

Vsebina

Inž. Alojz PREŠEREN

PORABA KISIKA PRI PROIZVODNJI SM JEKLA

DK 669.183.2 (497.12) 65

Inž. Sonja LENARDIČ

TEHNOLOGIJA IN TEHNIKA LUŽENJA DK 66.094.7 . 71

Inž. Pavle SEŠEK

ELEKTROSTATIČNI PLINSKI ČISTILCI DK 628.511 . 83

Miroslav FELDIN

OPEKA IZ PLAVŽNE ŽLINDRE DK 624.012.2 86

TEHNIČNA PRILOGA

Tehnična priloga »ŽELEZARJA« — Glasilo DIT Jesenice — Leto II. — Številka 3 — Odgovorni urednik ing. Mede Janko, tehniški biro, tel. št. 495 — Člani uredniškega odbora: Bernard Božidar, OTK; ing. Čop Stanko, jeklarna; ing. Gregorčič Miloš, tehniški biro; Hrastar Franc, tehniški biro; ing. Sešek Slavica, tehniški biro; ing. Kramar Jože, energijski odd.; ing. Sešek Pavle, energijski odd.; Žagar Edo, uredništvo Železarja; Stare Marjan, strok. knjižničar; ing. Urbančič Jože, valjarna 2400
Tisk: ČP »Gorenjski tisk«, Kranj

LETO II.

DECEMBER 1960

ŠT. 3

Inž. ALOJZ PREŠEREN

DK 669.183.2 (497.12)

Poraba kisika pri proizvodnji SM jekla

Splošno znano dejstvo, da je z direktnim dodatkom kisika v kopel možno skrajšati čas rafinacije, izboljšati metalurški potek reakcij pri intenzivnejšem kuhanju taline, hitrejšem dvigu temperature kopeli, boljšem razžveplanju itd., je že v letu 1955 narekovalo potrebo po izvedbi poskusov s porabo kisika med rafinacijo v jeseniški martinarni. Zaradi izrednih težav s preskrbo kisika smo takrat izdelali samo eno šaržo kvalitete MD 240, pri čemer smo vendarle ugotovili vso pravilnost že znanih pozitivnih faktorjev uporabe kisika. V glavnem smo takrat zasledovali dve osnovni postavki: možnost izdelave zelo mehkih jekel v razmeroma normalnem času in izboljšanje pogojev razžveplanja, ki so bili takrat zaradi 100 % plinske kurjave (8 g S/m^3) ter velikih kvaliteten zahtev izredno težavni.

Spričo izredno visoke proizvodnje 360.000 t SM jekla, kot jo predvideva plan v bodočih letih, je vprašanje dviga proizvodnosti jeseniških SM peči ob vedno težjem kvaliteten programu nujno narekovalo odločitev, ki je obsegala delno rekonstrukcije starih SM peči, uvedbo 100 % ali delne efektne mazutne kurjave ter končno uvedbo kisika za intenziviranje plamena (obogatitve zraka s kisikom od 25–30 %), kakor tudi za direktno oksidacijo kopeli v času rafinacije.

Ker je v naši železarni še vedno pomanjkanje kisika, poskusov nismo mogli opravljati v celoti, to je istočasno intenziviranje plamena in direktno oksidacijo elementov med rafinacijo, temveč smo se odločili za deljeno izvedbo: najprej ugotoviti vse možne podatke o direktnem pihanju kisika v kopel med rafinacijo, nato pa preiti na dodajanje kisika direktno v plamen. O kombiniranem načinu porabe kisika bi padla odločitev šele po izvedbi obeh posameznih poskusov.

V priloženem elaboratu opisujem rezultate in opažanja pri uporabi kisika za direktno oksidacijo taline med rafinacijo.

Pihanje kisika v talino skušajo strokovnjaki reševati na različne načine: z enostavnimi cevmi, ki jih z roko ali s posebnimi konzolami potiskajo v kopel, s cevmi, ki so obdane s krom-magnezitno šobo, z vohohlajenimi cevmi s posebnimi šobami, ki so nameščene pod določenim kotom skozi zadnjo ali čelno steno peči, z dodajanjem kisika direktno v plamen, ali pa nekaj cm pod plamenom in končno z vodoravnimi vohohlajenimi kopji s posebnimi bakrenimi šobami, ki so nameščene na prvi in zadnji tretjini glavnega oboka in s katerimi, podobno kot pri LD konventorju, pihamo kisik v sloj žlindre. V glavnem zahte-

vajo vse omenjene rešitve določene rekonstrukcije peči, oziroma sploh možnost instaliranja zahtevanih naprav pri sicer obstoječem agregatu na splošno. Prav zaradi tega v mnogih jeklarnah še vedno uporabljajo enostavni način dodajanja kisika po navadnih ceveh skozi odprtine v šaržirnih vratih. Vendar je, predvsem zadnje leto, opaziti vedno številnejše prehode na dodajanje kisika skozi vertikalna vohohlajena kopja skozi obok.

V jeseniški martinarni smo se odločili za izvedbo poskusov z navadnimi $3/4''$ cevmi. V času dveh mesecev (julij, avgust) smo izdelali okoli 40 šarž v glavnem na SM peči I v različnih kvalitetah od C 70 do MD 170. Pri pomnjam, da pri omenjenem načinu ni mogoče kontinuirano dodajati kisik zaradi zamenjave cevi, večkratnih motenj zaradi vlagalnih strojev, oziroma dolivanja grodla na druge peči ter zaradi dovoza polnih in odvoza praznih šaržirnih korit. Zaradi omenjenih pomanjkljivosti je učinek kisika precej prizadet. Na splošno spremlja pihanje kisika v kopel močno dimljenje črnorjave do svetlordeče barve, odvisno od koncentracije začetnega ogljika, kar pri starejših pečeh povzroča delavcem izredne težave zaradi močnega uhajanja dima pri špranjah šaržirnih vrat. Stalni spremljevalec tega dima je prah, ki je v glavnem sestavljen iz železovih oksidacij in precej vpliva na zmanjšanje vzdržnosti nepregorne opeke. Množina prahu je pri višjem začetnem ogljiku večja. Količina prahu v izgorelih plinih se poveča pri pihanju kisika v kopel za okoli 2 do 3-krat pri 0,1 % C v začetku pihanja, pri 1 do 1,5 % C v začetku pihanja pa se količina prahu poveča za 10-krat. S potopitvijo cevi pod skorjo žlindre se sicer množina prahu zmanjša, vendar je drža cevi z roko precej negotova, razen tega pa kisikova cev večkrat pregori in kisik uhaja nad žlindro.

Pri dodajanju kisika v plamen teh pomanjkljivosti v glavnem ni in kombinirani postopek predlaga uvajanje kisika v plamen od 0,2 do 0,3 % C v času rafinacije, nato pa dodatno pihanje kisika direktno v kopel z navadnimi cevmi. S tem je dosežena velika žilavilna hitrost, hiter dvig temperature kopeli, možnost uporabe kisika tudi pri nizkih koncentracijah ogljika, kljub velikim žilavilnim hitrostim, in končno se znatno zmanjša količina prahu.

Poskusi, ki smo jih izvedli v jeseniški martinarni, naj bi nudili tehnično zanesljive podatke o dvigu proizvodnosti, oziroma skrajšanju rafinacijskega časa, o pogojih razžveplanja, FeO v žlindri, oziroma v jeklu, porabi kisika, učinku kisika, temperaturi kopeli, žlindre, oboka ter prihranku goriva.

Hkrati naj bi opazovali vzdržnost oboka ter ob času remonta peči ugotovili v spodnjem ustroju posledice prahu.

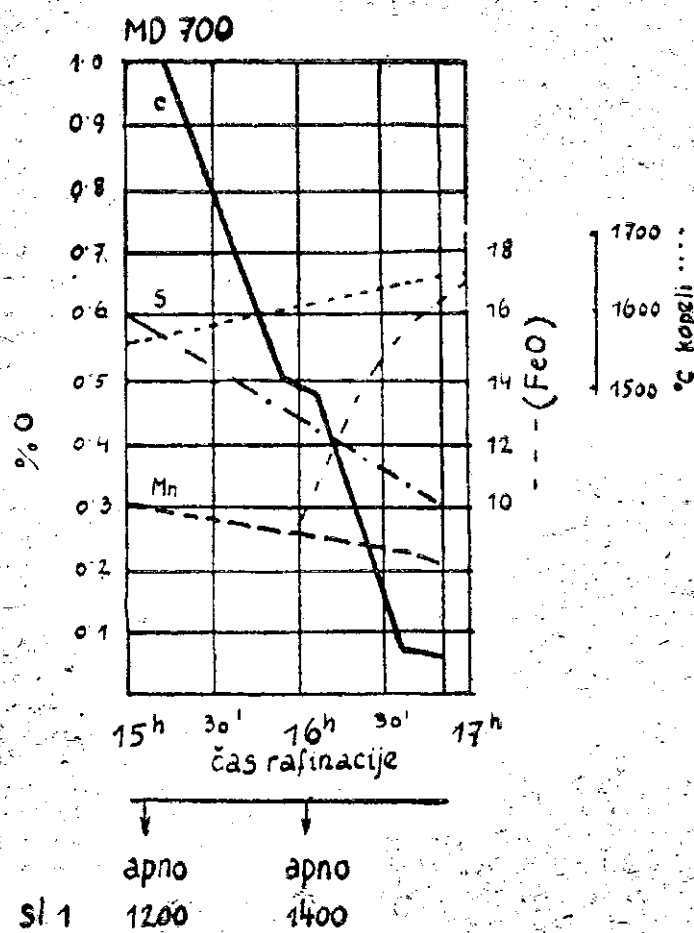
V želji, dati SM peči čimbolj utemeljen ekonomski obstoj, so strokovnjaki v svetu prav z vsestranskim uva-
 janjem kisika skušali čimbolj dvigniti storitev agregata. V angleški jeklarni Appleby-Frodingham so v poskusni fazi uvedbe kisika dosegli v 200-tonski nagibni peči znižanje šaržnega časa od 16,07 ur, pri 320-tonski šarži na 6,09 ur, pri 213-tonski šarži ter porabi kisika 51 m³/t, pri čemer so okoli 5 ur dodajali kisik za intenziviranje plama in zadnjo uro so v času rafinacije še dodajali kisik z navadnimi cevmi direktno v kopel. Storilnost se je torej dvignila od 20,05 t/h na 30,12 t/h. Z zamenjavo ročnega dovajanja kisika v kopel z mehanskim načinom se je izkoristek kisika povečal in storitev peči se je dvignila na 41,73 t/h. Praktično lahko smatramo, da ni SM peč, kot tehnološki agregat, ovira pri uporabi kakršnih koli količin kisika, temveč da je ozko grlo kvaliteta opeke.

V jeseniški martinarni smo se pri poskusih omejili samo na porabo 3/4" cevi, s katerimi smo skušali dodati kopeli tisto količino kisika, da bi proces sam spremljalo na eni strani čim manj negativnih posledic glede dimljenja, prahu, oziroma sploh možnosti normalnega dela pred pečjo, na drugi strani pa čim več že znanih pozitivnih faktorjev.

Za enakomerno preskrbo kisika v času poskusov smo montirali metalurški vod kisika s potrebnimi manometri, s tremi priključki pred pečjo I ter »MANDEKSOM« za merjenje količine kisika. Žal nam ta aparat ni dajal povsem točnih števil.

Prvi poskus smo izvedli pri šarži 7450 s predpisano kvaliteto MD 700. Izdelava rafinacije je razvidna s slike 1.

Pri tej šarži smo pihali z eno 3/4" cevjo skozi srednja šaržirna vrata. Pritisk kisika je znašal 6–8 atm. Čisti čas pihanja je bil 48 minut, porabili smo 12 cevi dolžine 4 m. Skupni čas rafinacije, to je čisti čas pihanja kisika, zamenjava cevi, dodatek apna, oziroma rude, pred pričetkom pihanja, 2-kratno jemanje vzorca jekla in žlindre ter 1-kratni dodatek apna med rafinacijo in končno čas od

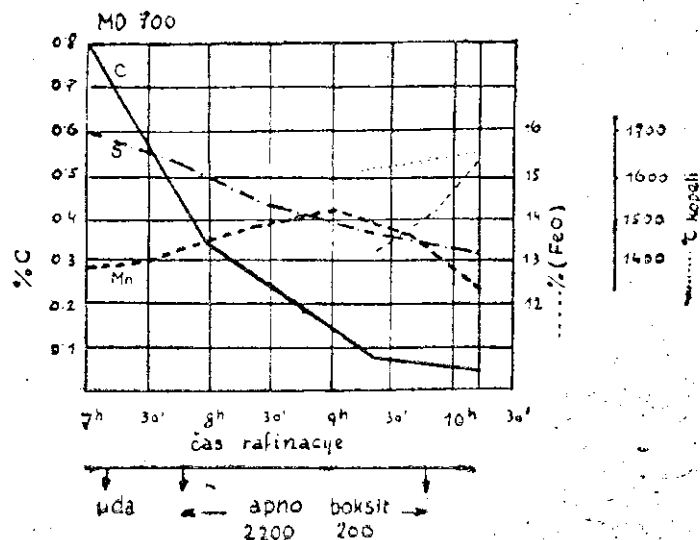


Slika 1

končanega pihanja do preboda, je trajal 1 uro 45 minut, kar je nasproti 3 uram 15 minut rafinacije pri normalni izdelavi MD 700 vsekakor občutno skrajšanje časa. Pri-

pomniti pa moramo, da nam pri navadni izdelavi MD kvaliteta ni povzročala prekomernega časa rafinacije temperatura kopeli, temveč premočna redukcija mangana, kajti zaradi zahtevanega nizkega mangana v končnem vzorcu okoli 0,2 %, je bilo treba s prekomernimi dodatki apna in z daljšim časom trajajočo rafinacijo znižati redukcijski mangan od okoli 0,42 % na 0,2 % (težave s previsokim Mn so bile tudi v primeru nizkega dodatka grodija v vložek).

Sicer imamo pri izdelavi zelo mehkih kvalitete z žveplom do 0,035 % in visoko končno temperaturo (16600) povprečni rafinacijski čas 2,6 ur.

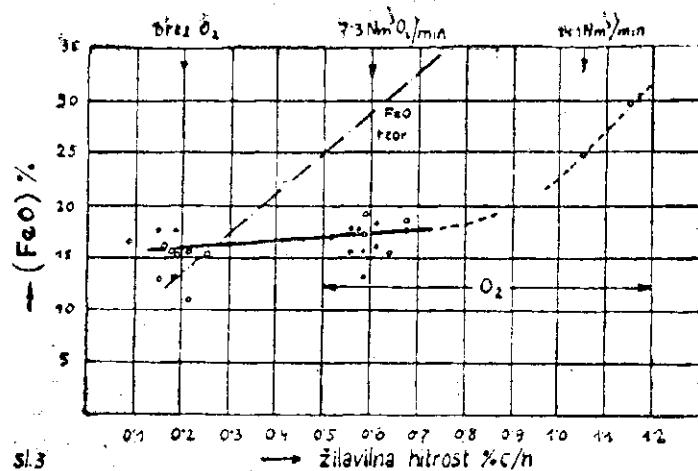


Slika 2

Karakteristično za rafinacijo s kisikom je bilo stalno padanje Mn in z izjemo 3 šarž nikjer nismo opazili značilne Mn-grbe. Razlaga za to najdemo v obnašanju FeO v žlindri med rafinacijo.

FeO v žlindri in ekvivalentno v jeklu (izločimo značilnosti kuhanja, fizikalno stanje dna ter lastnosti žlindre) zavzema pri rafinacijah s kisikom nekoliko višjo koncentracijo kot pri navadnih rafinacijah. Kljub mnogo višji žilavilni hitrosti (saj imamo pri šarži 7450 povprečno žilavilno hitrost 0,62 % C/h, nasproti 0,22 % C/h pri navadnih rafinacijah za isto kvaliteto) se FeO v glavnem ni povečal, medtem ko bi teoretično pri isti žilavilni hitrosti moral znašati v končni fazi okoli 34 %. Presežki FeO se torej že v času oksidacije s kisikom vežejo na vso količino Mn, ki se reducira iz žlindre, delno pa še na matični Mn v kopeli; pri oksidaciji s kisikom imamo torej neke vrste istočasno desoksidacijo. To dejstvo temeljimo na obnašanju Mn pri praktični izdelavi Dinamo šarž brez plinastega kisika med oksidacijsko periodo, sicer pa pod istimi pogoji v dodatku apna, rude (slika 2).

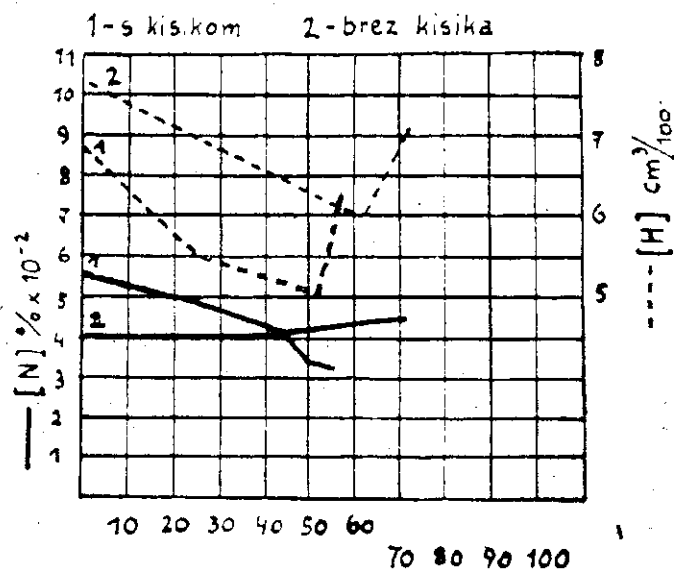
Naslednji poskus, kjer smo pri izdelavi iste kvalitete pihali kisik na vsa tri vrata z istimi cevmi in pri istem pritisku, je trajal okoli 1 uro, stvarni čas pihanja pa 18 minut. Skrajšanje rafinacijskega časa je bilo torej okoli 2 uri 15 minut, oziroma nasproti normalnim rafinacijskim časom pri drugih mehkih kvalitetah okoli 1 uro 50 minut. Toda pri tem poskusu so nastopale druge težave: izredno močno dimljenje in uhajanje dima ter prahu pri špranjah šaržirnih vrat, kar je popolnoma onemogočalo kontroliranje pravilne drže cevi, kar je neogibno potrebno, da lahko topilec z določeno hitrostjo pomika cev v kopel; razen tega je bilo škropljenje kopeli tako močno, da so delci žlindre uhajali celo skozi odprtine v šaržirnih vratih. Vse te izredne pomanjkljivosti so vsekakor izredno slabo vplivale na vzdržnost opeke v celotnem gornjem ustroju peči. Pri omenjenem načinu oksidacije smo ugotovili pri istem dodatku apna izredno povečan FeO v žlindri – 30 % – kar je po vsej verjetnosti delno rezultat slabega vpihavanja kisika (pihanje v žlindro namesto v kopel), delno pa zaradi ogromne žilavilne hitrosti, ki je v tem primeru znašala 1,15 % C/h (slika 3).



