

Skifferkokseldade destillations- och ångkraftverk med biproduktanläggningar

BERGSINGENJÖR SVEN V BERGH, STOCKHOLM

I mitten av maj 1941 igångsattes landets första större skifferoljeverk i Kinne-Kleva och ungefär ett år senare ett motsvarande verk i Kvarntorp i Närke, båda anläggningarna bearbetande ca 1 000 ton skiffer per dygn. Anläggningarna äro uppförda enligt den Berghska metoden, varigenom förutom olja och högvärdig gas även ånga och kraft produceras. Bränslet, som därvid uteslutande kommer till användning, utgöres av den vid destillationen bildade varma skifferkoksen. Kvarntorpsanläggningen innesluter dessutom anläggningar enligt andra system, varav de båda största vardera bearbeta ca 500 ton skiffer per dygn. Dessa destillationsugnar äro gaseldade, och skifferkoksen nyttiggöres härvid icke.

Såväl i Kinne-Kleva som i Kvarntorp brytes skiffern i öppna dagbrott. Därvid använder man sig av grävmaskiner för lastningen. Det brutna berget, som utgöres av skiffer och orsten, transporteras i Kinne-Kleva med lokdrivna tippvagnar, i Kvarntorp med bilar. I sin fortsatta gång till ugnarna krossas det brutna berget, och orsten bortplockas från skiffern. Finkrossning ned till 30 mm sker i Kinne-Kleva medelst valskrossverk,

i Kvarntorp hammarkrossar. På båda platserna avskiljes stybb under 5 mm styckestorlek, som tills vidare går till tippen.

Sedan mer än ett år tillbaka ha emellertid undersökningar pågått vid Kinne-Klevaverket att brikettera stybben för att kunna nyttiggöra den i ugnarna. Det har därvid visat sig, att skiffers mineraliska beståndsdelar vid tillräcklig finmalning och efter lämplig fuktning låta sig sammanbaka och forma till kulor (noduler), som efter torkning med rökgaser till ca 5 % fuktighetshalt äro så hårda, att de utan söndermulning låta sig destilleras och förbrännas tillsammans med den grövre skiffern i de Berghska ugnarna. Särskilt vintertid komma dessa noduler att tillföra skifferchergen den erforderliga mängd torrt material, som är önskvärd för god ugnsgång. Ett verk för framställning av noduler av skifferstybben är i det närmaste färdigprojekterat och kommer med det snaraste att uppföras i Kinne-Kleva. Detta verk består av en finfördelningskvarn av lämplig konstruktion, kombinerad med vindsikt och torkningsanordning med varma rökgaser. Såsom praktiseras vid torra metoden inom cementindu-

Fig. 1. Totalvy av skifferbrottet med centralt belägen rangeringsbangård; till vänster grävmaskiner i arbete i den ca 500 m långa brytfronten.



strien, komma även här noduler att framställas genom den förmalda massans fuktning, formning i tromlar och torkning på vandrande rost.

Kinne-Klevafyndigheten, såsom den för närvarande brytes, är belägen ovan den s.k. olenusbanken, "tjocka berget". Den täckes av ett 1,2 m tjockt jordlager och har en mäktighet av ca 8 m, varav 3,6 m utgöres av orsten, spridd i linser och sammanhängande lager. Enligt Sveriges Geologiska Undersökning är genomsnittsoljehalten enligt Fischer i denna flöts 4,5 %. Motsvarande siffror för Kvarntorp äro jordtäckning 2,6 m, skifferflötsens mäktighet 7,4 m, varav 1,3 m orsten, medeloljehalten 6,7 %.

Flottans Skifferoljeverk vid Kinne-Kleva består av gruvsmedja, grov- och finkrossverk, sovringsverk, tvenne ugnshus med anslutna kondensationsanläggningar, rökgaskanaler och skorstensanläggningar, i vilka La Monts avgasångpannor inbyggts, kraftverk, svavelverk, toppningsanläggningar för råoljor, gasbensinverk, arbetande enligt adsorptionsprincipen, centrifuganläggning för avskiljande av olja ur avloppsvatten, transportanordningar för skiffer och aska, skrapspel för askans uppläggande i tipp, vattenpumpverk med rörledningar och högvattenbehållare, transformatorstation, mekanisk, elektrisk och snickareverk-

stad, laboratorie- och administrationsbyggnad, garage, förråd, oljebhållare, tankvagnar samt arbetarbostäder och marketenteri. Verket har i sin helhet kostat omkring 11,5 milj. kr.

Fig. 1—14 visa några bilder från olika delar av Kinne-Klevaverket. Skorstenarna, fig. 4, äro av specialutförande och 50 m höga. Rökgaserna, som hålla ca 0,3 volymprocent SO_2 , ha icke vållat någon skada på vegetationen. Skifferaskan håller en viss del bränd kalk, och det har visat sig ända målsenligt att låta avloppsvattnet från verket rinna genom askan för att därur ta bort en del skadliga beståndsdelar, såsom H_2S , fenoler m. m.

