISINOFF, N., 2013. Industrial gas flaring practices, Scrivener Publishing

3. PERIĆ, M. , 2007. Englesko-hrvatski enciklopedijski rječnik istraživanja i proizvodnje nafte i plina. Zagreb: INA Industrija nafte d.d.

4. BAHADORI, A., 2014. Natural gas processing technology and engineering design. School of Environment, Science and Engineering, Southern Cross University.

5. VALLAVANATT, R., 2020. Gas flare systems—Last line defense. Izvješće. Houston, Texas: Bechtel Oil, Gas & Chemicals Inc.

6. PAPAS, M., SMITH, S., ZINK, D., PALFREEMAN, N., 2010. Principals of flaring combustion and ways to minimize emissions and smoke design and case study of a new air injection system for upgrading exisiting flares into smokeless flaring. Society of Petroleum Engineers.

7. API STANDARD 521, sixth edition, 2014. Pressure-relieving and depressuring systems

8. AL-BLAIES, W., 2011. 7th gas Arabia summit, Muscat, Oman

9. PARK, C., 2020. Flare system design for oil and gas installations., Milton Keynes Regional Committee.

Internet izvori:

10. THE WORLD BANK, 2022. Global gas flaring reduction partnership (GGFR), URL: https://www.worldbank.org/en/programs/gasflaringreduction/global-flaring-data (19.8.2022.)

11. CANADIAN ASSOCIATION OF PETROLEUM PRODUCERS, 2022. URL: https://www.capp.ca/explore/flaring-and-venting/ (20.8.2022.)

12. ENCORE COMBUSTION, 2022. Steam assisted flares, URL: https://encorecombustion.com/steam-assist-smokeless-flares/?cn-reloaded=1 (31.8.2022.)

13. ZEECO, 2022. Enclosed ground flare, URL: https://www.zeeco.com/products/flares/ground-enclosed (1.9.2022.)

14. THE PIPING TALK, 2022. URL: https://thepipingtalk.com/flare-system-part-%E2%85%A1-type-of-flare/ (1.9.2022.)

15. MADE-IN-CHINA, 2022. Open ground flare,

URL:https://711rngcb.en.made-in-china.com/product/fsumzPBAuGct/China-Open-Ground-Flares.html (1.9.2022.)

IZJAVA

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno temeljem znanja stečenog na Rudarsko-geološko-naftnom fakultetu služeći se navedenim referencama.



Juraj Šafarek

KLASA: 602-01/22-01/110
URBROJ: 251-70-12-22-2
U Zagrebu, 05.09.2022.

Juraj Šafarek, student

RJEŠENJE O ODOBRENJU TEME

Na temelju vašeg zahtjeva primljenog pod KLASOM 602-01/22-01/110, URBROJ: 251-70-12-22-1 od 01.05.2022. priopćujemo vam temu završnog rada koja glasi:

SPALJIVANJE PLINA TIJEKOM PROIZVODNJE NAFTE

Za mentoricu ovog završnog rada imenuje se u smislu Pravilnika o izradi i ocjeni završnog rada Prof.dr.sc. Katarina Simon nastavnik Rudarsko-geološko-naftnog-fakulteta Sveučilišta u Zagrebu i komentoricu dr.sc. Katarina Žbulj.

Mentorica:

(potpis)

Prof.dr.sc. Katarina Simon

(titula, ime i prezime)

Predsjednik povjerenstva za završne i diplomske ispite:

(potpis)

Izv.prof.dr.sc. Luka Perković

(titula, ime i prezime)

Komentorica:

(potpis)

dr.sc. Katarina Žbulj

(titula, ime i prezime)

Prodekan za nastavu i studente:

(potpis)

Izv.prof.dr.sc. Borivoje Pašić

(titula, ime i prezime)