Slika 3

Iz omenjenega diagrama moremo zaključiti, da pihanje prevelike količine kisika v časovni enoti izkazuje vrsto negativnih posledic, ki tako forsirani proces rafinacije ne samo otežkočajo, temveč ga postavljajo celo na neekonomsko osnovo. Pripominjamo pa, da veljajo ti zaključki le za uporabo ročnega dodajanja kisika v kopel. Pri tem načinu smatramo, da moremo s pridom forsirati žilavenje do 0,8 % C/h žilavilne hitrosti, pri čemer ostanejo desoksidacijski pogoji v glavnem taki kot smo jih vajeni pri normalnih rafinacijah. Pri uporabi posameznih 3/4" cevi s pritiskom kisika do 8 atm., kar pomeni 7,3 Nm³/min. pri kapaciteti peči 45 ton, moremo beležiti žilavilno hitrost okoli 0,7 % C/h pri začetnem ogljiku 1,1 % in končnem ogljiku 0,06 %. Vsi naslednji rezultati pri zasledovanju posameznih faktorjev, ki karakterizirajo izdelavo rafinacij s kisikom, se nanašajo na zgoraj omenjeno specifično porabo kisika.

Pri jeklih, izdelanih s kisikom, moremo torej računati s praktično istimi koncentracijami kisika v jeklu kot pri navadnih rafinacijah. Kar se tiče drugih plinov – vodika in dušika – pri nas nismo mogli ugotovljati rezultatov. Vendar omenjajo predvsem ruski strokovnjaki, da sta dušik in vodik v končni fazi pihanja celo nižja kot pri normalnih rafinacijah (slika 4)

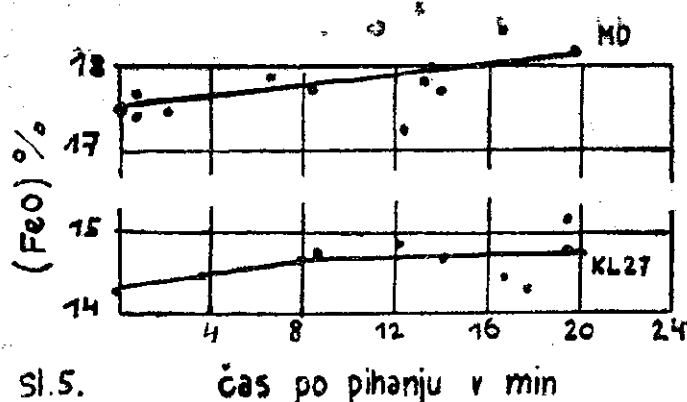


Slika 4

čas pihanja v min.

Slika 4

Izreden porast vodika po končanem pihanju pred desoksidacijo zastavlja vprašanje, kako se kisik v jeklu obnaša po končanem pihanju, to je v času od prenehanja pihanja do preboda. Poskusi v tem smislu potrjujejo ugotovitve v literaturi, da se FeO v žilindri po prenehanju pihanja le delno poveča (slika 5).



Slika 5

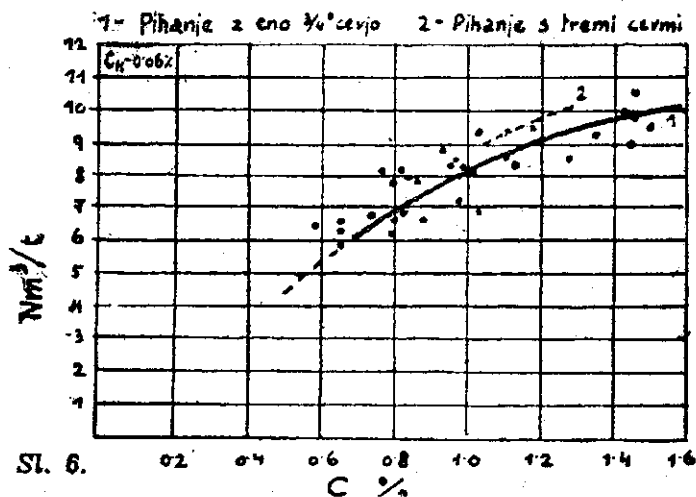
čas po pihanju v min

Slika 5

Tu je mišljena dokončna izgotovitev rafinacije s kisikom, nakar iz teh ali onih razlogov čakajo s prebodom.

Poraba kisika:

Pri šarži 7450 je znašala skupna poraba kisika 350 Nm³ ali 8,6 Nm³/t jekla oziroma 7,8 Nm³/t vložka. Specifična časovna poraba je znašala 7,3 Nm³/min. Na osnovi več izdelanih šarž smo mogli sestaviti diagramsko odvisnost porabe kisika od začetnega ogljika, kar je prikazano v sliki 6. Pripominjamo, da se zaradi delne netočnosti Mandexa stvarne odvisnosti nekoliko razlikujejo od diagrama.



Slika 6

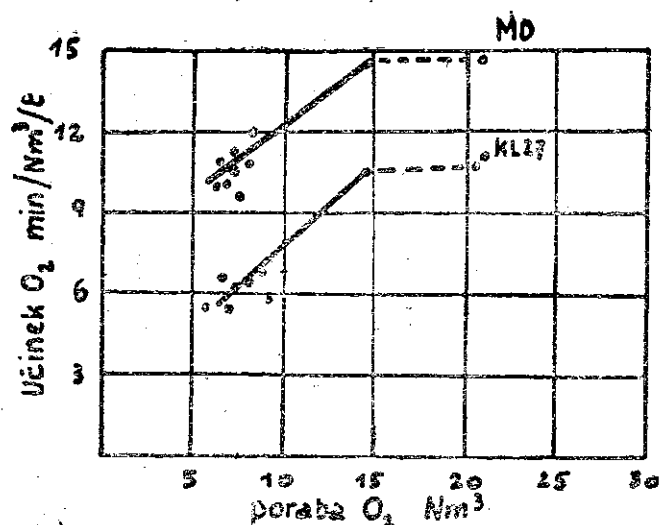
Slika 6

Specifična poraba kisika pri pihanju hkrati s tremi 3/4" cevmi ponovno dokazuje manjši efekt porabljenega kisika (delno večji FeO v žilindri, delno izguba kisika v atmosferi nad žilindrom). Pri porabi 3/4" cevi smo ugotovili, da gre skozi 4 m dolgo cev pri pritisku 6–8 atm. okoli 30–35 Nm³ kisika v treh do štirih minutah. S pomočjo diagrama v sliki 6 in omenjene ugotovitve specifične »kapacitete« ene cevi smo mogli v praksi zadovoljivo uporabljati kisik za direktno oksidacijo pri izdelavi različnih kvalit in na različnih pečeh.

Učinek kisika (skrajšanje rafinacije):

Literatura navaja kot obrazec za učinek kisika odvisnost skrajšanja rafinacijskega časa v minutah nasproti enemu Nm³ kisika/t od časovne specifične porabe kisika v Nm³/min. Učinek kisika pri naših poskusih je razviden iz diagrama 7.

V ruski literaturi so zabeleženi učinki kisika 4,5 do 5 min./Nm³/t pri 7 Nm³ kisika/t in intenziviranju plamena. Vsekakor imamo pri povečani specifični porabi kisika večje učinke. To je tudi edini pozitivni faktor. Drugi faktorji, ki proces spremljajo, govorijo proti porabi prekomerne količine kisika za ročno pihanje v kopel (premočno dimljenje, prevelika količina prahu, previsok FeO, prevelika specifična poraba Nm³/t za isto žilavilno hitrost, močnejša desoksidacija in izredni napor ljudi pri delu pred pečjo med pihanjem).

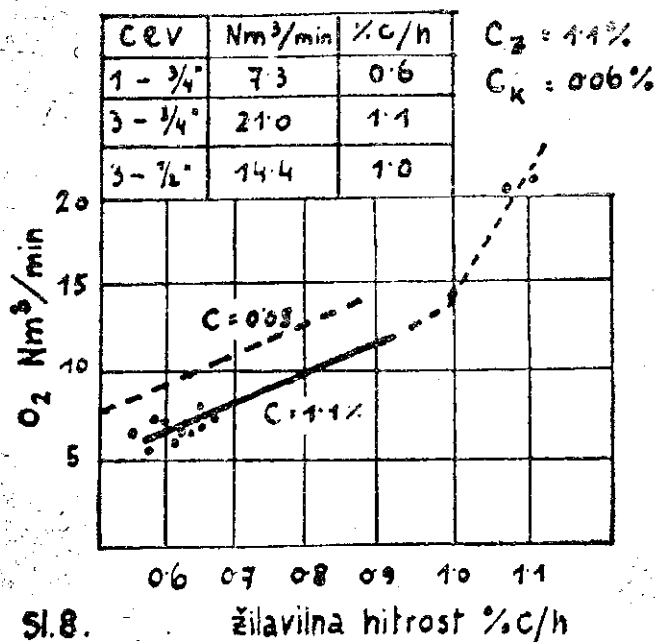


Iz omenjenega diagrama moremo konkretno zaključiti, da znaša pri specifični časovni porabi $10 \text{ Nm}^3 \text{ kisika/min.}$ učinek kisika $8,2 \text{ min./Nm}^3/\text{t}$ ali $8,2 \times 8,6 \text{ Nm}^3/\text{t} = 70 \text{ min.}$ Skrajšanje rafinacije znaša torej pri omenjenem pogoju 70 min. Pri tem je upoštevana izdelava zelo mehke kvalitete KL 27.

Temperaturne razmeré:

S pihanjem kisika v kopel na peči I smo v glavnem izdelovali kvalitete z okoli 0,8 do 1,7 % C v začetku rafinacije. S pihanjem pri začetnem ogljiku pod 0,7 % smo skušali izdelati samo 2 rafinaciji, vendar s slabim uspehom, kar bomo skušali v naslednjem analiziranju dela ugotoviti.

Zelo forsihrano oksidacija elementov v kopeli bi bilo možno doseči tudi z rudo, če je temperatura kopeli pred dodatkom rude zelo visoka; oksidacija elementov s kisikom iz rude je namreč endotermnega značaja. Oksidacija s plinastim kisikom je eksotermna, torej ogreva kopel toliko intenzivneje, kolikor večji je odgorek ogljika v določenem času, kolikor višji je torej ogljik na začetku pihanja in kolikor mehkejšo kvaliteto se izdeluje. Pri določeni časovni specifični porabi kisika je žilavilna hitrost pri nižjem ogljiku nižja od višjega ogljika (slika 8).

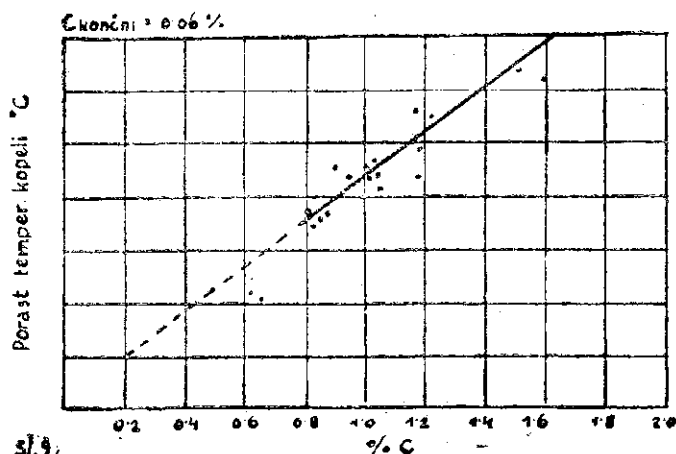


Slika 8

To pomeni, da je pri isti specifični časovni porabi kisika odgorevanje ogljika pri nižjih koncentracijah počasnejše, torej tudi dvig temperature pri kopeli počasnejši.

V sliki 9 prikazujemo dvig temperature kopeli v odvisnosti od ogljika v začetku pihanja. Pri več šaržah kvalitete

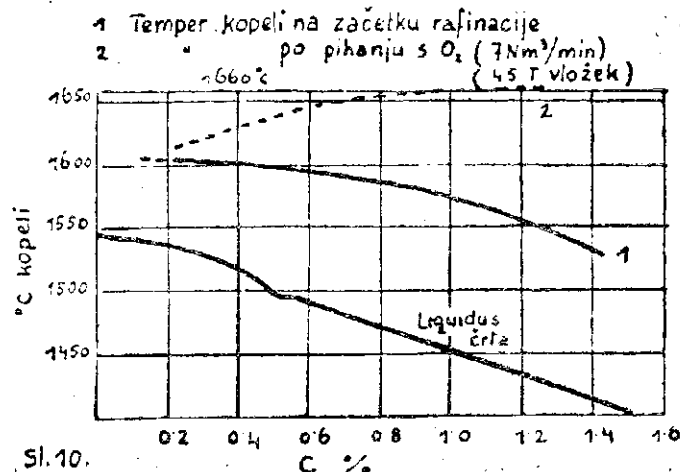
MD smo ugotovili, da znaša dvig temperature okoli 900 na 1,04 % C v času 81 min. Pri direktni oksidaciji s kisikom moremo torej pričakovati dvig temperature 860/1 % C, oziroma 670/h. Pri običajni rafinaciji imamo 38 do 450/h dviga temperature.



Slika 9

Če hočemo izdelati MED kvaliteto, za katero se zahteva pred prebodom 1650–1660° temperature kopeli, mora oksidacija s kisikom v določenem času, kot ga direktna poraba kisika v Nm³/min. diktira, ustvariti potrebno toploto, ki bo krila razliko med temperaturo v začetku rafinacije, in končno zahtevano temperaturo, ki je predpisana za posamezne kvalitete.

Če raztali jeklo z 1,1 % C za predpisano kвалifiteto MD, potem bo doprinos temperature zaradi oksidacije 1,04 % C 900 °C. Temperatura kopeli na začetku rafinacije je pri 1,1 % C okoli 1560—1570°. Ugotovljeni dvig 90° zadošča torej za pravilno končno temperaturo šarže (1570 + 90 = 1560).



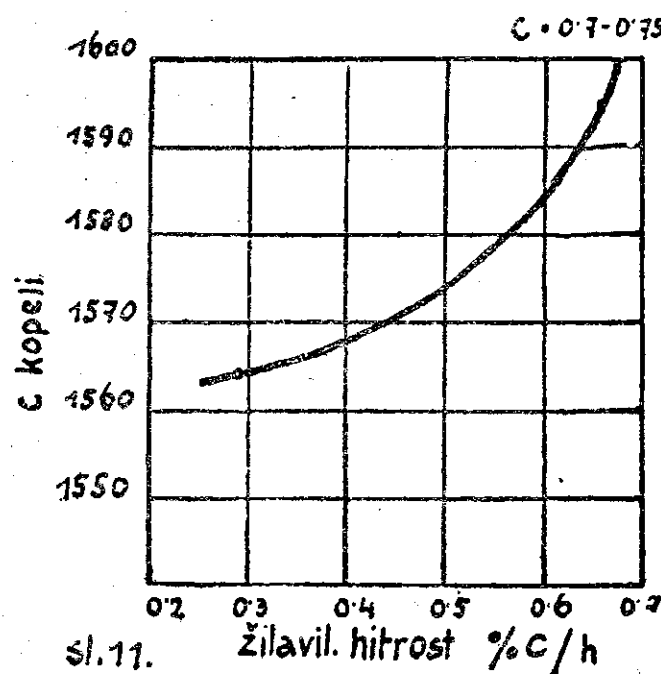
Slika 10

S slike 10 so razvidne povprečne temperature kopeli ob začetku rafinacije na peči I. Iz tega diagrama vidimo, da raztapljajo šarže z višjim ogljikom relativno bolj vroče kot šarže z nižjim ogljikom in da dvig temperature kopeli zaradi direktne oksidacije ogljika s plinastim kisikom pri opisanih pogojih, to je $7,3 \text{ Nm}^3/\text{min.}$ za kapaciteto peči 45 ton, dovoljuje temperaturo 1660°C le pri začetnem ogljiku, ki je višji od okoli 0,7 do 0,75 %. Pri nižjem ogljiku je doprinos forsirane oksidacije glede temperature prenižek, razmeroma kratek čas pihanja pa spet nezadosten, da bi še preostalo potrebno razliko toplote v tako kratkem času nadoknadila oljna, oziroma plinska kurjava peči. V takih primerih je treba kopel ali naogljčiti s tekočim grodljem ali pa s kurjavo samo zagreti do minimalno potrebne temperature, kjer bi lahko pričeli z direktno oksidacijo kopeli s kisikom. Tu nudi izdatno pomoč intenziviranje plamena s kisikom (25–30 % kisika v zraku), s čimer dosežemo znatno višjo temperaturo kopeli ob koncu taljenja.

Kritične meje ogljika, do katerih je direktna oksidacija z uspehom izvedljiva, bodo pri pečeh z različno kapaciteto različne, če obdržimo isto časovno specifično porabo kisika 7,3 Nm³/min. Ta meja bo pri večji teži vložka od 45 ton nižja in obratno. Če pa kot pogoj direktne oksidacije postavimo enak rafinacijski čas kljub različnim kapacitetam peči, kar se vsekakor zahteva, potem ostanejo te kritične meje enake; odvisne so seveda od temperature kopeli v začetku rafinacije, te pa pri vseh SM pečeh niso enake. Pri velikih pečeh z dovolj velikimi dimenzijami kopeli in komor so začetne temperature raztaljenega vložka v glavnem višje, kot pri preobremenjenih pečeh. Pri šaržah z nizkim ogljikom ima torej pihanje kisika smisel šele pri dovolj visoki temperaturi kopeli, torej proti koncu rafinacije za doseg nekoliko hitrejšega žilavenja do zelo nizkih koncentracij ogljika.

Ugotovili smo tudi, in to predvsem pri mehkeje raztaljenih šaržah, da žilavilna hitrost ni odvisna samo od koncentracij ogljika v začetku pihanja ter časovne specifične porabe kisika, temveč tudi od temperature kopeli v začetku pihanja. Pri sicer istih začetnih ogljikih (0,7 %, 0,72 %, 0,75 %) so bile začetne temperature 15850, 15950 in 15650. Tudi talilni časi so bili različno dolgi. Največja žilavilna hitrost je bila opažena pri najvišji temperaturi kopeli v začetku pihanja. Pravi efekt direktne oksidacije kopeli s kisikom moremo pričakovati le pri dobrih SM pečeh z intenzivno kurjavo. Tu ponovno poudarjamo nujnost uvedbe intenziviranja plamena z dodatkom kisika v taki meri, da bo v zraku okoli 25–30 % kisika.