Det Berghska ugnssystemet, såsom det utformats i Kinne-Kleva och i Kvarntorp, består av i ugnsblokk sammanförda rektangulära kammare, som i sina övre delar äro försedda med nedhängande retortinsatser, och vid sidorna av dessa äro liggande ångpannor anordnade. Ånga från de senare, som äro utförda som tvångscirkulerande lågtrycksstrålningsångpannor, ledes till retorterna. I sina nedre delar äro kamrarna utbildade till förbränningsrum med anslutna vattenförvärmare och intermittert arbetande utmatningsanordningar. Chargeringsbehållarna, som mynna i retorterna, äro numera stängda med lock; retorterna äro öppna nedåt mot eldstaden. Centralt i

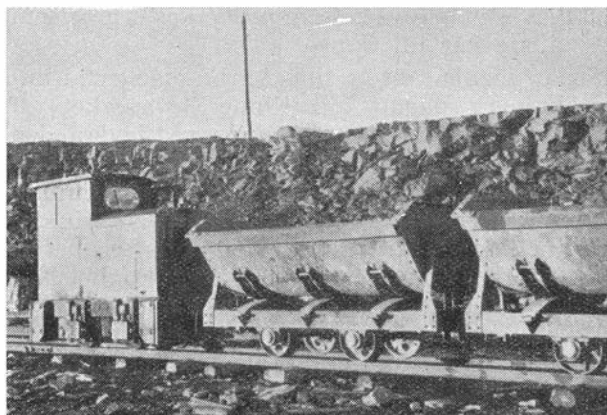


Fig. 2. Tippvagnar om 2 m³ rymd från Norbergs Mekaniska Verkstad för lastning från grävmaskiner. Vagnarna väga 1 450 kg och lasta 2 400—2 800 kg berg.

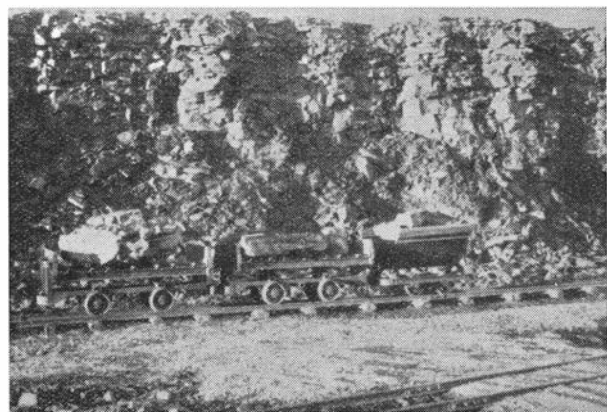


Fig. 3. Specialvagn från Norbergs Mekaniska Verkstad för lastning av stora orstensblock från s.k. tuppkranar.

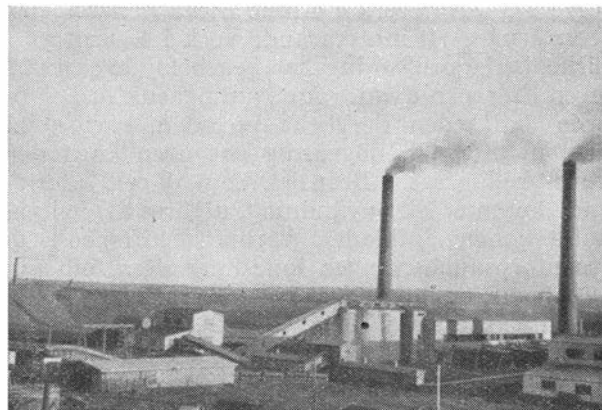


Fig. 4. En del av skifferoljeverket; till vänster grov- och ena finkrossverket; till höger skiffersilos, ett ugnshus och andra finkrossverket.

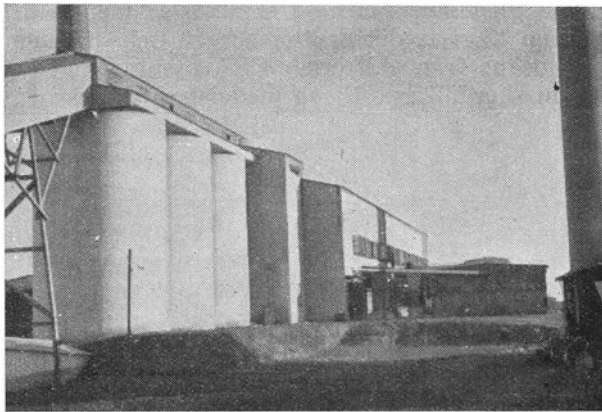


Fig. 5. Silosanläggning av betong och ugnshus av eternit på träkonstruktion. Invid ugnshuset delar av kondensationsanläggningen.