Po vsej verjetnosti bi bili poskusi dodajanja kisika na peči I uspešnejši, če bi bila peč nova; v času poskusov pa je imela peč že 350 šarž. Kljub temu pa se omenjene ugotovitve dobro ujemajo s poskusnimi in obratovalnimi rezultati, objavljenimi v literaturi (slika 11).



Slika 11

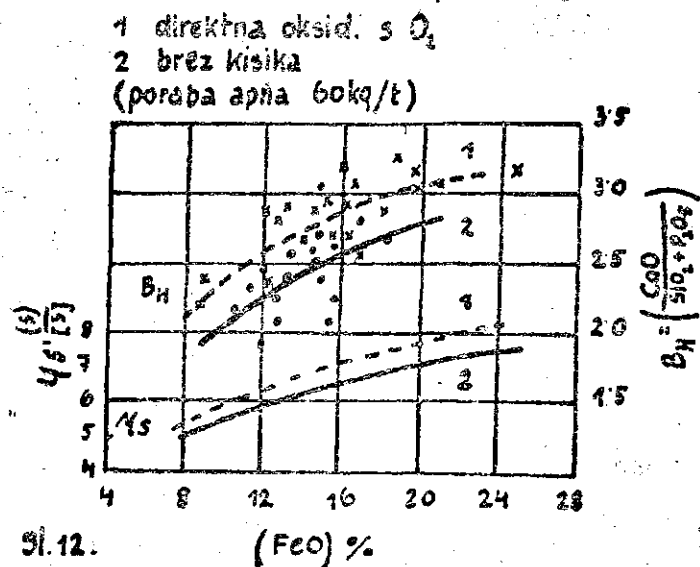
Baziciteta žlindre:

Splošno je znano, da SM peč ni idealen agregat, niti ne nudi idealnih pogojev za odstranjevanje žvepla. Direktna oksidacija elementov pa poveča učinek peči v tem smislu. V prid temu govori več možno ustvarljivih faktorjev:

Hitrejši dvig temperature kopeli povečuje hitrejšo tvorbo aktivne tekoče žlindre.

Večja valovitost kopeli pospešuje topnost apna in povzroča boljše mešanje žlindre z jeklom.

Višja temperatura kopeli, delno večji FeO v žlindri dovoljujeta večji dodatek apna, oziroma večjo baziciteto in žlindra v končnem sestavu bo imela več CaO in ustrezno nižji FeO (slika 12).



Slika 12

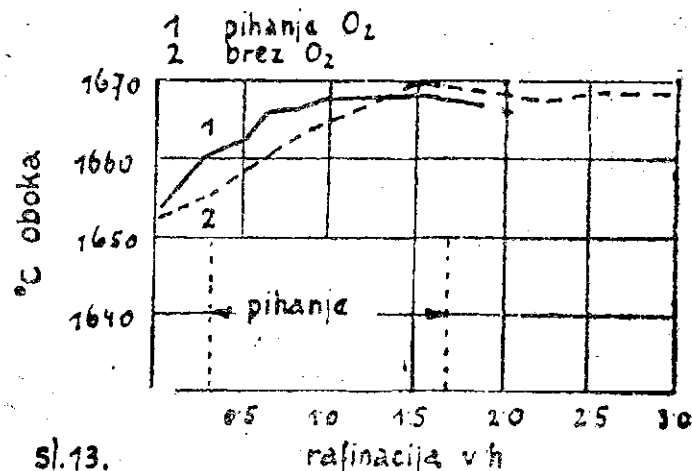
Zaradi hitrejšega žilavenja je krajši čas rafinacije in absorpcija žvepla iz goriva se zaradi tega zmanjša. Redukcija količine goriva med pihanjem s kisikom pa vpliv žvepla iz goriva še zniža.

Na sliki 12 so zbrani rezultati vpliva direktne oksidacije s kisikom na povečanje bazicitete B in povečanje razmerja žvepla v žlindri (žveplo v jeklu). Pri istem FeO v žlindri imamo v glavnem večjo baziciteto zaradi večjega možnega dodatka apna, večji Y, torej boljše razžveplanje.

Iz diagrama na sliki 12 zaključujemo, da smemo pri opisanih pogojih, kot so bili trenutno na razpolago pri izvedbi poskusov, pričakovati pri večini kvalitete znižanje žvepla za 0,004 do 0,006 %.

Obnašanje temperature oboka:

Slika 13 predstavlja temperaturo oboka med rafinacijo na peči Ia, kjer imamo potrebne registrirne aparate. Iz nje moremo zaključiti, da je dvig temperature oboka zaradi uporabe kisika sicer hitrejši, toda ob koncu šarže ne presega tiste meje, kot jo beležimo pri navadnih rafinacijah brez kisika. Temperaturna obremenitev oboka pri »ročnem« pihanju kisika ni večja kot običajno. Edina velika obremenitev so ogromne količine prahu. Škodljive vplive prahu in škropljenja bomo vsaj delno lahko ugotovili šele ob ustavitvi peči, vendar še takrat nezanesljivo, ker uporabljamo kisik za forsirano rafinacijo samo od časa do časa. Vendar smemo na osnovi podatkov tujih strokovnjakov trditi, da bo vzdržnost nižja za 10–30 %. Z uvedbo intenziviranja plamena z obogatnim zrakom se pogoji glede slabega vpliva na vzdržnost opeke izredno popravijo. Kljub temu predlagajo ruski strokovnjaki naslednje:



Slika 13

Uvedbo 100 % bazičnih obokov, povečanje višine obokov, zmanjšanje žlindrnikov, uporabo forsteritne opeke v gornjih gredelnih plasteh in gradnjo jaškov iz krommagnezitne opeke. Pri omenjenih spremembah so opazili na

glavnem oboku le neznatno poslabšanje vzdržnosti, v glavnem proti zadnji steni. Vzdržnost obokov se je znižala za okoli 5%. Dodatno pihanje kisika v kopel pri nižjih ogljikih (maks. 0,4% C) pa ne povzroča močnega prahu.

Prihranek na gorivu:

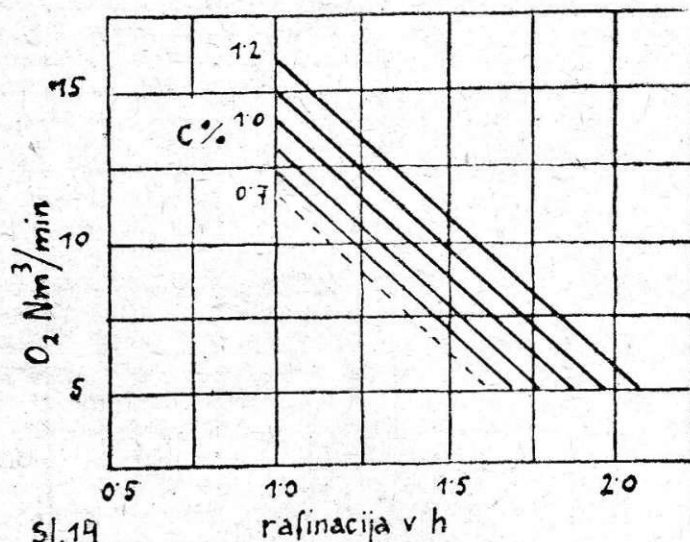
Zaradi skrajšanja rafinacijskega časa in delnega reduciranja goriva v fazi direktne oksidacije imamo določen prihranek na gorivu, ki znaša konkretno na peči I okoli 5%, na peči Ia pa okoli 7%. Redukcija goriva na peči I ni bila precejšnja zaradi dejstva, da ima peč že 350 šarž in je hod peči že nekoliko slabši. Na peči Ia pa smo v času rafinacije znižali pritisk olja od 7 na 4 atm. in porabo plina od 3800 na 2000 m³/h. Ruski strokovnjaki so pri kombiniranem procesu uporabe kisika beležili do 15% prihranka na gorivu.

Poraba cevi:

Povprečna poraba 3/4" cevi pri 45-tonski šarži za izdelavo mehkih kvalitet znaša devet kosov dolžine 6 m, od katerih pa se direktno za pihanje porabi le 4 m, 2 m ostane neuporabna. Pri povprečni teži šarže 60 ton bi bila poraba cevi okoli 14 kosov za izdelavo mehkih kvalitet, oziroma 9 kosov za izdelavo srednje trdih jekel. Pri povprečnem sortimentu, kakor ga imamo trenutno, bi bila povprečna poraba cevi okoli deset kosov za 60-tonsko šaržo, kar pomeni 1,5 kg/t. Specifična poraba teh cevi pa bo znatno nižja pri uvedbi dodatka kisika v plamen, kajti za intenziviranje plamena uporabljamo vodohlajene cevi, katerih vzdržnost je do 100 šarž.

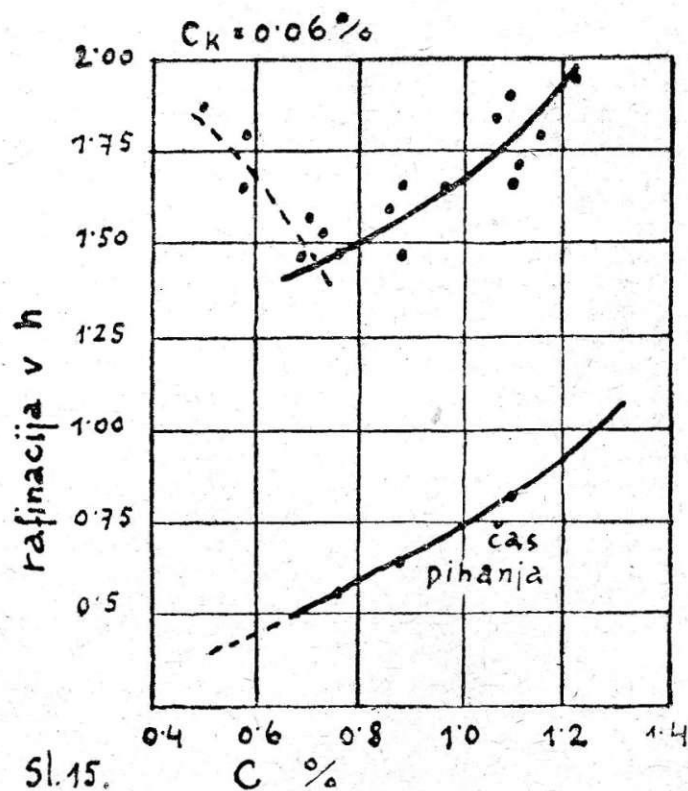
Dvig storilnosti:

Iz dosedanjih diagramov je razvidno, da vpliva povečani dodatek kisika direktno v kopel na povečanje žilavilne hitrosti pri določeni koncentraciji ogljika in določeni temperaturi kopeli v začetku pihanja. Ker je povzročalo na peči I pihanje kisika skozi vsa tri vrata izredne vidne težave, smo vse druge šarže izdelali pri specifični porabi 7,3 Nm³ kisika/min., kar ustreza pihanju kisika skozi eno 3/4" cev pri pritisku 6 do 8 atm. Ti pogoji dovoljujejo pri začetnem ogljiku 1,1% in izdelavi zelo mehke kvalitete skrajšanje normalnega rafinacijskega časa za 54 min., pri izdelavi Dinamo kvalitet pa celo skrajšanje rafinacijskega časa za 90 minut. Slika 14 prikazuje odvisnost časovne specifične porabe kisika od rafinacijskega časa in začetnega ogljika pri izdelavi mehkega jekla z 0,06% C. Pripominjamo, da je v omenjenem rafinacijskem času zajet čisti čas pihanja kisika, čas potreben za zamenjavo cevi, za dodatek apna, rude in za pred- oziroma desoksidacijo. Na ta skupni čas so računane tudi vse žilavilne hitrosti.



Slika 14

Na sliki 15 je prikazana odvisnost rafinacijskega časa od začetnega ogljika pri isti časovni specifični porabi kisika 7,3 Nm³/min. Iz diagrama vidimo logično skrajšanje rafinacijskega časa do okoli 0,7% C, nato pa z zmanjšanjem začetnega ogljika rafinacijski čas raste zaradi že prej omenjenih težav z nizko temperaturo kopeli, oziroma zmanjšano žilavilno hitrostjo pri nižjem ogljiku kljub enaki porabi kisika.



Slika 15

Pri 7,3 Nm³/min. pri 45-tonskem vložku, oziroma 7 do 8 Nm³/t na splošno, kar nudi pri pečeh z večjo kapaciteto višjo časovno specifično porabo, moremo pri trenutnem povprečnem sortimentu pričakovati povprečen rafinacijski čas 1,5 do 1,8 ur, za kar je predpogoj normalni dovod kisika pri pritisku 6 do 8 atm. in izvežbanost topilcev pri »ročnem« pihanju kisika. Nasproti današnjemu rafinacijskemu času 2,6 ur prinaša direktna oksidacija s kisikom 42 min. prihranka, ali povprečno 8% na sedanji skupni šaržni čas. Sedanja povprečna storitev 6,11 ton/h bi se dvignila na 6,6 t/h, oziroma bi pri sedanjih kapacitetah 6 obratujočih SM peči s trenutnim izkoriščanjem koledarskega časa ter enako vzdržnostjo obokov producirali letno okoli 23.000 ton SM jekla več kot danes. Z intenziviranjem plamena pa bi dvignili storitev še za okoli 6%, tako da bi znašalo skupno povišanje storitve zaradi uporabe kisika 14%; storitev bi se dvignila na okoli 6,9 t/h. Ruski strokovnjaki napovedujejo pri porabi kisika 17,5 do 20 Nm³/t povečanje proizvodnje za 9–15%, pri čemer strogo pripominjajo pravilno ureditev vseh drugih vplivnih faktorjev, kakor so: dovolj hitro zakladanje, pravočasno dolivanje tekočega grodja, dobre surovine in razmeroma kontinuiran program kvalitet.

Povzetek:

Poskusi direktnega dodajanja kisika v kopel z navadnimi cevmi skozi odprtine v šaržirnih vratih na peči I in delno na pečeh VI, II in Ia so potrdili pozitivne faktorje, kakor skrajšanje rafinacijskega časa, hitrejši porast temperature kopeli, v glavnem isto koncentracijo FeO v žilindri (če je izbira časovne specifične porabe kisika pravilna), določen dvig storilnosti in prihranek na gorivu. Temperaturna obremenitev oboka se ne poveča. Vpliv prahu na vzdržnost oboka in drugih objektov peči trenutno ni pokazal posebnih negativnih posledic, vendar bo jasnejša slika podana po analizi opeke, ki je bila izpostavljena temu vplivu. Pripominjamo, da bi moral biti prihranek na gorivu večji. Posebno pozornost smo posvetili baziciteti žilindre in pogojem razžveplanja in ugotovili, da so z direktno oksidacijo s plinastim kisikom podane vse možnosti tvorbe aktivnejše žilindre z večjo baziciteto in boljšim razžveplanjem.

Z določenimi diagrami ter pridobljeno prakso v teku dvomesečnih poskusov moremo danes pričeti z izdelavo forsiranih rafinacij na vseh SM pečeh, kolikor bo na razpolago dovolj kisika. Pri uvajanju direktne oksidacije na 70, oziroma 80-tonskih pečeh bo po vsej verjetnosti po-

trebno preiti na 1" cev, da bomo mogli obdržati ugotovljeno skrajšanje rafinacijskih časov.

Pravilno sliko efektnosti uporabe kisika bomo zasledili šele s poskusi na intenziviranju plamena, katere bomo pričeli izvajati, brž ko nam bo zagotovljena dovoljna količina kisika. Po sedanjih kalkulacijah bo znašala skupna poraba kisika od 20–35 Nm³/t.

Glede vzdržnosti opeke, predvsem glavnih obokov, pripominjamo, da konkretnih rezultatov nimamo, vendar je trenutno splošno mnenje tako, da obok po dveh mesecih poskusov ni videti drugačen kakor pred poskusi in bo ob ustavitvi imel okoli 460 šarž, kar beležimo že 4 zadnje kampanje. Tudi na drugih objektih gornjega dela peči nismo opazili posebnih sprememb.

Inž. SONJA LENARDIČ

Tehnologija in tehnika luženja

Splošno o luženju. Sestava škaje. Teoretične osnove luženja. Kisline za luženje navadnih in legiranih jekel. Napake, ki jih povzroča luženje. Uporaba štedilnih sredstev in opis poskusov luženja. Zaključki na podlagi dobljenih rezultatov.

UVOD

Pri pridobivanju železnih in jeklenih proizvodov pride žarjeni material v različnih stopnjah obdelave v dotiko z zrakom. Odvisno od temperature in časa učinkovanja zračnega kisika se tvori na njem bolj ali manj debela plast škaje. Pri vsaki nadaljnji predelavi, pa naj bo to pri valjanju fine pločevine, hladnem valjanju ali v žičnih valjarnah in jeklovlekih in pa v obratih, kjer pripravljajo material, ki ga zaščitijo pred korozijo z emajliranjem, pocinkanjem, posvinčenjem in pokositranjem, moramo imeti popolnoma čisto površino. Plast škaje, ki je zelo trda in neelastična, bi se pri prehodu žice, palic, trakov in pločevine skozi votlice in valje lomila in bi iste napravila z brušenjem in drgnjenjem nerabne, na materialu samem pa bi zaradi razenja povzročila risavost. Pri proizvodih, ki jih površinsko zaščitimo s pomočjo kovinskih (cink, kositer, svinec) in nekovinskih (emajl, barve, laki) prevlek, pa mora biti površina popolnoma čista, ker se na mestih, kjer so ostanki škaje ali drugih nečistoč kot zoglenele maščobe, umazanija itd., površina ne bi prevlekla z zaščitno plastjo, če pa bi se, bi nadaljnja oksidacija pod prevleko povzročala povečanje volumna in luščenje prevleke.

Škajo lahko odstranjujemo mehansko ali kemično. Mehansko jo odstranjujemo z upogibanjem žice in trakov, kar delamo s posebnimi stroji, ki material krivijo. Škaja, ki je trša in manj elastična od osnove, se pri tem nalomu, odluči in odpada. Novejši način mehanskega odstranjevanja škaje, ki se vedno bolj uveljavlja, je peskanje. Pri tem postopku brizgamo na površino s stisnjenim zrakom fin, navadno kremenčev pesek ali jeklene drobce. Na ta način dobimo lepo kovinsko površino. Največ pa se še danes odstranjuje škaja z luženjem, to je obdelovanjem materiala v različnih mineralnih kislinah, ki raztapljajo okside in železo.

Plast škaje, ki se tvori na materialu pri oblikovanju jekla pri visokih temperaturah, predstavlja valjčno škajo, pri reakciji z zračnim kisikom, ali pri učinkovanju plinske atmosfere v žarilni peči žarilno škajo in pri učinkovanju zraka in vlage, atmosfersko škajo, ali kot jo imenujemo rjo.

Sestava škaje

Škaja ni enotna, ampak je sestavljena pri nelegiranih in nizkolegiranih jeklih iz dveh do treh plasti, ki jih sestavljajo FeO, Fe₂O₃, Fe₃O₄ ali njihovi zmesni kristali. Zelo majhne so količine fosforja, mangana in žvepla v škaji. Neposredno na metalni površini le plast FeO, ki pred-

Literatura

J. A. Charles, W. J. B. Charter: Oxygen in Iron and Steel Making, 1953.

I. P. Bardin: Anwendung von Sauerstoff bei der Stahlherstellung.

A. Jackson: Use of Oxygen in a Tilting furnace, Journal of the Iron and Steel Institute, sept. 1958.

Poskusi v jesenjski martinarni 1955, 1959.

Journées internationales de siderurgie, junij 1958.

Stahl und Eisen 1957, rel. 77.

Journal of Metals, julij 1957.

DK 66.094.7

stavlja glavni del škaje. Sledi Fe₃O₄, ki je delno topen v FeO. Zunanja plast, ki meji na atmosfero, je Fe₂O₃.

Iz diagrama stanja (1, str. 137) vidimo, da imamo pri temperaturi žarenja med 575 in 1100°C vse tri komponente v škaji, nad 1100°C pa Fe₂O₃ teoretično ne more več nastopiti, ker je pritisk kisika Fe₂O₃ višji od parcialnega pritiska zraka. To se pravi, da sestoji pri temperaturi nad 1100°C škaja le iz FeO in Fe₃O₄, pod 575°C pa iz Fe₃O₄ in Fe₂O₃. To je zelo važno, ker je topnost FeO veliko večja kot ostalih oksidov, kar moramo upoštevati že pri žarenju.

Hitrost debelitve škaje sledi kot funkcija časa pri temperaturah, ki so potrebne pri žarenju in valjanju, kot difuzijski proces, v katerem difundirajo Fe ioni na površino in reagirajo z atmosferskim kisikom, Fickovemu zakonu, ki pravi, da je debelina škaje v parabolični odvisnosti od časa žarjenja:

$$D = K \cdot t$$

$$K = A \cdot T^n$$

$$D = A T^n \cdot t$$

K = konstanta, odvisna od temperature

D = debelina oksidne plasti

t = čas

T = temperatura

Ker je FeO od železnih oksidov v kislinah najbolj topen, moramo že pri žarjenju gledati na to, da se pogoji taki, da se tvori čim več FeO in čim manj Fe₂O₃. To dosežemo s pravilno temperaturo in s čim manjšim dostopom kisika.

Pri nizkolegiranih jeklih imamo navadno prav tako tri plasti železnih oksidov. Legirni element je običajno natrij v spodnji plasti na meji med kovino in FeO, ker je difuzijska hitrost legirnih elementov navadno manjša od železnih ionov. Če pa oksidi legirnih elementov tvorijo zmesne kristale z oksidi železa, imamo približno isto razporeditev kot v jeklu. Če so legirni elementi plemenitejši od železa in so v začetku tvorbe škaje v obliki oksidov, jih kasneje difundirajoči železni ioni reducirajo in tako tvorijo na meji med kovinsko površino in FeO tanko kovinsko plast, to so tako zvani kovinski globuliti, n. pr. baker, nikelj. Če pa so legirni elementi manj plemeniti od železa, se na meji med kovino in FeO naberejo v obliki oksidov n. pr. silicij, aluminij, krom. Pri višjih vsebnostih aluminija, silicija, kroma se na površini železa hitro nabere sloj teh oksidov, ki preprečujejo nadaljnjo oksidacijo železa. Prav to je vzrok, da imajo s temi elementi visoko legirane kovine dobro korozijsko obstojnost (1).

Zaradi kopičenja legirnih elementov v vustitni fazi je topnost škaje legiranih jekel v kislinah zelo različna, zato je tudi hitrost luženja zelo različna in odvisna od sestave škaje oziroma jekla. Na primer pri jeklih z visoko vsebnostjo silicija, kot je to pri dinamo in trafo pločevini, ki imajo nad 1,8% silicija, se pri žarjenju tvori zelenorjava prevleka, ki jo imenujemo silicijeva koža. Vsebuje SiO₂, in metalni silicij, pomešan z železnimi oksidi. Ker se na površini nabere v začetku luženja plast silicijevega dioksi-

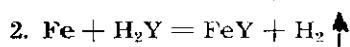
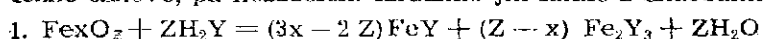
da, kislina počasi prodira do preostale škae in luženje poteka zelo počasi. Najbolje je, da se poslužimo posebne mešanice kislín z dodatkom fluorovodikove kisline, ki raztaplja SiO_2 .

Škajo visokolegiranih jekel tvorijo predvsem oksidi legiranih elementov različnih valentnih stopenj in železovi oksidi. Večina oksidov legiranih elementov je močno obstojna proti kislínam, zato se moramo pri luženju poslužiti posebnih zmesi kislín, da dosežemo čimboljši efekt luženja.

Najbolje je, da sestavo lužilnih kislín predhodno določimo v laboratoriju na podlagi poskusov za posamezne kvalitete. Težave nastopajo predvsem zaradi tega, ker je v nasprotju z dobro obstojnostjo škae, drago jeklo le malo obstojno proti lužilnim sredstvom.

Kemični potek luženja

Pri luženju potekata pravzaprav dva procesa. Prvi, to je raztapljanje škae, je zaželen; drugi, raztapljanje železne osnove, pa nezaželen. Izrazimo jih lahko z enačbama:



Topnost škae je odvisna, kot smo že rekli, od kemične sestave osnove, od debeline škae in od sile, s katero je škaa vezana na osnovo. Ta pa je odvisna od višine temperature pri žarjenju, časa žarenja in koncentracije kisika. Hitrost raztapljanja FeO je opazno višja kot Fe_2O_3 . Z rastočo koncentracijo kisline rastejo hitrosti raztapljanja železnih oksidov, in sicer rastejo hitreje kot hitrost raztapljanja kovinskega železa. Zvišanje koncentracije ima pri solni kislíni večji vpliv na hitrost raztapljanja, kot pri žvepleni kislíni, vendar na kovinsko železo žveplena kislina močnejše učinkuje. Zaradi daljšega segrevanja ima žarilna škaa v primeri z valjčno drugačno strukturo in je teže topna. Pri čim nižji temperaturi se škaa tvori, tem teže je topna, ker se tvori manj vustitne faze in več Fe_2O_3 . Na sestav škae vpliva tudi žarilna atmosfera. Zato je topnost odvisna tudi od vrste žarenja.

Hitrost luženja je odvisna tudi od sestave osnove. Razvijajoči se vodik tako rekoč razstreljuje škajo in jo mehansko odstranjuje. Materiali, ki so močno topni v kislínah, so podvrženi preluženju, posebno, če je škaa neenakomerne debeline. Tam, kjer je tanjša, se hitreje odloči in kislina najprej razjeda osnovo, kar vodi do napak preluženja. Tudi zaostanki olj in masti, ki jih kislíne ne odstranjujejo dobro, lahko povzročajo preluženje.

Kemična sestava luženega materiala je važna za opredelitev agresivnosti lužilne kisline. Čisto železo, n. pr. armco, je v kislínah težko topno. Pri tehničnih vrstah jekla pa se topnost spremeni v odvisnosti od sestave materiala. Visokogljična jekla kislíne močnejše napadajo, prav tako povišuje topnost žveplo, fosfor in mangan, baker jo pa znižuje. Tudi predhodna obdelava vpliva na topnost. Mrzla obdelava topnost zviša, z naknadno vročo obdelavo na 600 do 700° C pa jo zopet znižamo.

Hitrost raztapljanja je funkcija temperature in koncentracije kislín. Na splošno s temperaturo in koncentracijo topnost škae in obenem jekla raste. Solna kislina je bolj agresivna od žveplene kisline, tako pri navadni in pri višjih temperaturah in koncentracijah. Za luženje s solno kislíno zadostuje sobna temperatura (pozimi rahlo ogrevanje). To je važno, ker če bi s solno kislíno delali pri višjih temperaturah, bi zaradi visokega parcialnega tlaka HCl , ki s temperaturo hitro narašča, imeli velike izgube na kislíni in s higiensko tehničnega stališča nezdravo, s HCl plinom nasičeno ozračje.

Žveplena kislina pri navadni temperaturi malo učinkuje, na škajo in jeklo. Šele pri temperaturah nad 50° C se razmere izboljšajo, zato lužimo pri temperaturi okrog 60° C. Tudi s povišanjem koncentracij luženja pri navadni temperaturi ne pospešimo dosti. Pri zvišani temperaturi pa topnost s koncentracijo močno narašča (3, str. 11).

Tudi tvorjeni ferrosulfat vpliva na topnost in sicer pospeši topnost škae, zmanjša pa topnost železa (3, str. 14 do 18). To le do neke določene koncentracije. Pri zelo visoki vsebnosti $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ pa se v prisotnosti štedilnih sredstev mehanske lastnosti luženega materiala znižajo.

Vzrok za to navajajo poslabšanje delovanja štedilnih lužin (2, str. 1867). Tvorí se namreč več lužilnega blata, ki pospešuje tvorbo lokalnih galvanskih členov in s tem lokalno korozijo.

S temperaturo topnost škae in jekla narašča in sicer za vsakih 10° C pri žvepleni kislíni za 1,6-krat, pri solni kislíni pa za 1,9-krat. Mešanje bistveno ne vpliva na potek topnosti, neposredno pa pospešuje luženje, ker se pri gibanju odstrani več škae mehansko in kislina se premeša, da je povsod enaka koncentracija.

Proces luženja

Ko potopimo material v lužilno kopel, kislina takoj reagira s škajo, skozi pore škae pa prodre tudi do osnove in jo raztaplja. Razvija se vodik, ki zaradi velikega volumna odriva in lomi škajo in jo odstranjuje. Od oksidov se najprej topi FeO , ki je takoj na površini kovine, tako da Fe_2O_3 in Fe_3O_4 več ali manj mehansko odpadeta in se potem naprej raztapljata. Škaja sama pospešuje reakcijo med kovino in kislíno, dokler je še v kontaktu s površino jekla, ker ima plemenitejši potencial, posebno FeO , kot jeklo in tvori med škajo in površino jekla galvanski člen, kjer je železo anoda, ki se raztaplja. Magnetitna in ferrioksidna škaa se težko topita in povzročata, če ju iz kopeli ne odstranimo, stalno naknadno porabo kisline. Razvijajoči se vodik ju delno reducira v laže topni železov oksidul.

Topnost škae je v solni kislíni občutno večja kot v H_2SO_4 ; tako poteka v solni kislíni luženje bolj v obliki raztapljanja oksidov, pri žvepleni kislíni pa predvsem v razstrelilni dejavnosti razvijajočega se vodika.

Pri solni in pri žvepleni kislíni ima temperatura močnejši vpliv na luženje kot koncentracija. S povišanjem temperature lahko H_2SO_4 dokaj dobro izrabimo, pri solni kislíni pa tega ne moremo, ker bi pri povišani temperaturi imeli prevelike izgube kisline zaradi izhlapevanja.

Ostanki na površini luženega materiala

Na splošno po luženju navadno ne dobimo svetle kovinske površine, temveč pokrito s temno prevleko, ki je sestavljena v glavnem iz železnih in bakrovih oksidov in ogljika, posebno kadar lužimo predolgo ali pri previsoki temperaturi. To naslago je zelo težko odstraniti. Navadno se je treba poslužiti krtačenja. Poleg tega ostane na površini lahko še lužilna tekočina z raztopljenimi, oziroma delno izkristaliziranimi solmi in pene, ki se nabirajo na površini luže in so posledica reakcij pri luženju z organskimi štedilnimi sredstvi. Material, lužen v solni kislíni, se da z vodo hitreje in lepše sprati, kot lužen v žvepleni kislíni.

Kislíne za luženje

Za luženje uporabljamo žvepleno kislíno, solno kislíno, v posebnih primerih tudi fosforno kislíno in za legirana jekla solitrno in fluorovodikovo kislíno.

Žveplena kislina H_2SO_4 : Navadno se dobavlja 60° Bé ali 58° Bé, to je 71 do 78%. Največ se uporablja zato, ker je najcenejša in ji še naslednje lastnosti dajejo prednost pred drugimi kislínami:

1. koncentrirano lahko tovorimo v železnih sodih;
2. ima visoko specifično težo (1 m³ vsebuje 1,7 ton 60° Bé ali 1,85 ton 66° Bé kisline);
3. ni hlapna in jo lahko segrevamo do vrelišča;
4. razmeroma dobro topi večino škae;
5. tvorjeni $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ zmanjša topnost jekla in zveča topnost škae;
6. material, lužen v njej, manj rjavi, kot lužen v drugih kislínah;

7. enostavna predelava odpadnih luž na $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$. Slabo pa je to, da je treba segrevati lužo na 60° C, da dosežemo zadostno hitrost luženja in po luženju je treba skrbnejše izpiranje, kot pri solni kislíni, zaradi usedlega ferrosulfata. Povsod tam, kjer ni iz tehničnih razlogov predpisano luženje z drugo kislíno, se poslužimo H_2SO_4 .

Običajno se začne lužiti s 13 do 15% raztopino žveplene kisline, pri 10% se posetri, pri 2 do 3% pa obnavlja. Če imamo priključeno regeneracijo $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, nikoli ne gremo s koncentracijo kisline tako nizko. Običajno so za posamezne regeneracijske naprave predpisane koncentra-

cije kisline in tudi maksimalna koncentracija železa v luži za pravilno delovanje. (Ruthmerjeva naprava v predelovalnih obratih mora po predpisih delati z 20% H_2SO_4 in 70 g/l Fe, da se železo zniža na predpisano vrednost!) – V obratih, kjer ni regeneracije, lužimo ponavadi do visoke vsebnosti železa v luži in koncentracijo kisline 2 do 3 %. Tako lužo nevtraliziramo z apnenim mlekom in jo spuščamo v kanale.

Nekatere kvalitete zahtevajo posebne koncentracije kislin, n. pr. visokoogljikna jekla moramo zaradi občutljivosti lužiti pod milejšimi pogoji, ker se mehanske lastnosti precej spremenijo (2, str. 1866), se pa ravno za ta jekla postavljajo visoke zahteve.

Solna kislina, HCl: Za luženje se navadno uporablja trgovska HCl, razredčena od 1:1 do 1:10 z vodo. Če pri navadni temperaturi hitro luži, zato lužilnih kopeli ni treba segrevati; če pa segrejemo, se hitrost močno pospeši. Zato segrete solno kisle lužine uporabljamo za hitra luženja.

Solna kislina bolje topi železne okside, kot žveplena kislina in tudi druge komponente škaje. Zato se rabi tam, kjer imamo opravka s težkotožno škajo (seveda odvisno od sestave jekla), če je zahtevana zelo čista površina in če material še naprej površinsko obdelujemo: v emajlnicah, pocinkovalnicah, posvinčevalnicah, za belo pločevino, za premaze z antikorozijskimi barvami ali laki itd. in v vseh delavnicah, kjer sledi galvanizacija.

Prednosti luženja s solno kislino so:

1. zaradi velike hitrosti luženja lahko delamo pri sobni temperaturi;
2. dobro topi FeO , Fe_2O_3 in ostale spremljevalce škaje;
3. po vodikovo povzročene poškodbe so manjše kot pri žvepleni kislini;
4. reakcijska produkta $FeCl_2$ in $FeCl_3$ sta v vodi topna in imata značaj flusa in pri prevlekah, nanesenih z vročim potapljanjem v raztaljeno kovino, ne povzročata ovire.

Slabe strani pa so:

1. tenzija HCl plina je zelo velika, kar povzroča velike izgube solne kisline in zaradi zastrupljanja atmosfere istočasno korozijo železnih konstrukcij v obratu in zahteva boljše odsesalne naprave;
2. tehnično še ni zadovoljivo rešen problem predelave odpadnih lužin;
3. nagnjenost k tvorbi atmosferske škaje na luženem materialu.

Lužiti začnemo navadno s 13 do 15% HCl, to se pravi, na en del trgovske koncentrirane HCl dodamo dva dela vode in lužimo do koncentracije približno 4% HCl. Po potrebi in predpisih seveda koncentracijo spreminjamo. Temperaturo držimo navadno pod 30° C. Nekatere lužilnice pa delajo v posebnih primerih s koncentracijo 50 do 80 gr HCl/l (to je 5 do 8% HCl) pri temperaturi 50 do 70° C s kratkim lužilnim časom.

Težave nastopajo pri dinamo in trafo pločevinah, prevlečenih s silicijevo kožo. Žveplena in solna kislina raztopita le železne okside, SiO_2 pa ne. Zato se moramo poslužiti zmesi kislin z dodatkom fluorovodikove kisline.

Solna kislina se da koncentrirati le do določene stopnje, zato so potrebne precej večje količine kot žveplene kisline. Če pogledamo vsebnost aktivne kisline, vidimo, da pride na 1 kg 66° Bé H_2SO_4 , 2,50 kg 18° Bé HCl ali 2,12 kg 21° Bé HCl in na 1 kg 60° Bé H_2SO_4 , 2,06 kg 18° Bé HCl ali 1,73 kg 21° Bé HCl, torej ima HCl več kot 2/3 vode, kar zelo podraži transport.

Fluorovodikova kislina, HF: Kot sama kislina ima HF za luženje le podrejen pomen. Zaradi lastnosti, da topi silicijev dioksid, je dragocen pripomoček v tehniki luženja. Zaradi jedkajočih lastnosti delamo navadno le z nizkimi koncentracijami do 2,5% HF. Močno deluje HF na organska štedila, in sicer je dokazano, da zmanjšuje njihovo delovanje. Če lužimo s fluorovodikovo kislino, moramo delati pri nizki temperaturi, da se ne razvijejo premočno HF pare, ki močno poškodujejo tkivo; zato je treba biti tudi pri rokovanju s to kislino skrajno pazljiv.

Solitna kislina HNO_3 : Zaradi svojih oksidacijskih lastnosti se uporablja HNO_3 pri luženju legiranih jekel za odstranjevanje v solni in žvepleni kislini netopnih oksidov in kot pasivirno sredstvo (koncentracije kislin 1, str. 321).

Pogoji luženja

Kot smo že rekli, uporabljamo za luženje v glavnem H_2SO_4 ; HCl le v izjemnih primerih pred površinsko obdelavo, kjer rabimo čisto in svetlo površino z rahlim najedkanjem.

Za trakove, palice in cevi, ki jih lužimo v povezavi, uporabljamo 6 do 8% HCl, če pa lužimo v tekočem traku, pa s HCl 1:1, ali 1:2 pri sobni temperaturi. Če pa hočemo hitrost luženja še pospešiti, dvignemo temperaturo in znižamo koncentracijo na 5 do 8% HCl, da preprečimo preveliko izhlapevanje. Za cevi, ki jih pocinkamo, priporočajo 8 do 12% solno kislino, pri temperaturi 30 do 35° C. Vendar obstoji nevarnost hrapave površine, pri hladno valjanem kot pri toplovaljanem materialu, ki potegne nase več raztaljene kovine pri površinski obdelavi.