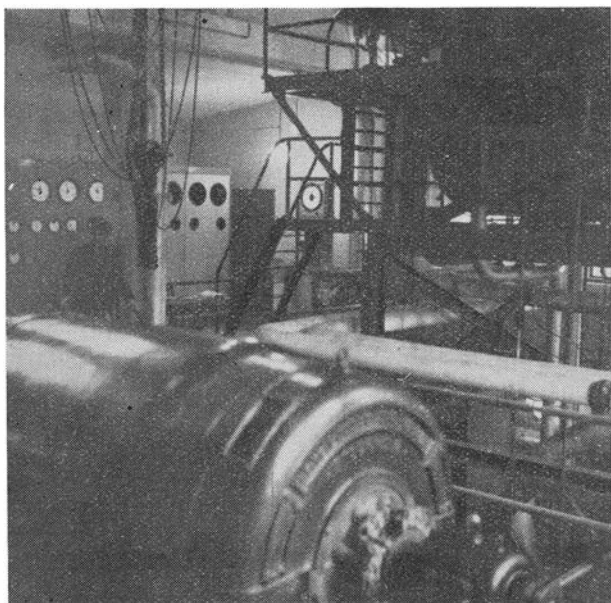


Fig. 6. Interiör av kraftstationen.

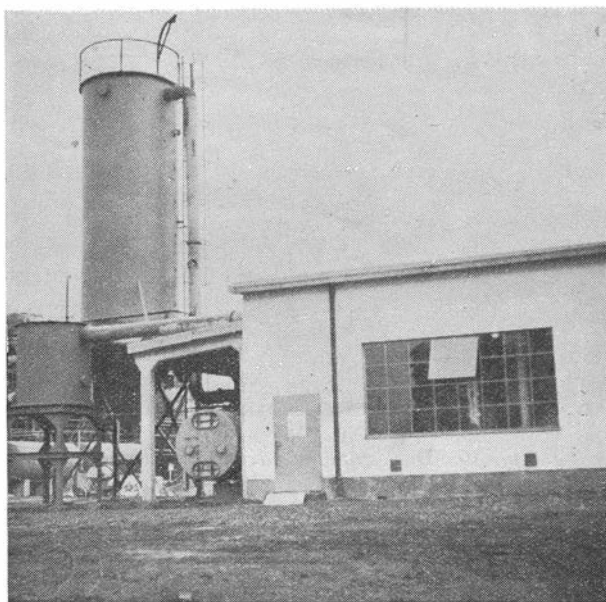


Fig. 8. Gasbensinläggningen med svavelreningstorn och förfilter.

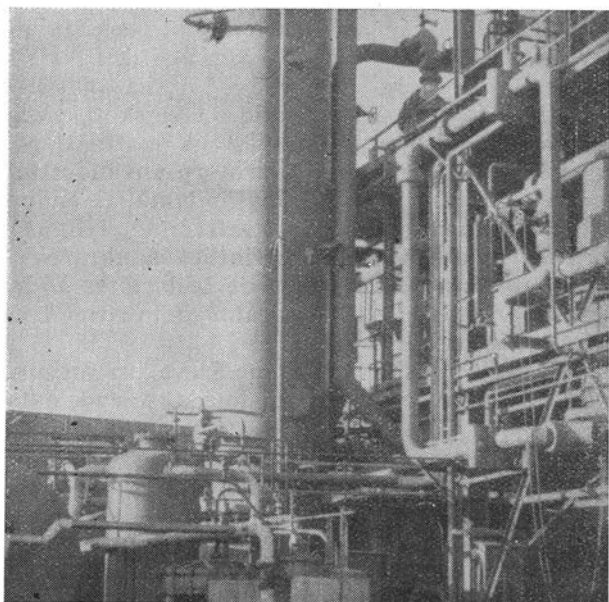


Fig. 7. Delar av svavelverket med polysulfidanläggningen.

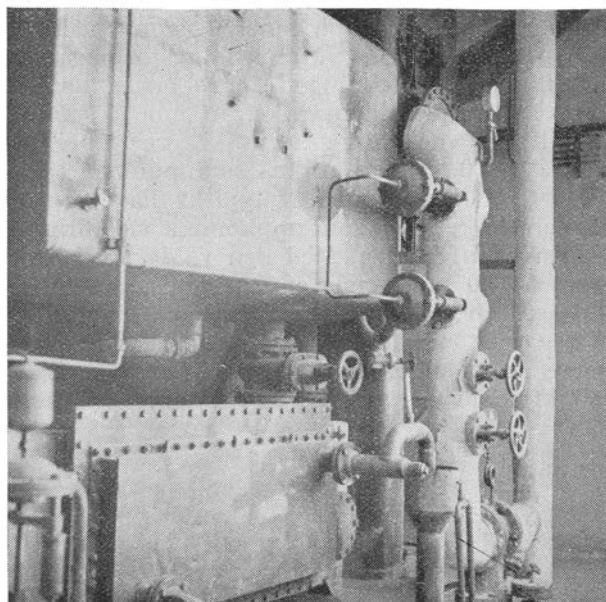


Fig. 9. Interiör av gasbensinläggningen.

retortrören äro anbragta utsugningsrör för gas och oljeångor samt inuti sugrören och mynnande längre ned i retorterna än dessa ångrör. Ugnsblocken äro anordnade i rader med till varje rad hörande gemensam rökgaskanal. I Kinne-Kleva ledas rökgaserna från varje rad till en skorsten. I Kvarntorp ha alla fyra raderna en gemensam 100 m hög skorsten. I rökgaskanalerna äro inbyggda La Monts högtrycksångpannor. För närvarande är kondensationssystemet för oljegaserna utfört för för-kylning till $+70^{\circ}\text{C}$ samt efterkylning till $+25^{\circ}\text{C}$. Efter kylarna är ett för hela verket gemensamt elektrofilter av Aseas fabrikat inmonterat för avskilning av de finaste oljepartiklarna. Kylningen sker i vid varje ugnblock anordnade mindre luft- och vattenkylare, men dessa komma framdeles att anordnas centralt för

hela ugnshuset och utgöras av kondensationssystem med varm- och kallvattenkylning under utnyttjande av den Rosenbladiska värmeväxlaren.