Začetna koncentracija H_2SO_4 je lahko pri luženju valjane žice 20 do 23 %, pri drugih luženjih pa navzdol, odvisno od predelave lužine in kvalitete materiala (visokoogljikna jekla zahtevajo milejše pogoje). Pri pločevini in trakovih je priporočljiva nekoliko nižja koncentracija, in sicer od 15 do 18%. Tako visoke koncentracije smemo uporabljati le ob dodatku štedilnih sredstev.

Temperatura je najbolj priporočljiva med 60 in 70° C, da je hitrost luženja zadovoljiva v vseh pogledih. Čas luženja je odvisen od stanja in vrste škaje in je priporočljivo, da se za nove kvalitete vedno določijo pogoji luženja v laboratoriju, oziroma sproti s tem, da material večkrat dvignemo iz lužine in ga pogledamo.

Poraba kisline je različna, odvisna od temperature kopeli, stanja, vrste in debeline škaje in topnosti jekla. Sam proces luženja je odvisen od predhodne obdelave; od načina žarjenja in od eventualne predhodne mehanske obdelave oziroma odstranjevanja škaje. Če držimo pri luženju kislino stalne koncentracije, dosežemo pri žvepleni kislini in pri solni kislini zelo enakomerno lužen material.

Luženje plemenitih jekel

Pri luženju legiranih jekel imamo druge pogoje, kot pri navadnih kvalitetah. Škaja ima drugačno sestavo. Tvorijo jo železni oksidi in oksidi legiranih elementov v različnih valenčnih stopnjah. Toplotna obdelava in oblikovanje potekata pri višjih temperaturah, zato je škaja močnejša, medtem ko naj bi zaradi višje cene in dražjih surovin bila izguba na osnovnem materialu kar najmanjša. Zato ima proces luženja legiranih jekel nekatere posebnosti.

Luženja so veliko pogostejša, kot pri navadnih jeklih, ker je treba vmesne faze kontrolirati glede na napake na površini. Nagnjenost k lužilni risavosti je pri vrsti legiranih jekel velika zaradi nagnjenosti h kaljenju na zraku.

S kemične strani sta za odstranjevanje škaje tudi pri legiranih jeklih važna dva faktorja: raztapljanje škaje in razstreljevanje škaje z razvijajočim se vodikom. Topnost oksidov legiranih elementov v kislinah je zelo majhna:

Cr_2O_3 : je netopen v HCl in H_2SO_4 , delno v mešanici HCl, H_2SO_4 in HF ter v HNO_3 ;

NiO: topen v dilutirani HCl, teže v H_2SO_4 , dobro v HCl in HNO_3 ;

V_2O_5 : topen v HCl in H_2SO_4 ;

V_2O_4 : topen v HCl, netopen v H_2SO_4 ;

MoO_3 : topen v mešanici HCl in HNO_3 , netopen v HCl in H_2SO_4 ;

WO_3 : netopen v kislinah.

Vidimo, da žveplena kislina skoro ne pride v poštev, tudi solna kislina ne zadostuje. Slaba topnost oksidov in pri kislinoobstoju jeklih tudi osnove, povzroča podaljšanje lužilnega časa. Večkrat je treba škajo še mehansko drgniti, ko je v kislinah razmehčana, da jo lahko odstranimo. Pri reakciji kisline z osnovo ostanejo karbidi legiranih elementov kot kroma, vanadija in volframa na po-

vršini v obliki temnih madežev. HNO_3 jih oksidira in pretvori v topne spojine.

Na splošno velja, da moramo vzeti za luženje tembolj agresivne kisline, čimbolj je jeklo legirano, posebno če imamo opravka s kromlegiranimi jekli. Zaradi posebnosti škaje posameznih vrst legiranih jekel je najbolje, da se najprej laboratorijsko za vsako kvaliteto preizkusi, katera mešanica je najboljša za luženje in rezultate nato prenese v obrat. Če imamo spremenljiv program luženja, se moramo pri izbiri kisline ozirati na najmanj odporno jeklo.

Predpisi za luženje legiranih jekel so različni. Mi smo pri naših poizkusih ugotovili, da se za legirana jekla obnese mešanica

- 16 delov HNO_3
- 4 deli HF
- 80 delov vode pri temperaturi 40°C , ali pa luženje z naknadno obdelavo:
- 1. luženje s
- 45 deli HCl
- 5 deli HNO_3
- 50 deli vode pri temperaturi $30-40^\circ\text{C}$ in naknadno luženje:
- 2. 20-25 % HNO_3 pri cca $40-50^\circ\text{C}$.

Ti dve lužini lahko uporabljamo za nizko legirana jekla in tudi za visoko legirana kot prokrona. Posebno prva sestava se je zelo dobro obnesla pri luženju prokron pločevine v valjani tanke pločevine.

Solitrna kislina odstrani vse črne madeže, ki jih povzročajo netopni oksidi in karbidi, ker jih oksidira in pretvori v topne in jih s površine lahko odstranimo z močnim curkom vode ali s pomočjo brisanja ali krtačenja. Prednost solitrne kisline je tudi v tem, da v hladnem ne napade rje in kislinoobstoje jekel. Zato je solitrna kislina nepogrešljiva za luženje legiranih jekel kot druga kopel, obenem deluje pasivirajoče. Za popuščana jekla zadostuje eno luženje; tudi valjčno škajo še kar lahko odstranimo. Pri trdovratnejših primerih je priporočljivo mehčanje pred luženjem v vreli vodi.

Najvažnejše napake, ki nastanejo na materialu pri luženju

1. Ogljikova naslaga ali temna površina je ostanek masčob, ki so pri žarenju zgorele v ogljik ali pa je znak mestnega preluženja — posledica je usedanje ogljika, železnih in bakrovih oksidov in karbidov na površino. Rdečkasti ali rumeno zeleni madeži železnih hidroksidov so posledica spiranja z nerazplinjeno vodo, katere kisik oksidira železo v hidrokside, ki povzročajo madeže. Madeže povzroča tudi oksidacija z zračnim kisikom pri prenašanju iz lužilne v spiravno banjo in pa smetana, ki se nabira na površini luže in se pri dviganju materiala nanj prilepi in jo le težko odstranimo.

Madeže železnih hidroksidov odpravimo tako, da luženi material hitro speremo s slabo nakisano vodo in takoj nevtraliziramo z apnom. To je priporočljivo za dekapirano pločevino.

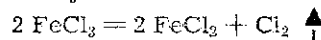
2. Glavna površinska napaka so neluženi madeži na mestih, kjer se luženi material tišči in kislina ne pride zraven. Preprečimo jih z gibanjem luženca v kislini, kar istočasno izravna tudi koncentracijo kisline in soli v lužilni banji. Najbolje pa je, da ni material pri luženju naložen tesno skupaj.

3. Tvorba lužilne risavosti pri plemenitih jeklih, ki nastane zaradi kaljenja na zraku po valjanju ali žarenju.

4. Lokalna korozija, ki nastane, če je topnost kovine omejena na eno mesto. Do tega pride, če uporabljamo slaba, neučinkovita štedila ali premalo štedila. Povzroča jo lokalna nesnaga ali ostanki škaje, ki jih moramo dalj časa lužiti, ker na drugi strani na čisto površino kislina dalj časa učinkuje in jo raztaplja, kar lahko vodi do močnega preluženja.

5. Pikčasta korozija, ki je posebno močna pri korozijsko obstojnih jeklih. Domnevajo, da so te lužilne pore posledica lokalnih galvanskih členov med delci pene in luženim

materialom. Če imamo lužo čisto, ali če dobro gibljemo material, da se umazanija ne useda nanj, se poram izognemo. Pikčasta korozija pri luženju s HCl je lahko tudi posledica delovanja elementarnega klora, ki se tvori pri redukciji ferriklorida z vodikom



Znano je namreč, da nastane točkasta korozija predvsem v prisotnosti solne kisline.

6. Nepravilno, močno razasto površino dobimo, če lužimo pločevino, ki je bila žarjena med 700 in 1100°C in na kateri so se pojavili mehurji. Ti nastanejo zaradi plinov, ki se razvijejo pri reakciji ogljika s spodnjimi plastmi in zaradi različnega raztezanja magnetitne in vustitne faze.

7. Lužilna krhkost in hrapava površina. Predolgo in premočno luženje močno napada osnovno kovino pri izredno visoki porabi kisline, jo topi ter dela hrapavo in povzroča lužilno krhkost in lužilne mehurje zaradi navze-manja vodika.

Jeklo zelo lahko topi pri reakciji med kislino in železom nastali atomarni vodik. Zato določen del vodika, ki nastane pri luženju, difundira v jeklo. Vendar je to le mali del celokupno razvitega vodika, ker se atomi vodika zelo hitro spajajo v molekule vodika, ki jih jeklo ne topi. Razmerje med atomarnim in molekularnim vodikom je zelo važno zaradi sprememb, ki nastanejo v jeklu zaradi navze-manja vodika. Čim bolj čisto je železo, tem manj vodika difundira vanj. Določeni elementi, ki so stalni spremljevalci tehničnega železa, pa katalitično vplivajo na difuzijo vodika v jeklo. To so tisti, ki tvorijo hidride: fosfor, silicij, ogljik, žveplo (1. str. 155-172; 3. str. 18-31).

Zaradi vstopa atomarnega vodika v jeklo se razširi mreža α — železa. Zaradi te razširitve mreže nastopijo v jeklu določene napetosti, ki spremenijo njegove mehanske lastnosti. To napako imenujemo vodikova ali lužilna krhkost. Pri tem se zmanjša možnost oblikovanja, trdnost, razteznost, upogibno število in kontrakcija. Z izgonom vodika nad 400°C se prvotne lastnosti zopet povrnejo. Še boljše pa je, če vodik počasi sam odide pri skladiščenju.

Močno povečana difuzija vodika v jeklo ima za posledico tvorbo lužilnih mehurjev (4. str. 33; 1. str. 163). Mehurji so posledica tvorbe molekularnega vodika iz atomarnega v praznih prostorih, kot so lunke, oksidni vključki itd. Zaradi velikega pritiska plina tik pod površino dobimo mehurjasto površino.

Uporaba štedilnih sredstev

Da preprečimo oziroma čim bolj zmanjšamo škodo, ki nastane zaradi difuzije vodika v jeklo, moramo voditi luženje tako, da se pri odstranjevanju škaje razvije čim manj vodika. To dosežemo s pravo izbiro kisline (HCl povzroča veliko manj lužilne krhkosti kot H_2SO_4), prave koncentracije, temperature in časa luženja.

Poleg tega, da reakcija med kislino in železom povzroča poslabšanje materiala zaradi difuzije vodika v jeklo, povzroča tudi nepotrebne dodatne stroške zaradi povišane porabe kisline in izgube na materialu zaradi raztapljanja.

Da to reakcijo čim bolj preprečimo, se poslužimo lužilnih dodatkov, ki močno zmanjšajo topnost jekla, oziroma železa v kislini, torej zavirajo hitrost reakcije kisline z železom, na topnost škaje pa ne vplivajo. Zaradi prihranka, ki ga dosežemo, jih imenujemo štedilna sredstva ali tudi kar štedilne lužine.

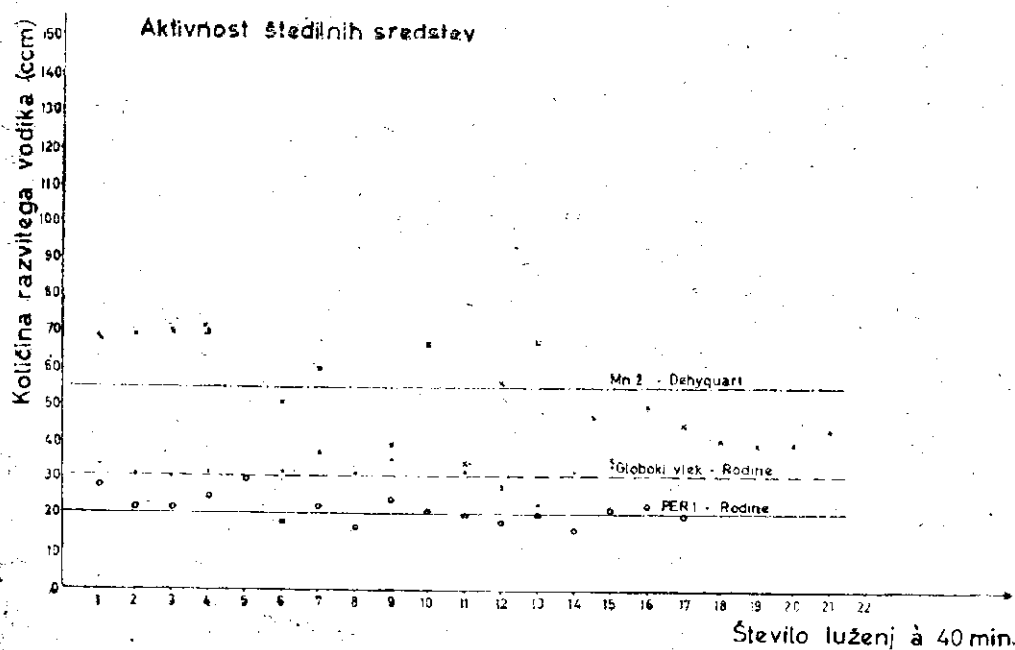
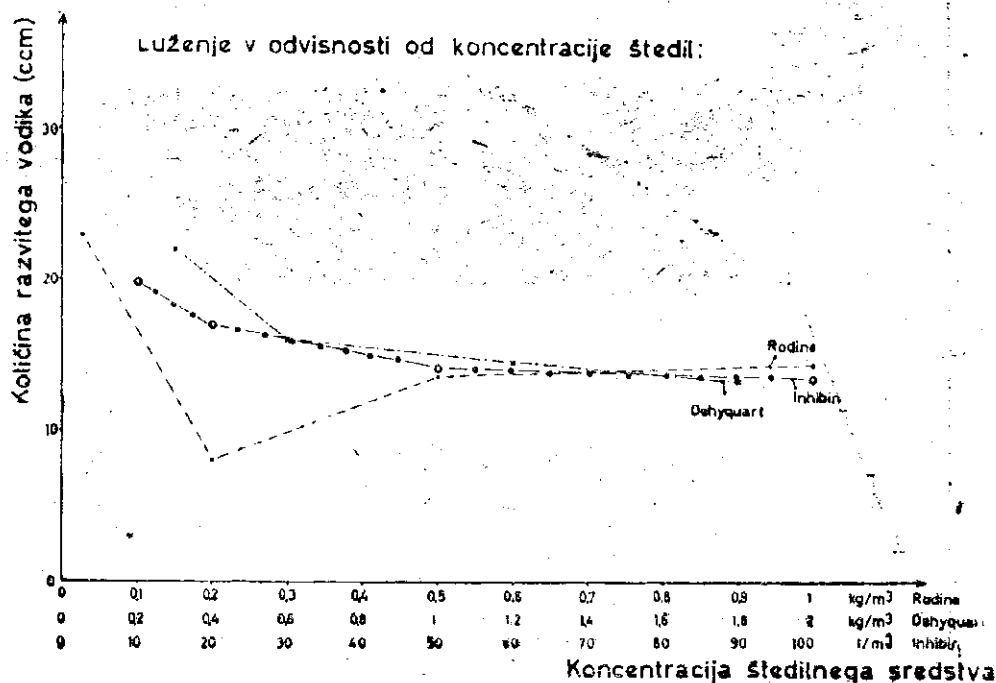
Potek delovanja štedilnih sredstev še ni točno pojasnjen, kljub vedno novim raziskavam v tej smeri. (1; 3) Verjetno velja za vsako štedilno vrsto nekoliko drugačna teorija, odvisna od sestave štedilnega sredstva. Večina raziskovalcev trdi, da se pokrije površina jekla delno ali popolnoma z mikroskopsko tanko plastjo štedila in da je delovanje čisto mehanično. Plast preprečuje kislini dostop do površine jekla. Drugi pa trdijo, da zaradi spremembe elektrokemičnega stanja na površini poteka reakcija počasneje. Machu trdi, da so adsorbirane plasti štedila micelarne strukture. Pore, ki jih tvorijo micle, predstavljajo velik upor difuziji kisline do površine jekla. Merjenja so pokazala, da s stopnjo zaviranja upor zelo narašča. Če je večji od treh ohmov, je zaviralno število čez 95 %, kar lahko dosežemo le z najboljšimi štedili.

Štedilna sredstva so večinoma organske snovi. Po kemični sestavi so lahko aldehidi, snovi, ki vsebujejo dušik: amini, nitrili, heterocikli; snovi, ki vsebujejo žveplo: merkaptansko ali sulfidno vezano in snovi, ki vsebujejo dušik in žveplo: tioamidi, tiosečnine, tiosemikarbazidi, tiazoli, tiazini itd. Navadno so to odpadni produkti raznih organskih tovarn, da so čim cenejši.

Praktični poskusi uporabnosti štedilnih sredstev

V tehnološkem laboratoriju Železarne Jesenice smo preizkusili štedilna sredstva: inhibin, dehyquart in rodine in dokončno pripravljeno lužino z že dodanim štedilom, dekapant LDG.

S poskusi smo najprej ugotovili najmanjše potrebne in zadostne količine posameznih štedilnih sredstev. Nada-

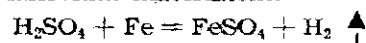


Kaj zahtevamo od dobre štedilne lužine?

Že v malih koncentracijah mora delovati močno zavirajoče. Imeti mora dolgo zaviralno dobo, biti mora v lužilni kislini topna, obstojna mora biti pri koncentracijah in temperaturah, s katerimi lužimo. Ne sme stopati s kisljinami, materialom, ki ga lužimo, ali s produkti luženja v reakcijo. Med luženjem se ne sme razkrojiti, upariti in ne koagulirati zaradi kemičnih ali koloidno kemičnih reakcij. Ne sme povzročati penjenja, ker se v peni nabira umazanija, ki zamaže površino jekla in tvori žarišče pikčaste korozije. Zaradi dodatka štedila se čas luženja ne sme podaljšati. Ne sme vsebovati skupin (n. pr. cianidov), ki bi povzročale povečanje razmerja v jeklo difundirajočega vodika proti celokupno razvitemu. Poleg tega mora biti poceni, da ne podražuje luženja.

Ije smo ugotavljali, če so štedila obstojna pri pogojih luženja (temperatura, koncentracija kislin) in čas aktivnosti štedilnih lužin. Nadalje smo na različnih kvalitetah preizkušali štedilna sredstva, da bi ugotovili, katero deluje najbolj zavirajoče. Da bi ugotovili, kolikšna je nepotrebna izguba na kislino in osnovnem materialu, če delamo brez štedilnega sredstva, smo merili količino razvitega vodika pri luženju brez štedila in z uporabo štedil za posamezne kvalitete.

Količina razvitega vodika je merilo za reakcijo kisline z osnovnim materialom:



Za poskuse smo uporabljali žico in trakove različnih dimenzij in različnih kvalitete, z žarilne škatle. Konstantno temperaturo smo vzdrževali s pomočjo ultratermostata.

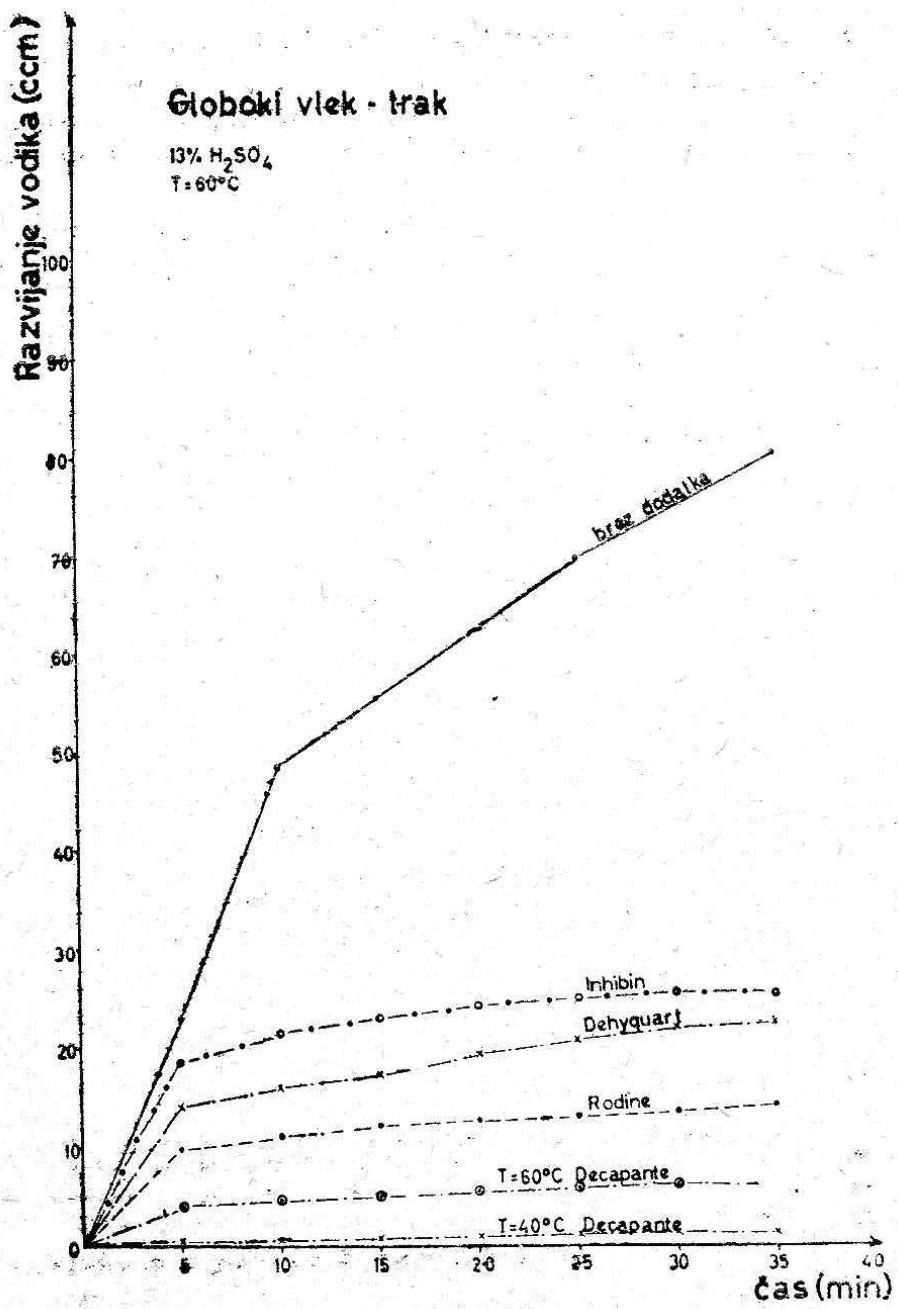


Diagram št. 3

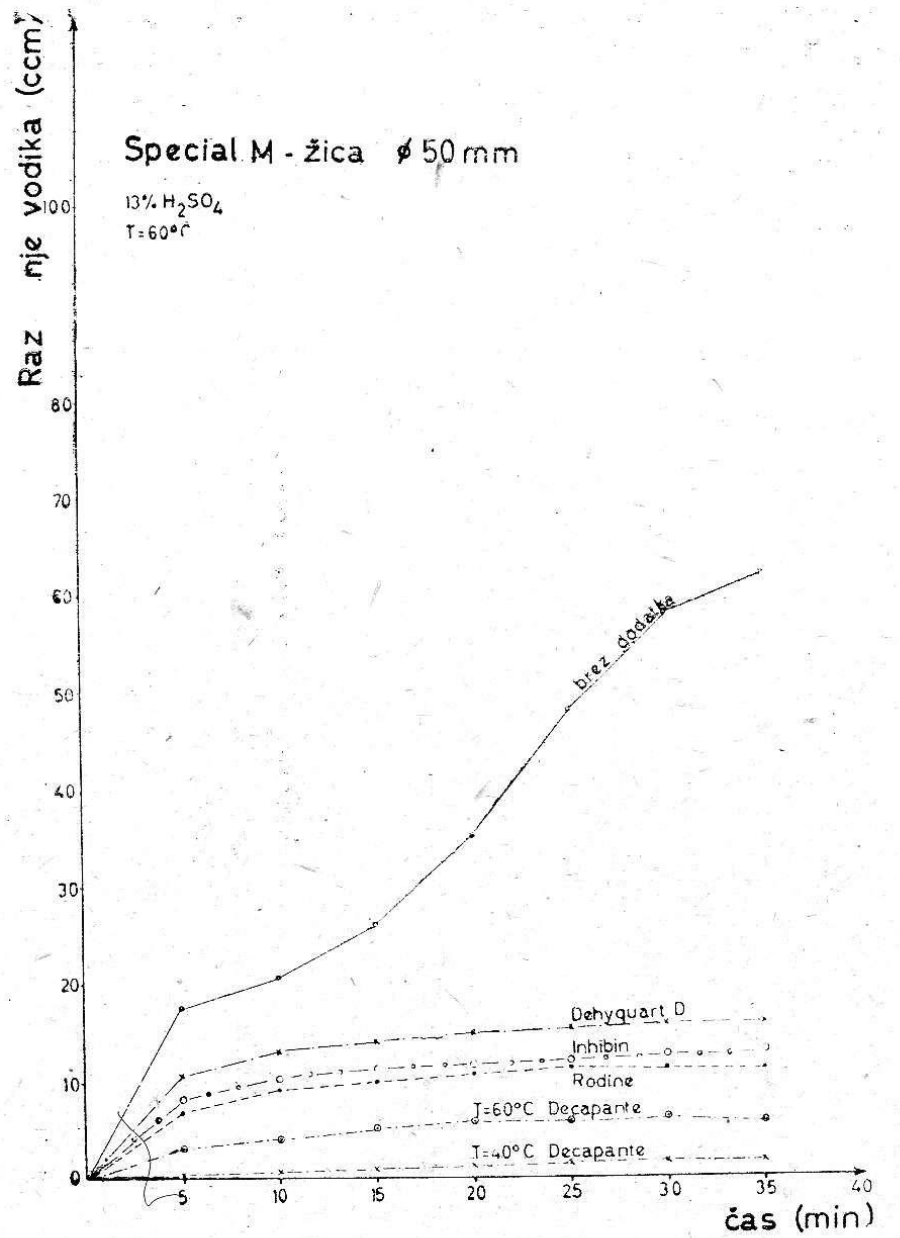


Diagram št. 5

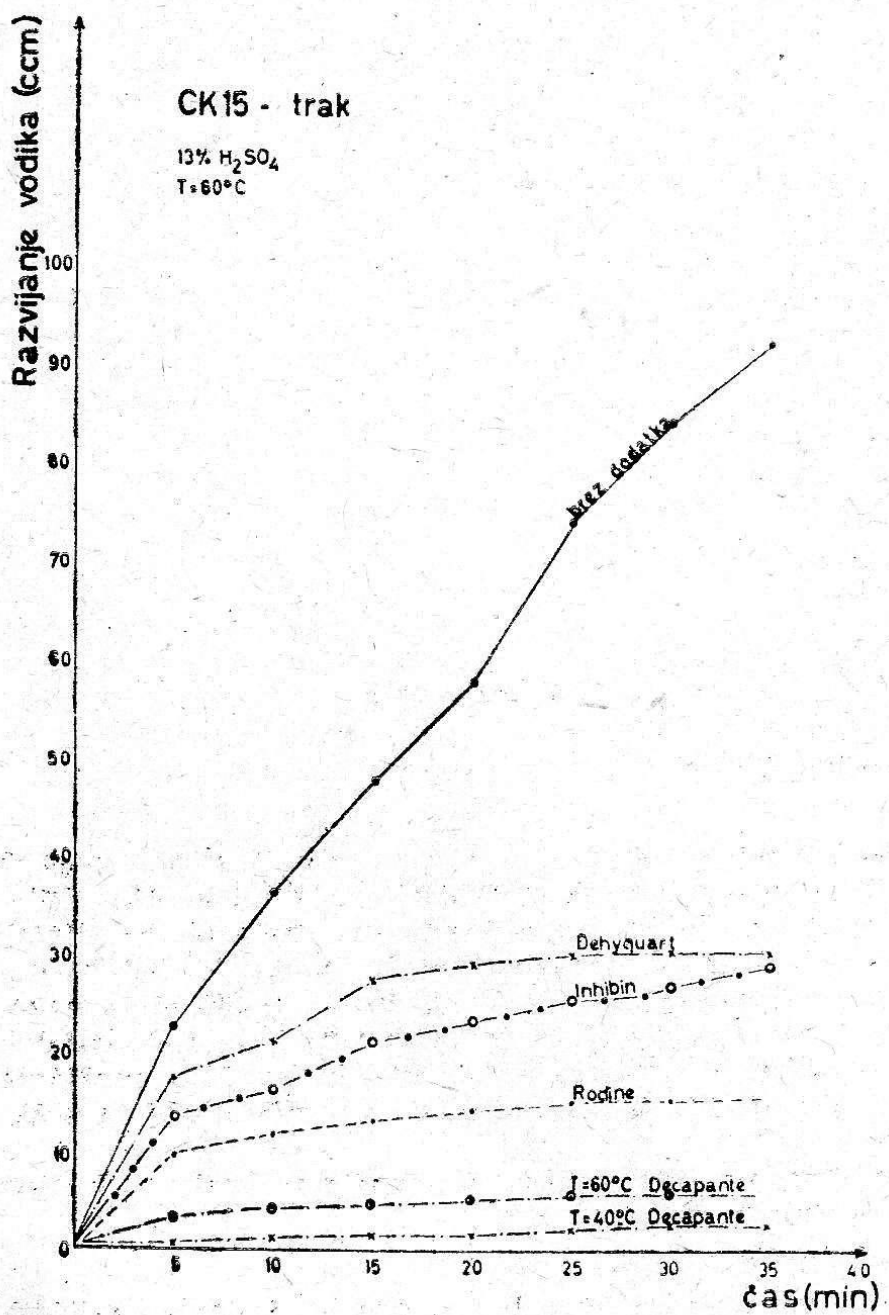


Diagram št. 4

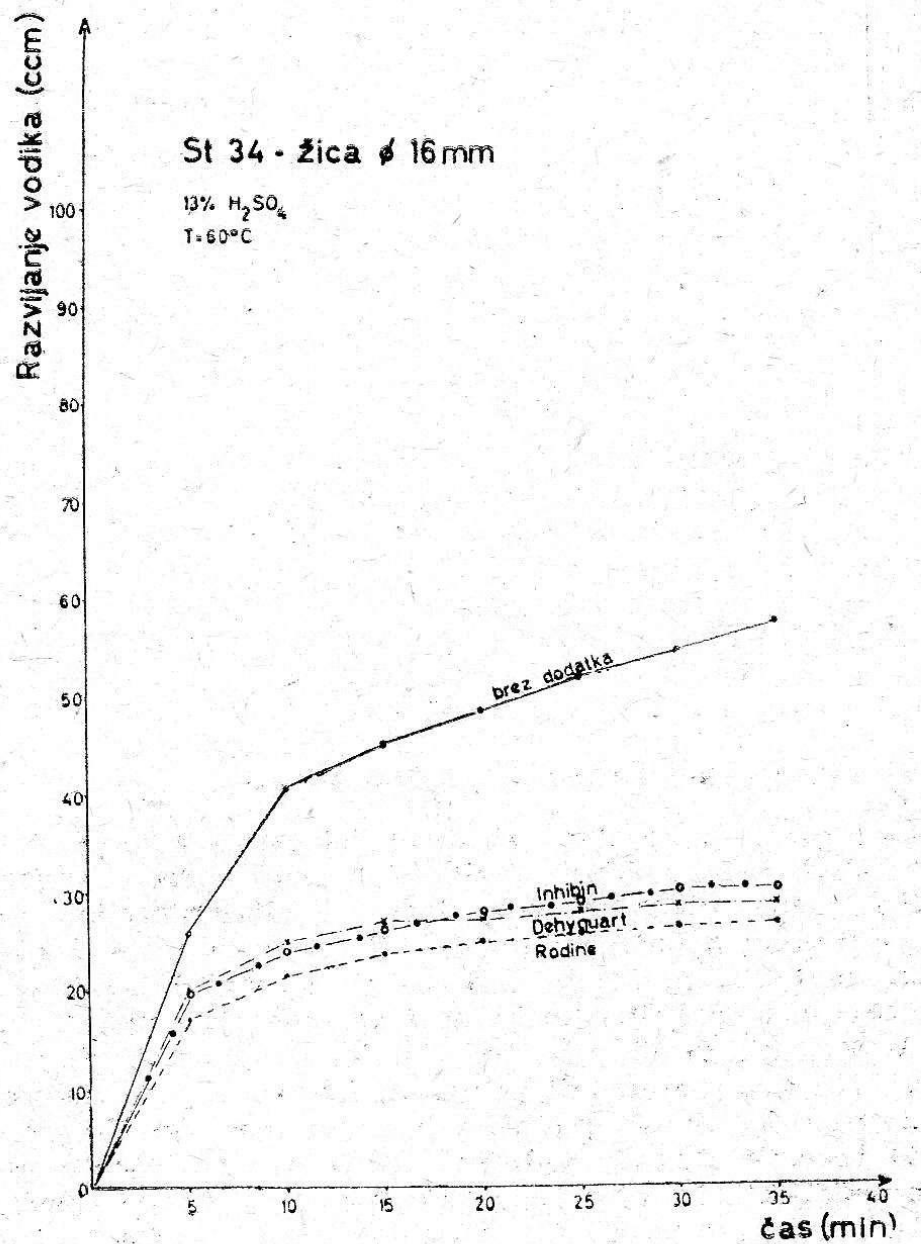


Diagram št. 6

Lužino smo že pred poizkusom segreli na temperaturo 60°C tako, da smo med poizkusom merili res le količino razvitega vodika, ne pa povečanje volumna zaradi izhlapevanja lužine. Količino razvitega vodika smo merili vsakih pet minut. Vzoredno s tem, poizkusom smo lužili še v odprti posodi, da smo lahko vzeli vzorec ven in ugotovili, kdaj je luženje končano. Razen pri legiranih vzorcih je material izlužen približno v 15 minutah, vendar smo poizkus vodili naprej do 35 minut, ker luženje v obratih, kjer kislina ne pride v dotiko z materialom v taki meri, kot pri laboratorijskem poizkusu, traja dalj časa.

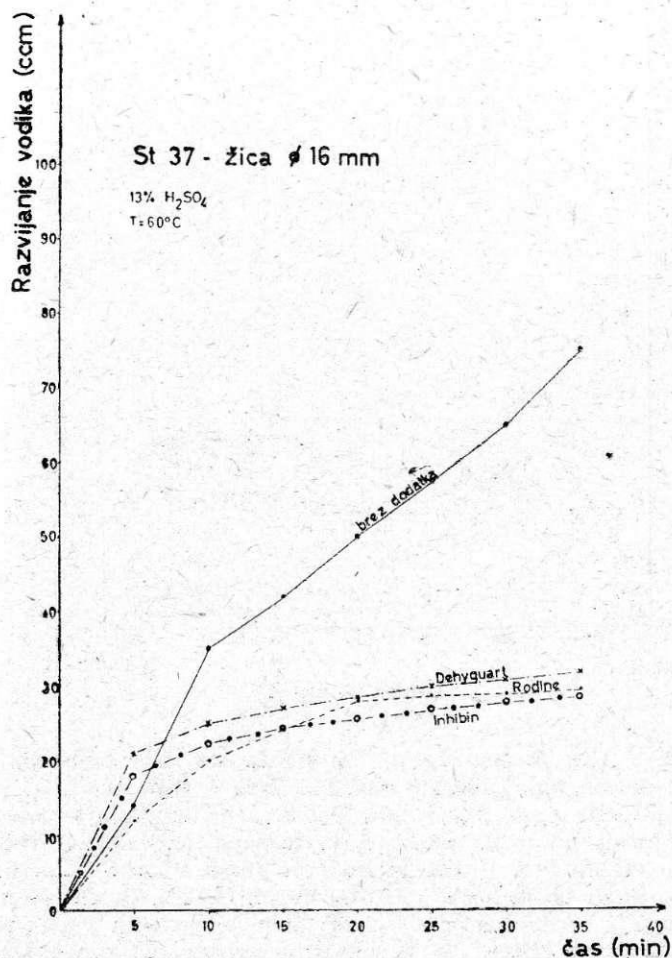


Diagram št. 7

Rezultati poizkusov:

Za posamezne poizkuse navajamo rezultate, izražene z diagrami in tabelami.

Koncentracije kisline in temperature luženja za posamezne kvalitete so podane na diagramih. Delali smo z 0,2 kg/m³ rodina, 0,4 kg/m³ dehyquarta D in 20 litri na kubični meter inhibina. Pri drugi količini štedil pa so koncentracije označene na diagramih.

Diagram št. 1 prikazuje vpliv različnih koncentracij štedil na razvijanje vodika za globoki vlek. Najmanjše potrebne in zadostne količine zaviralnih sredstev so: za rodine 0,02 %, za dehyquart D 0,04 % in za inhibin 2 %. Če količine zaviralnih sredstev zvišamo, se stopnja zaviranja ne pospeši proporcionalno, ampak v veliko manjši meri. To nam kaže tudi diagram. Večje količine zaviralnega sredstva pa so lahko celo škodljive, ker poteka luženje počasneje.