Skiffern, som genom chargeringsbehållarna bringas att nedgå genom retortrören med utmatningsanordningar i kamrarnas botten, kommer sålunda att destilleras i relativt tunna skikt och ur retortrören nedfalla i eldstaden. Då skifferbituminet först över 270°C krackas till olja och gas, avges dessa icke i nämnvärd grad förrän i retorternas nedre delar, där den hastigt ökade temperaturen även låter krackningen försiggå i stigande tempo. Den i retortunderdelen inledda ångan avgasar än ytterligare skiffern under riklig bildning av vätesvavla samt möjliggör dessutom, att de högkokande tunga oljorna av hög molekylarvikt kunna avledas ur retorterna

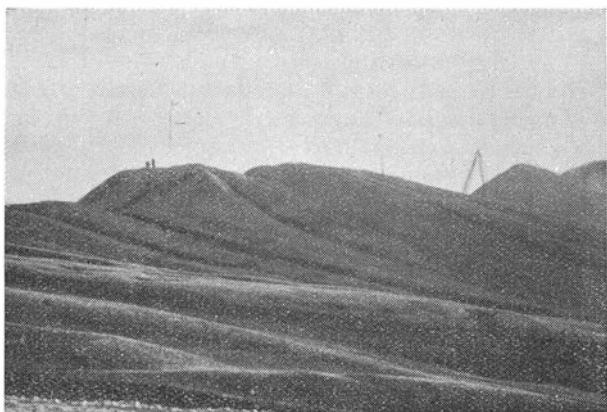


Fig. 10. Den ständigt växande asktippen.

vid relativt låg temperatur utan nämnvärda sönderdelningar och avsättningar. Retortrören upphettas utvändigt genom värme från det invid retortmynningen liggande glödande koksskiktet samt från förbränningsgaserna och från väggarnas murverk. Värmet i retortväggarna överföres i huvudsak till skiffern genom strålning. I skifferbitarna ingår värmet genom ledning. Kinne-Klevaskiffers värmeledningsförmåga parallellt med skickningen har fastställts till 0,61 kcal/m/h/grad och vinkelrätt mot skickningen till 0,46 kcal/m/h/grad. Skiffers specifika värme är 0,268 och askans smältpunkt 1 150—1 200°C. I fig. 15 visas ett typiskt diagram över temperaturer m.m., som uppkomma vid förbränning av skifferkoks. Med den valda styckestorleken 5—30 mm ernås en hastig destillation av skiffern och förbränning av koksen. Genom nedkrossningen till denna styckestorlek vinnes att större delen av bitarnas volym koncentreras till ytskiktet, varvid ca 80 % av bituminet och kolet

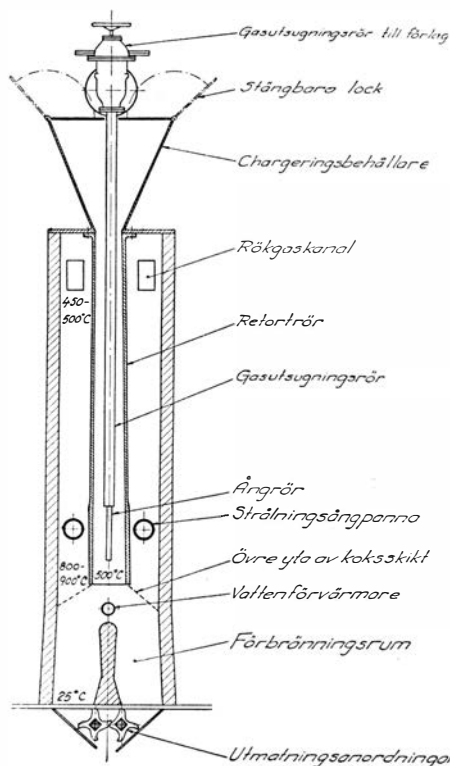


Fig. 11. Schema-tisk sektion av en ugnskammare.

i koksen kunna utnyttjas, se fig. 16. För att undvika att oljegaser förloras i retorternas nedre öppna ända insuges vid normal drift en mindre mängd rökgaser från fyren. Syrehalten hos dessa rökgaser är låg, varför destillationsgasen kommer att hålla blott 0,4 volymsprocent O_2 . Den genom rökgasen tillförda kvävehalten möjliggör att den kolväterika destillationsgasen, sedan olja och svavel avskilts, genom spaltning och konvertering kan överföras till syntesgas för ammoniakframställning. Skifferkoksen i eldstaden förbrinner utan flamma och i ett tämligen tunt skikt, ca 80 mm, varvid en temperatur av 800—900°C ernås. Innan askan lämnar eldstadsrummet avger den sitt värme till den nedifrån kommande förbränningsluften.