Diagram št. 2 prikazuje aktivnost štedilnega sredstva med luženjem. Zaviralni sredstvi rodine in dehyquart sta obstojni pri povišani temperaturi in povečani koncentraciji kisline (preizkusili smo ju do temperature 90°C in koncentracije 24 % žveplene kisline) in ohranila svoje zaviralne lastnosti. Za inhibin zaradi slabših zaviralnih sposobnosti, oziroma prevelike potrebne količine 20 litrov

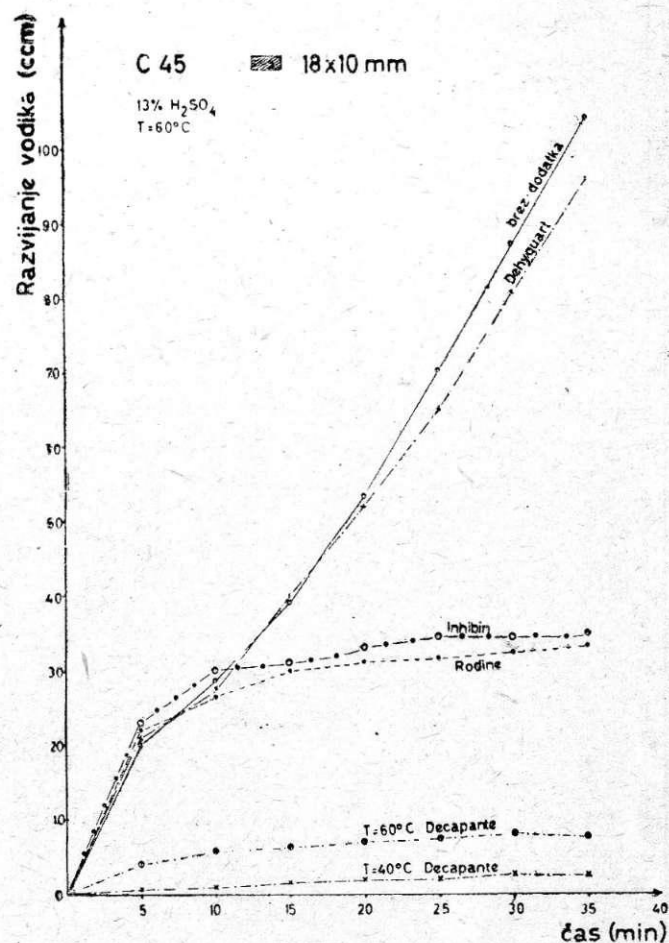


Diagram št. 8

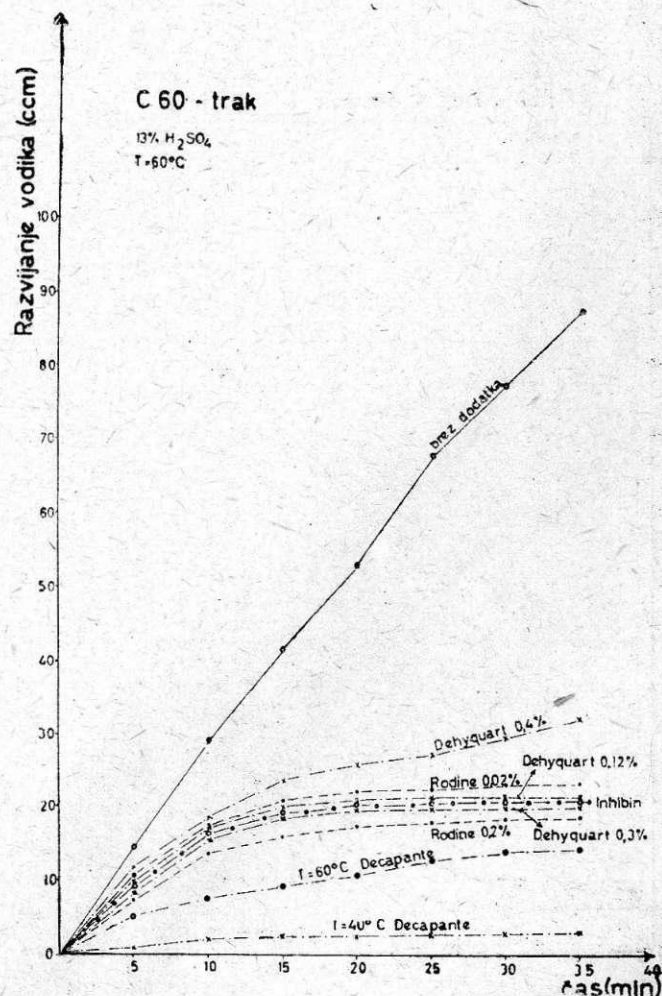
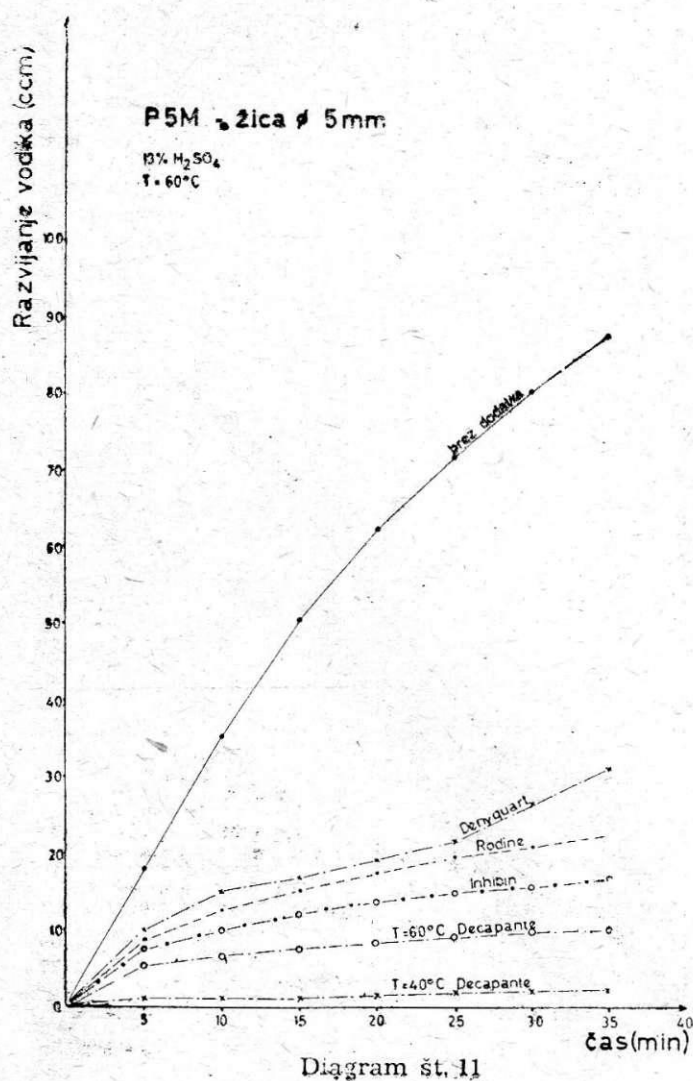
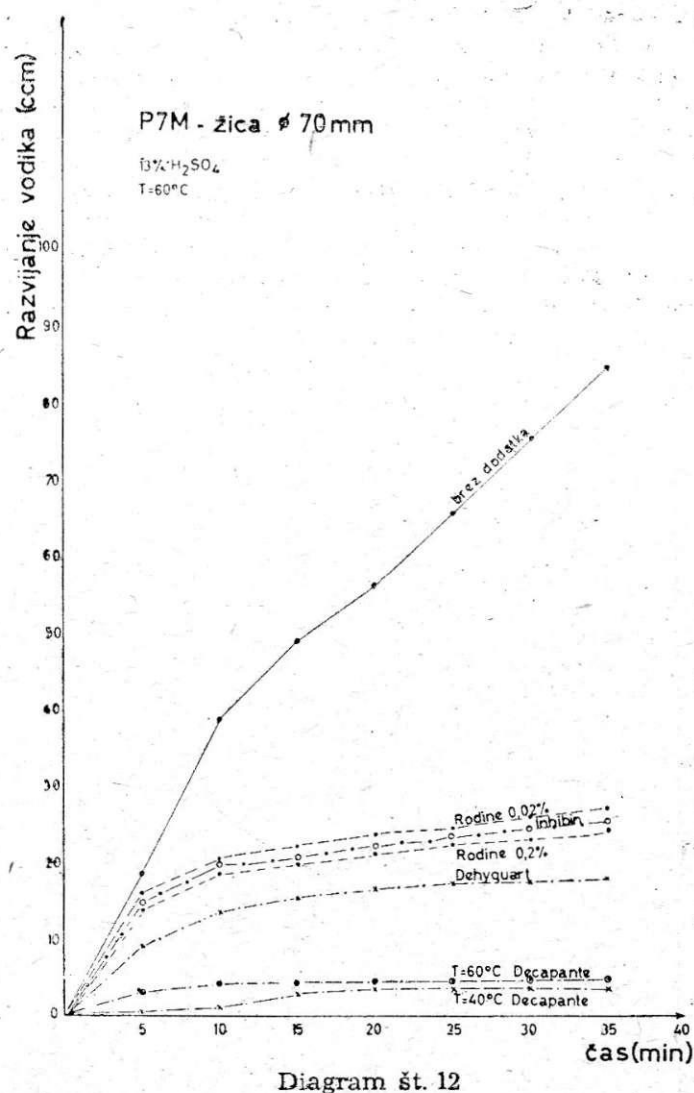
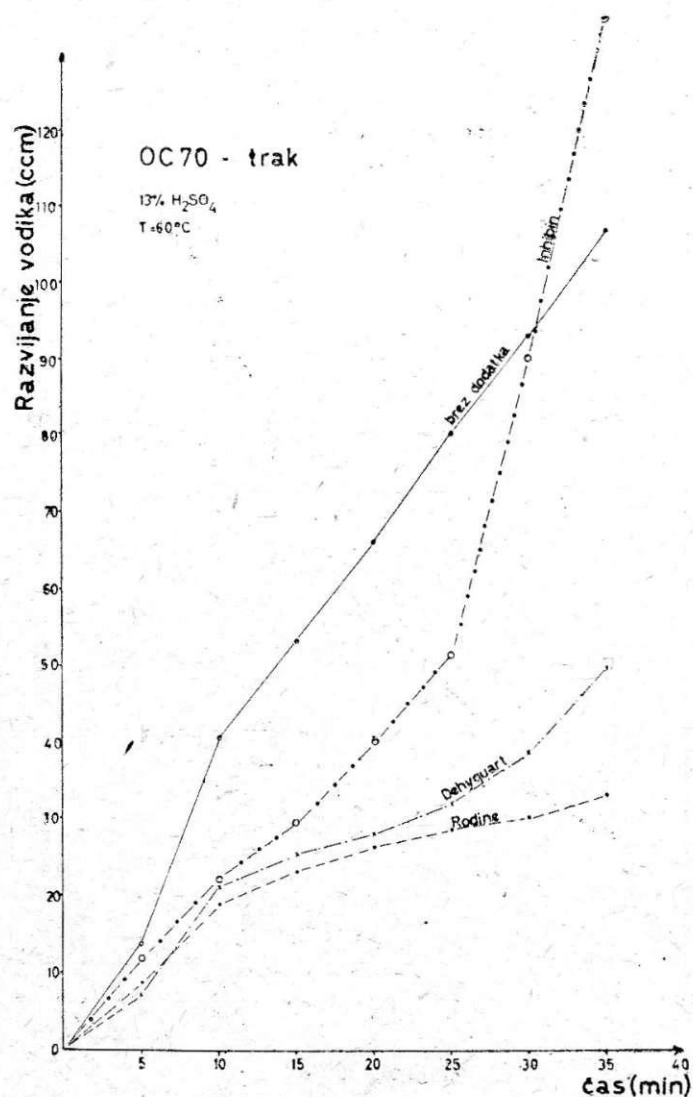


Diagram št. 9



na m³ lužine, nismo delali teh poizkusov, ker smo smatrali, da ne more konkurirati ostalima štediloma.

Ugotovili smo, da imata rodine in dehyquart poleg obstojnosti proti temperaturi in koncentraciji kislin tudi trajno delovanje. V isti lužini smo lužili vzorce tako, da smo pričeli lužiti s 13 % H₂SO₄ in smo lužili, dokler koncentracija ni padla na 5 %. Pri tem je narasla vsebnost železa na 67 g/liter. To je navadno zahtevana koncentracija železa za regeneracijske naprave. Merili smo za vsak vzorec količino vodika po 40 minutah luženja. Ker se ta za iste kvalitete v toku posameznih luženj ni večala, je to znak, da je štedilno delovanje sredstva ostalo nespremenjeno. Vendar pa je treba v obratih od časa do časa dodajati lužini štedilo, ker se ga nekaj znosi iz lužine z materialom, nekaj pa se ga okludira na zeleno galico. Ker je računsko nemogoče določiti količino izgubljenega štedila, je najbolje, da pri vsakem obnavljanju ožiroma poostrenju kisline dodamo nekaj štedilnega sredstva. Vendar manj, kot je predpis, ker ga je nekaj še v luži.

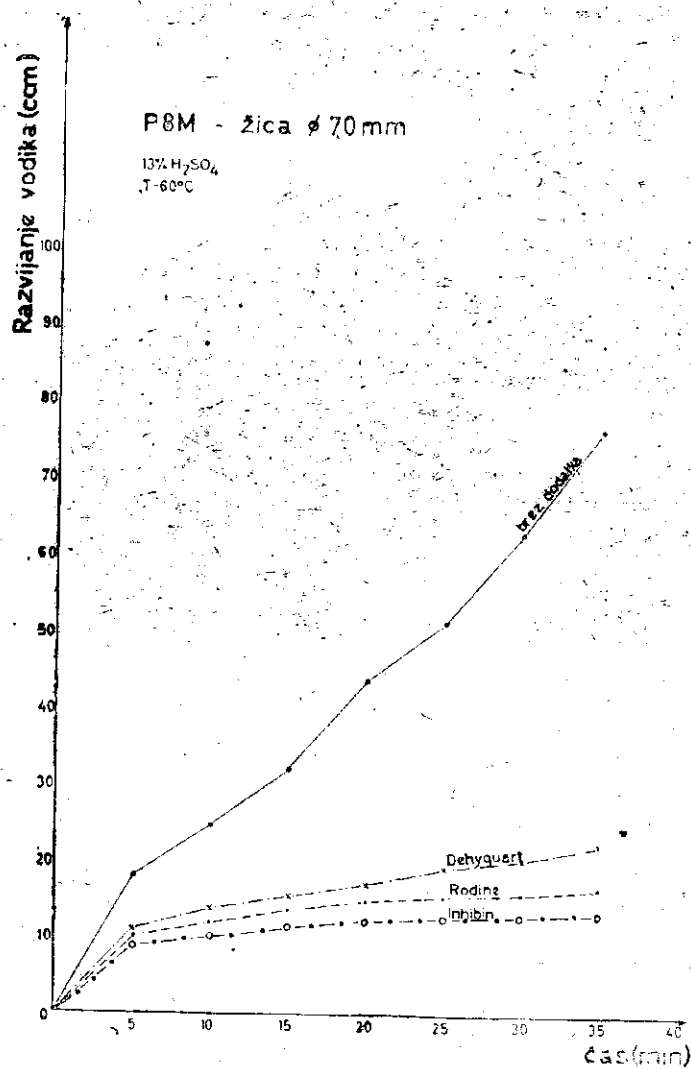
Diagrami št. 3–21 prikazujejo vpliv delovanja posameznih štedilnih sredstev v primerjavi z luženjem brez sredstev za posamezne kvalitete, kar izražamo s količino razvitega vodika v določenem času. Tabele pa prikazujejo pri teh poizkusih ugotovljeno količino izgub 75 %-ne H₂SO₄ in osnovnega materiala na tono luženega materiala, preračunano iz razvitega vodika. Posameznim vzorcem smo določali tudi izgubo na težji in količine železa v raztopini H₂SO₄ po luženju. Ker ta dva podatka ne dasta nobene jasne slike o luženju zaradi neenakomerne debeline škaje in različne topnosti škaje, jih v poročilu nismo upoštevali.

V tabelah podajam tudi stopnjo zaviranja posameznih štedilnih sredstev v procentih, ki predstavlja:

$$\frac{G_c - G_i}{G_c} \cdot 100 = \text{stopnja zaviranja}$$

G_c = izguba osnovnega materiala v čisti kislini

G_i = izguba osnovnega materiala v inhibirani kislini



LUŽENJE 15 min. LUŽENJE 30 min.