Efter nu slutförda försök komma lågtrycksångpannorna i ugnsblocken att omändras till tvångscirkulerande högtrycksångpannor i likhet med de befintliga avgasångpannorna enligt La Monts system, se fig. 17. Ångan från samtliga högtrycksångpannor kommer att överhettas och först ledas genom en ångturbin, försedd med generator. Avtappningsångan av 3 atö tryck användes dels som tillsatsånga i retortrören, dels för kokändamål. Den genererade elektriska energien användes i första hand för verkets drift. Vid Kinne-Klevaverken förbrukas f.n. ca 500 kW nattetid och 700 kW dagtid. Överskottsenergi matas på Gullspång—Trollhättans kraftnät. Såväl i Kinne-Kleva som i Kvarntorp användes f.n. destillationsgasen för eldningsändamål; i Kinne-Kleva i samband med ångkraftverket, i Kvarntorp ävenledes vid där befintligt ångkraftverk men dessutom för att förse de båda efter andra system arbetande skifferoljeanläggningarna med erforderligt tillsatsbränsle.

Till varje ugnshus vid Kinne-Kleva äro anslutna två La Mont-avgaspannor med nedanstående data:

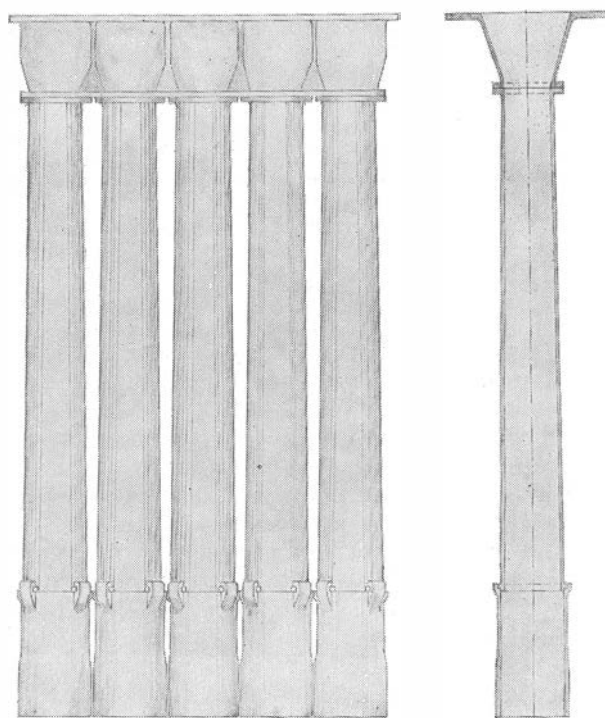


Fig. 12. En retortinsats.

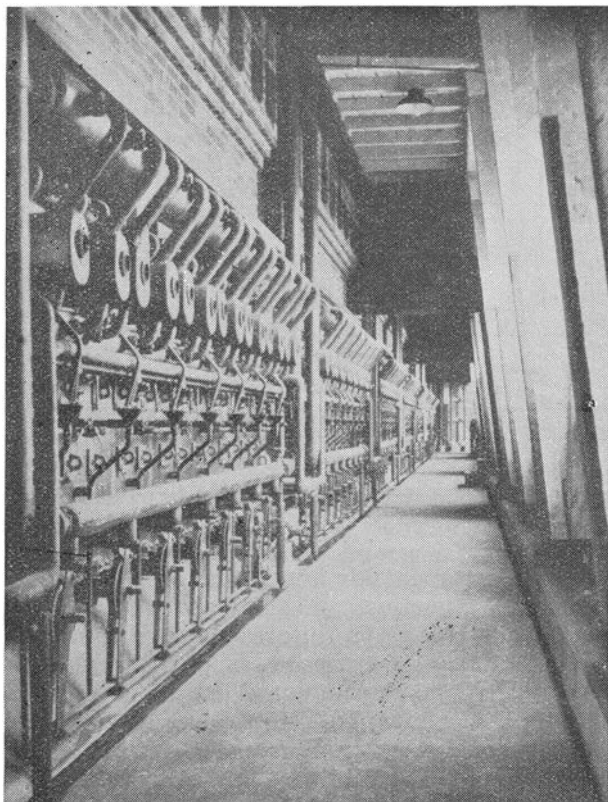


Fig. 13. En ugnsråd.

Huvuddata för västra ugnshusets pannaggregat:

Eldyta per panna	295 m ²
Överhettaryta per panna	35 m ²
Högsta tillåtna ångtryck	25 atö
Ångtemperatur vid normal belastning	375°C
Normal rökgasmängd per panna	35 100 Nm ³ /h
Rökgastemperatur: ingående	600°C
utgående	320°C
Normal ångmängd per panna vid tillsats-eldning med gas (inkl. gasbensin)	5,2 t/h
Matarvattentemperatur	105°C

Huvuddata för östra ugnshusets pannaggregat:

Eldyta per panna	468 m ²
Överhettaryta per panna	40 m ²
Högsta tillåtna ångtryck	25 atö
Ångtemperatur vid normal belastning	320°C
Normal rökgasmängd per panna	30 000 Nm ³ /h
Rökgastemperatur: ingående	400°C
utgående	245°C
Normal ångmängd per panna	2,55 t/h
Matarvattentemperatur	135°C

Dessa pannaggregat äro vardera utrustade med två stycken gasbrännare för förbränning av den numera från gasbensinanläggningen kommande rengasen.

Vid prov med normal belastning med pannorna I och II till västra ugnshuset, varvid ca 400 ton skiffer bearbetades per dygn, erhöles en total ångmängd av 9,7 t/h.

Från överhettaren på panna I erhöles en ångmängd av 4,9 t/h med ett tryck av 23,3 atö och en temperatur av 391°C samt från panna II en ångmängd av 4,8 t/h med ett tryck av 23,5 atö och

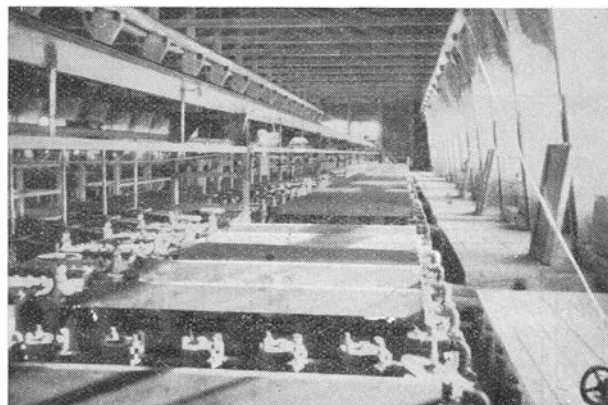


Fig. 14. Ena ugnshusets chargeringshall.

en temperatur av 405°C. Matarvattnets temperatur uppmättes därvid till 142°C. Avgående rökgaser från ugnshuset hade före panna I en temperatur av 425°C och före panna II en temperatur av 435°C.

Genom förbränning i gasbrännarna av den då från svavelverket kommande rengasen uppnåddes före överhettaren vid panna I 520°C och vid panna II 530°C. Den från pannorna avgående rökgasen hade vid panna I en temperatur av 290°C och vid panna II en temperatur av 300°C.

Den för förbränningen i gasbrännarna införda rengasmängden utgjorde 1 420 Nm³/h.

För den till ångpanneanläggningen anslutna turbinen, som är av de Laval's tillverkning, kunna följande data anges:

Tekniska data:

Admissionstryck	22 atö
Admissionstemperatur	360°C
Avtappningstryck	3 atö
Kylvattenmängd	120 m ³ /h
Maximal ångmängd: högtrycksdelen	13 t/h
lågtrycksdelen	7 t/h
Generator	6 300 V, 50 p/s, cos φ = 0,8, 1 750 kVA

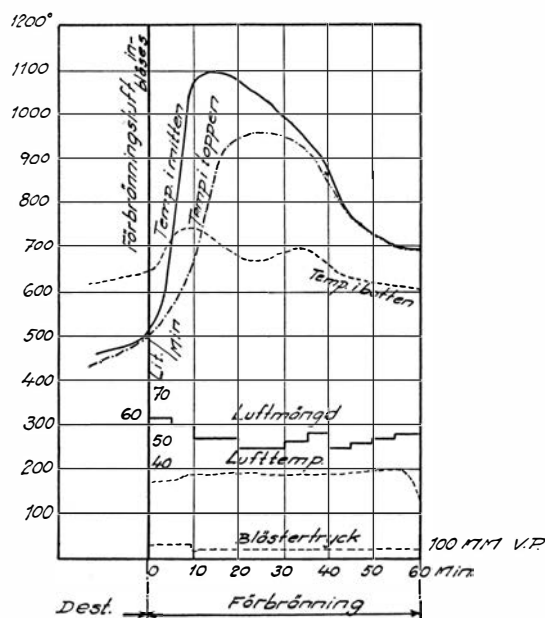


Fig. 15. Förbränningsdiagram för skifferkoks.

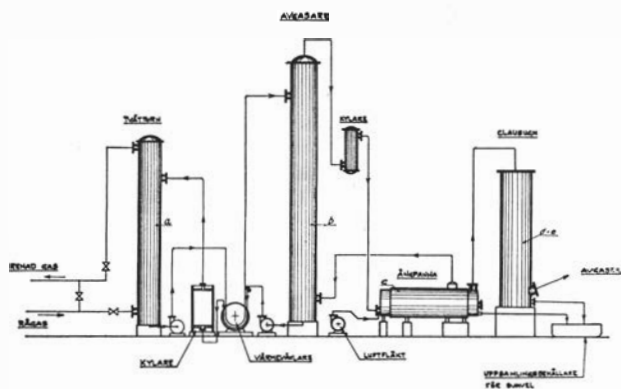


Fig. 18. Schematisk bild av svavelverket.

denna senare tar skada därav. Vissa gasbeståndsdelar, t.ex. syre, HCN, SO₂, inverka menligt på luten, i det dess regenererbarhet genom närvaron av dessa ämnen nedsättes. Då gaserna i Kinne-Kleva tidvis innehålla låga halter av de sistnämnda sura beståndsdelarna, har en förtvätt, arbetande med alkalipolysulfidlösning som tvättvätska, installerats, varigenom den menliga inverkan av dessa föreningar kunnat elimineras.

Alkacidprocessens ekonomi bestämmes huvudsakligen av ångförbrukningen. Metoden bygger på användning av värmeväxlare, vari den varma regenererade lutens värme överföres till den kalla mättade luten, och därigenom avsevärd ångbesparing göres. I Kinne-Kleva-anläggningen har värmeeconomien ytterligare avsevärt kunnat förbättras, genom bl.a. användande av de högeffektiva Rosenbladiska spiralvärmeväxlarna. Genom att använda Rosenbladapparater även till kondensorer och lutkylare ha även betydande mängder kylvatten kunnat sparas.

I sin helhet har svavelverket visat sig vara lättskött, kräva minimal arbetsstyrka samt producera ett synnerligen högvärdigt svavel. Kombinationen med den Berghska oljeframställningsmetoden är utomordentligt gynnsam, då de huvudsakliga förbrukningsartiklarna, ånga och kraft, utgöra biprodukter från skifferdestillationsverket.

Analyser på svavel tillverkat vid Flottans Skifferoljeverk på Kinnekulle.

	8 okt. 1941	29 mars 1942
Svavel	99,93	99,92
Vatten	0,035	0,055
Järnoxid	0,016	0,001
Aska	0,0206	0,002
Syra	saknas	saknas
Arsenik	saknas	saknas
Selen	saknas	saknas
Bitumen + aska	0,0252	0,0195
Olösligt i natriumsulfid	0,0168	0,0108
Olösligt i kolsvavla	0,062	1,135
Färg	rent gul	rent gul med brunaktig rand

Den i slutet av året 1942 färdigställda gasbensinanläggningen arbetar efter adsorptionsförfarandet enligt firma Silica Gel Gesellschafts helautomatiska system med tvåstegsdrift. Som ad-

sorptionsmedel användes silicarbon, vilket utgör en speciell kombination av aktiv kiselsyra och aktivt kol.

Anläggningen, fig. 19, består av två växelvis arbetande adsorbatorer, vilka innehålla silicarbonmassa. Genom elektriskt styrda pneumatiska ventiler ledes gasströmmen växelvis genom den ena resp. den andra adsorbatorn, varvid den i gasen befintliga gasbensinen adsorberas. Bensinen drives sedan ut genom desorption medelst ånga. Ånga- och vattenångblandningen kondenseras, och bensinen tillföres lagerbehållaren. Den erhållna bensinen har en specifik vikt av omkring 0,73.

Innan gasen behandlas i silicarbonanläggningen, befrias den från resterande H₂S-halt i järnhydroxidfilter. I ett förfilter avlägsnas därefter en del skadliga kemiska föroreningar ur gasen.

Anläggningen arbetar, som redan nämnts, helautomatiskt genom att alla impulser för öppnande och stängande av de pneumatiskt manövrerade ventilerna komma från ett elektriskt centralinstrument, varigenom de olika arbetstakternas längd (adsorption—desorption) kan inställas allt efter skiffrens resp. gasens kvalitet. Särskild driftpersonal erfordras icke, och skötseln består endast i tillsyn ett par gånger per skift. Gasbensinanläggningen bildar en sluten enhet för sig, skild från den övriga delen av skifferverket.

Ångåtgången uppgår till ca 3 kg för 1 kg bensin och effektbehovet till 1,5 hk.

Verkets avloppsvatten kommer huvudsakligen från kondensationssystemen och håller tidvis enligt undersökningar bl.a. 0,3—0,5 % olja. Denna oljas specifika vikt varierar och har visat sig ligga både över och under 1. Härigenom är det icke möjligt att direkt skilja vattnet från oljan genom sedimentering eller centrifugering.

Genom att tvätta vattnet med bensin får man emellertid två faser med sådan skillnad i specifik vikt, att separering är möjlig. Den vid toppningen av skifferoljan erhållna bensinen har visat sig mycket lämplig som tvättmedel, särskilt som den kan återvinnas i redan befintlig anläggning genom destillering av den vid separeringen erhållna oljebensinblandningen.

Problemet att uppnå effektiv uttvättning av

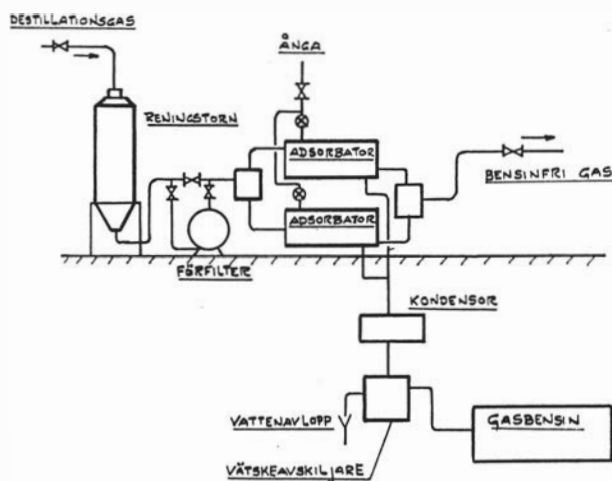


Fig. 19. Schematisk bild av gasbensinanläggningen.

oljan med minsta möjliga kvantitet bensen har lösts på följande sätt. Avloppsvattnet matas in i en vanlig centrifugalpump, som köres baklänges för erhållande av möjligast kraftiga turbulens. Pumpens kapacitet är rikligt tilltagen. Genom strypning av ledningen på trycksidan tvingas vätskan att passera pumpen relativt långsamt, varigenom den utsättes för kraftig vispning. En ledning för rundpumpning har jämväl anordnats.

Den behandlade vatten-oljeemulsionen har visat sig vara mycket lättseparerad. Genom behandling i en de Laval separator erhålles vatten, som är praktiskt taget fritt från olja.

På grundval av nämnda försök har sedan en reningsanläggning för skifferoljeverket konstruerats. Anläggningen omfattar bl.a. apparater för dosering av bensen, två pumpar — varav en i reserv — för uttvättning av oljan, två de Laval separatorer, två pumpar — varav en i reserv — för pumpning av det renseparerade vattnet upp till askhögarna samt pumpar för pumpning av olje-bensinblandningen från separatorerna till samlingstank. Den behandlade vattenkvantiteten beräknas till ca 300 m³ per dygn och effektbehovet till 26 hk.

Reningsanläggningen är i det närmaste färdigmonterad och kommer inom kort att sättas i drift.

Jämsides med skifferoljetillverkningen bedrivs vid oljeverkets laboratorium ett ingående forskningsarbete för att skapa ytterligare möjligheter för oljans förbilligande.

Laboratoriet har nyligen kompletterats med tvenne försöksanläggningar i teknisk skala, som uppförts för närmare studium av destillationsgasen. Den ena försöksanläggningen arbetar enligt samma metod, efter vilken gasbensinen utvinnes, dvs. adsorptionsmetoden med silicarbon som adsorptionsmedel. Utförda experiment ha visat, att man enligt denna metod förutom gasbensin kan utvinna ca 8 volymprocent av gasens volym i form av gasol med ett värmevärde av 20 460 kcal/Nm³ (gasform). Årsproduktionen av dylik gasol skulle f.n. utgöra ca 1 milj. m³ per år. Gasolen är ett utmärkt bränsle för motorfordon, kan användas för gassvetsning samt för framställning av carbon black.

Den andra försöksanläggningen, som ännu ej är helt färdigmonterad, arbetar enligt Lindes

kompressions-kylningsförfarande. Enligt beräkningar, utförda vid Linde's Eismaschinen A. G., München, kan gasen med denna metod uppdelas i komponenter enligt nedanstående tabell:

	Rågas vol. %	Restgas I vol. %	Restgas II vol. %	Gasol vol. %	Bensen vol. %
Väte	15,9	18,2			
Kväve	45,7	52,5	12,8		
Koloxid	2,0	2,3			
Syre	0,3	0,3			
Metan	19,5	22,0	14,1	0,6	
Etylen	1,7	1,4	9,5	3,3	
Etan	4,8	2,8	34,8	22,4	
Propylen	2,3	0,2	12,1	28,2	
Propan	3,6	0,28	16,7	44,4	2,0
Butylen	0,1	0,02		0,1	2,9
Butan	1,4			1,0	31,1
Högre kolväten (C ₅)	2,7				64,0
	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Nm ³ /h	1 600	1 385	44	102	69

För ett närmare studium av betingelsen för omändring av destillationsgasen till syntesgas för ammoniakframställning har särskilt analysystem utarbetats, för vilket senare kommer att redogöras i denna tidskrift.

För alkacidrenad gas har sålunda fastställts vid olika värmevärden hos gasen nedanstående volymsammansättning med avseende på H₂ och N₂, som kan uppnås genom spaltning och konvertering av destillationsgasen:

Övre värmevärden kcal/Nm ³ ..	4 050	4 650	4 970	5 870
Undre värmevärden kcal/Nm ³ ..	3 790	4 240	4 520	5 280
H ₂ l/Nm ³ destillationsgas	1 613	2 000	2 009	2 276
N ₂ l/Nm ³ destillationsgas	619	515	524	422
H ₂ : N ₂	2,6	3,9	4,0	5,4

Driften vid Kinne-Kleva har rationaliserats genom vid flera tillfällen företagna tidsstudieundersökningar, utförda av särskilt tillkallade experter. Noggrant genomförd teknisk statistik föres över de olika tillverkningarna.

Bokföringen är ordnad enligt fullt modern industriell praxis. En kontoplan, enligt riktlinjer, angivna av professor Robert Kristensson i Tekn. T. I h. 1, 1942, har upplagts, som möjliggör, att den ekonomiska ställningen noga kan följas inom verkets olika delar.