Kvaliteta		Izguba železa kg/t	Izguba H ₂ SO ₄ 75% kg/t	Stopnja zaviranja %	Izguba železa kg/t	Izguba H ₂ SO ₄ 75% kg/t	Stopnja zaviranja %
Gl. vlek	1.	6,76	15,18	—	9,73	22,90	—
	2.	1,86	4,40	72	2,39	5,65	75
	3.	2,64	6,22	61	2,88	6,80	70
	4.	1,39	3,28	79	1,60	3,78	83
	5.	0,46	1,07	93	0,61	1,44	93
	6.	0,09	0,21	98	0,12	0,28	98

Sp. M. M.	1.	2,35	5,58	—	7,48	17,60	—
	2.	1,53	3,60	43	1,76	4,16	76
	3.	1,33	3,14	47	1,58	3,72	78
	4.	1,14	2,68	51	1,39	3,28	81
	5.	0,30	0,71	87	0,35	0,82	95
	6.	0,06	0,14	97	0,08	0,18	98

OK 15	1.	2,23	5,25	—	4,30	10,10	—
	2.	1,38	3,28	38	1,55	3,65	64
	3.	0,90	2,12	59	1,26	2,85	70
	4.	0,74	1,74	67	0,91	2,17	79
	5.	0,21	0,49	90	0,35	0,82	92
	6.	0,09	0,21	96	0,15	0,35	96

St 34	1.	4,18	9,88	—	5,34	12,60	—
	2.	2,38	5,62	42	2,57	6,08	52
	3.	2,34	5,52	44	2,70	6,37	49
	4.	2,12	5,00	49	2,50	5,90	52

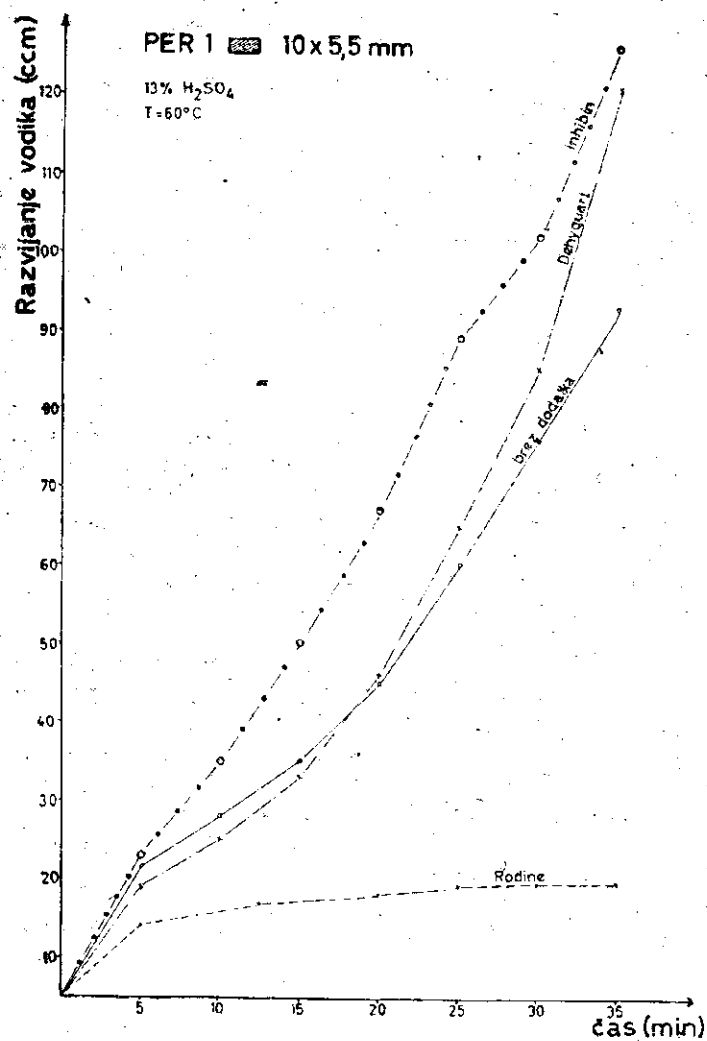
St 37	1.	2,50	5,90	—	4,75	11,20	—
	2.	1,30	3,07	48	1,55	3,66	67
	3.	1,16	2,74	53	1,41	3,32	70
	4.	1,07	2,52	57	1,30	3,07	72

C 45	1.	0,63	1,48	—	1,55	3,66	—
	2.	0,64	1,51	—	1,43	3,37	7
	3.	0,51	1,20	19	0,57	1,34	63
	4.	0,50	1,18	21	0,53	1,25	66
	5.	0,06	0,14	90	0,07	0,16	95
	6.	0,01	0,02	98	0,02	0,04	99

C 60	1.	3,56	8,40	—	7,45	17,60	—
	2.	1,59	3,75	55	1,71	4,06	77
	2 a.	1,70	4,00	50	1,96	4,65	73
	2 b.	1,16	2,64	67	1,33	3,14	82
	3.	1,47	3,46	58	1,70	4,00	77
	4.	1,60	3,78	55	1,80	4,25	76
	4 a.	1,06	2,50	70	1,23	2,90	83
	5.	0,25	0,59	93	0,40	0,94	94
	6.	0,08	0,18	97	0,08	0,18	99

OC 70	1.	2,81	6,60	—	4,42	10,40	—
	2.	1,28	3,02	54	2,53	5,97	42
	3.	1,59	3,75	43	7,68	18,10	—
	4.	1,23	2,90	56	1,77	4,18	60

P 5 M	1.	3,95	9,30	—	7,15	16,80	—
	2.	1,40	3,30	64	2,55	6,00	64
	3.	1,13	2,66	71	1,65	3,85	77
	4.	1,85	4,36	53	2,79	6,59	61
	5.	0,71	1,67	82	0,95	2,24	86
	6.	0,09	0,21	97	0,09	0,21	98

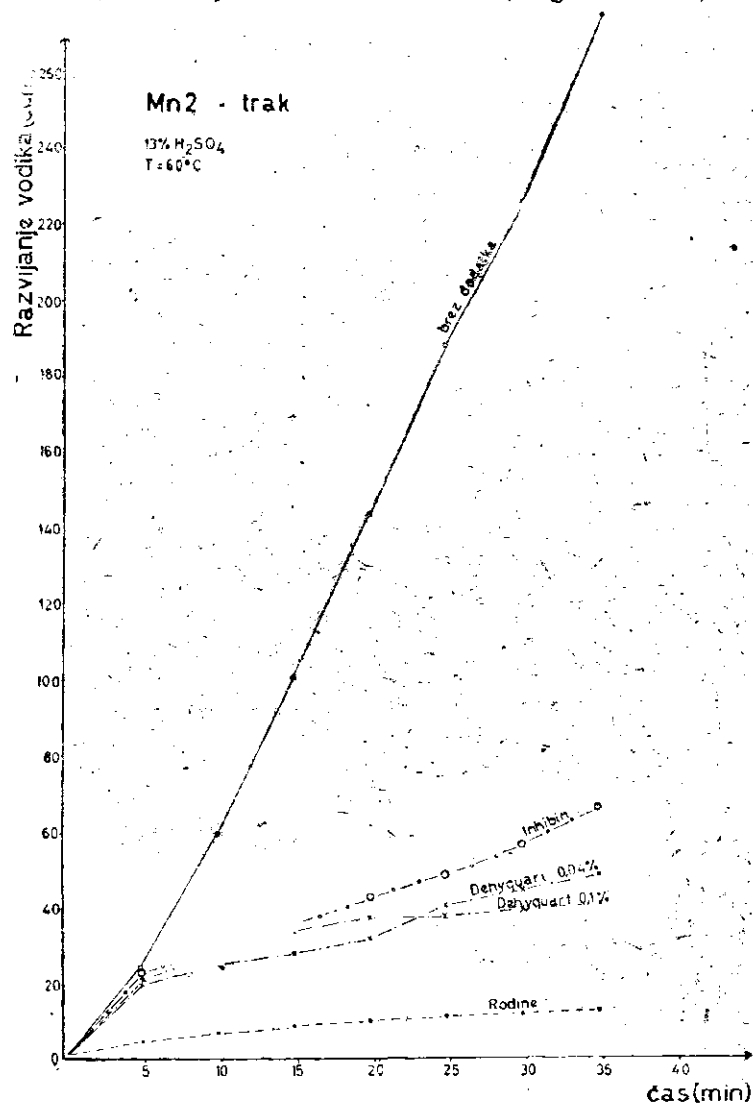


LUŽENJE 15 min. LUŽENJE 30 min.

Kvaliteta		Izguba železa kg/t	Izguba H_2SO_4 75% kg/t	Stopnja zaviranja %	Izguba železa kg/t	Izguba H_2SO_4 75% kg/t	Stopnja zaviranja %
P 7 M	1.	3,27	7,70	—	5,62	13,20	—
	2.	0,97	2,28	70	1,13	3,07	79
	3.	1,32	3,12	60	1,60	3,88	71
	4.	1,34	3,16	59	1,64	3,87	70
	4 a.	1,30	3,06	60	1,56	3,68	72
	5.	0,26	1,61	92	0,32	0,78	94
	6.	0,23	0,54	93	0,29	0,68	94
P 8 M	1.	2,14	5,05	—	5,08	12,00	—
	2.	1,54	3,64	28	2,18	5,15	57
	3.	1,20	2,83	44	1,46	3,44	71
	4.	1,18	2,79	44	1,40	3,30	72
PER 1	1.	1,79	4,22	—	4,76	11,20	—
	2.	1,69	3,98	5	6,20	14,00	—
	3.	2,53	5,96	—	6,45	15,20	—
	4.	0,82	1,93	54	0,97	2,29	80
Mn 2	1.	5,02	11,80	—	21,10	49,50	—
	2.	1,25	2,95	75	3,40	8,05	84
	2 a.	2,20	5,40	56	3,10	7,31	85
	3.	1,94	4,85	61	4,10	9,63	80
	4.	0,19	0,40	96	0,44	1,04	98
30 Mn 5	1.				1,00	2,36	—
	2.				0,38	0,90	62
	3.				0,44	1,04	56
	4.				0,34	0,80	66
34 CrMo 4	1.				1,00	2,36	—
	2.				0,94	2,22	6
	3.				0,44	1,04	56
	4.				0,27	0,63	73
OCR 4	1.				1,03	1,80	—
	2.				0,77	1,82	25
	3.				0,62	1,46	39
	4.				0,47	1,11	54
	5.				0,13	0,30	87
	6.				0,03	0,07	97
UTOP	1.	1,50	3,54	—	2,59	5,90	—
	2.	0,22	0,52	85	0,86	2,03	65
	3.	0,47	1,11	69	1,16	2,74	54
	4.	0,07	0,16	95	0,12	0,28	95
Prokron 2	1.				3,20	7,55	—
	2.				0,36	0,85	83
	3.				0,79	1,86	75
	4.				0,24	0,56	92
Prokron 11	1.				2,69	6,30	—
	2.				0,61	1,44	77
	3.				0,48	1,13	82
	4.				0,23	0,54	91

1. Brez štedilnega dodatka
2. 0,4 kg/m³ dehyquarta
2 a. 4 kg/m³ dehyquarta
2 b. 3 kg/m³ dehyquarta
3. 20 litrov/m³ inhibina
4. 0,2 kg/m³ rodine
4 a. 2 kg/m³ rodine
5. Decapant LDG, T = 60°C
6. Decapant LDG, T = 40°C

Iz diagramov št. 3 do št. 21, ki nam kažejo razvijanje vodika v odvisnosti od časa luženja za posamezne kvalitete in iz tabel, ki prikazujejo izgubo osnovnega materiala in porabo kisline za reakcijo čistega železa s kislino ter stopnjo zaviranja, vidimo, da se z uporabo štedilnih sredstev močno zniža razvijanje vodika in s tem izguba materiala in poraba kisline. Vendar se ne obnašajo vsa štedilna sredstva enako in tudi odvisno od kvalitete luženega materiala. N. pr. pri Per 1 se pri luženju z inhibinom in dehyquartom razvija celo več vodika kot brez štedila, rodine pa zavira zelo dobro (diagram št. 14).



Od treh preizkušenih štedil kaže najboljše rezultate na vse zahteve rodine skoro pri vseh kvalitetah: stopnja zaviranja je najvišja in potrebne so minimalne količine. Je trden bel prah in se ga lahko dozira. Nima neprijetnega vonja in pri tej koncentraciji ne povzroča penjenja. Tudi dehyquart daje še kar dobre rezultate z razmeroma nizkimi koncentracijami 0,4 kg/m³. Ima neprijeten vonj in povzroča pri nekaterih kvalitetah penjenje. Ker je v obliki temne viskozne tekočine, je doziranje tudi lahko. Inhibin da pri koncentraciji 20 litrov na m³ približno take rezultate kot dehyquart, vendar zaradi velike potrebne količine ne pride v poštev.

Nobeno od štedilnih sredstev pa ne doseže pri nobeni kvaliteti stopnje zaviranja 90 %, kar bi dobro štedilno sredstvo moralo. Kljub temu se splača lužiti s štedilom, ker so potrebne zelo majhne količine, cene niso visoke in imamo poleg precejšnjega prihranka, posebno v lužilnicah, kjer ni regeneracije, s katero bi pridobili izgubljeno železo in kislino v obliki ferrosulfata nazaj, še druge prednosti: bolj čista atmosfera v lužilnicah, manjša korozija naprav in predvsem zmanjšana lužilna krhkost luženega materiala.

Pri vseh poizkusih se vidi, da štedilo prvih pet minut nima posebnega učinka na raztapljanje železa. Količina

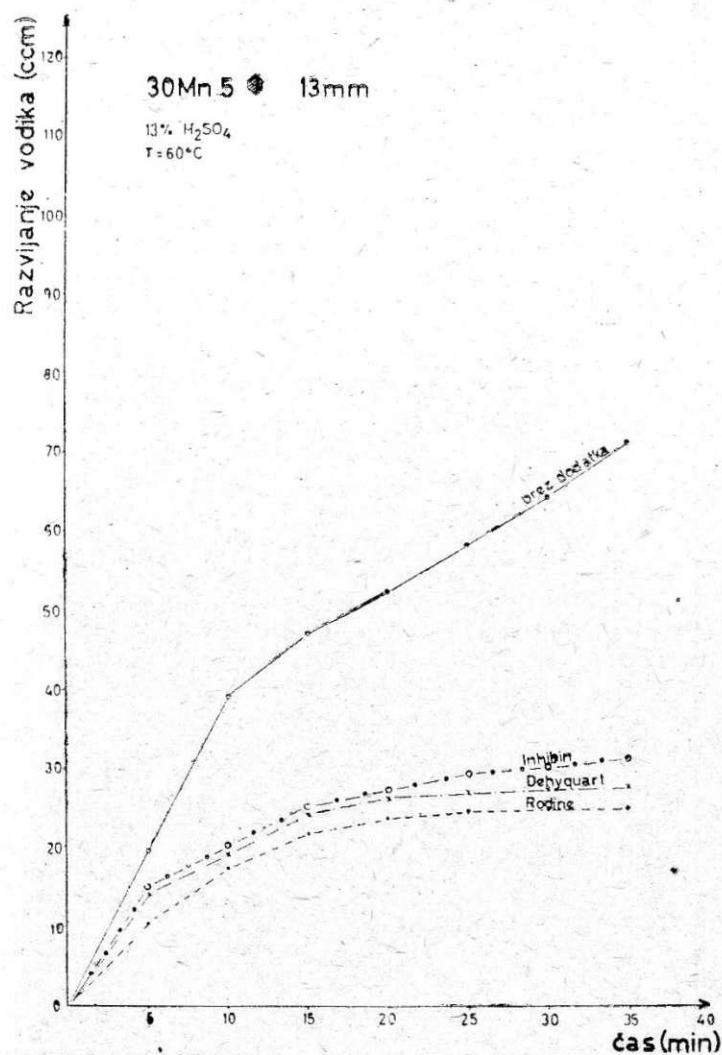


Diagram št. 16

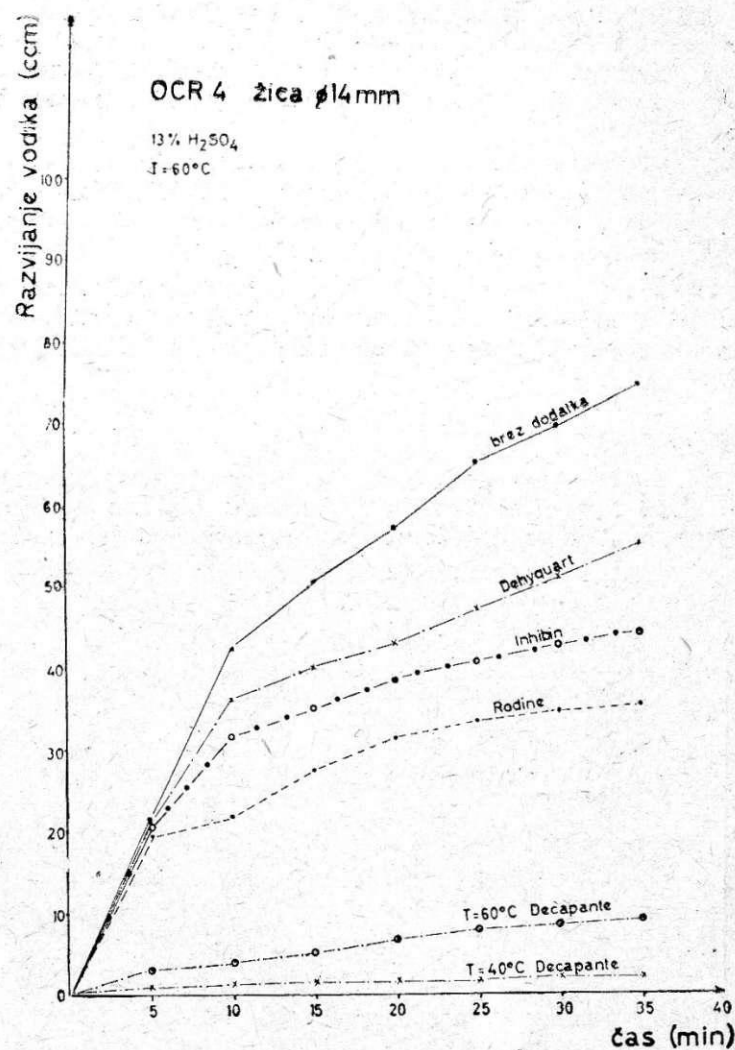


Diagram št. 18

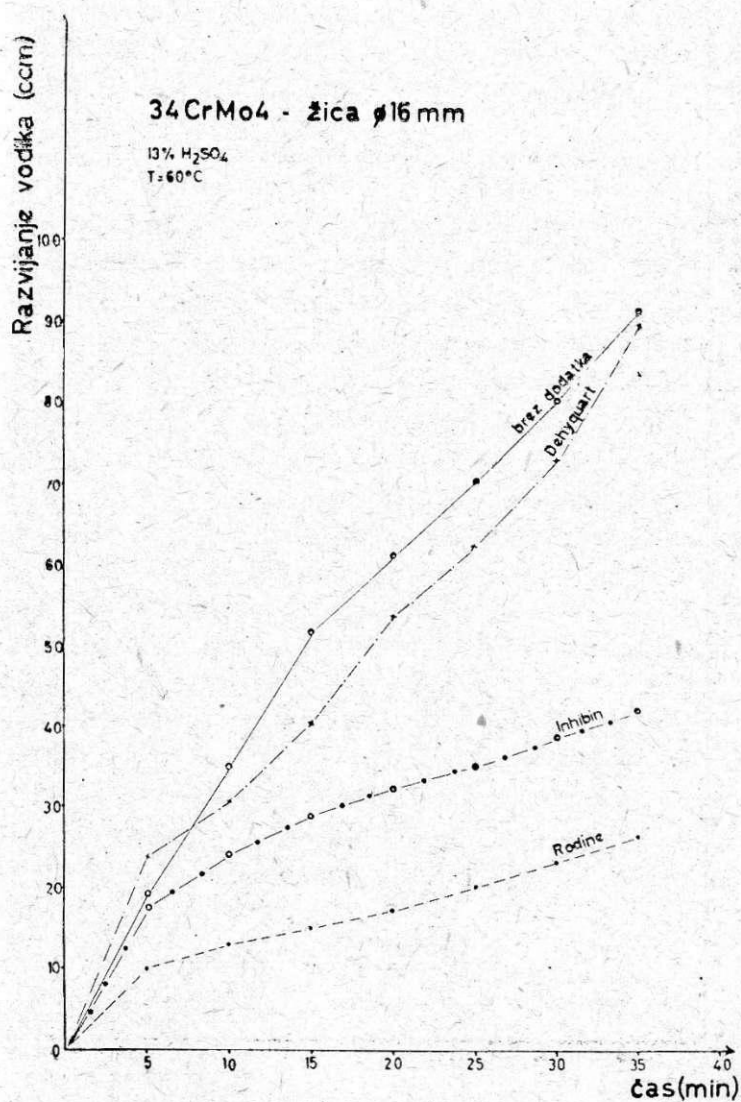


Diagram št. 17

razvitega vodika je približno enaka pri luženju brez štedilnega dodatka in z dodatki. To nekako potrjuje teorijo delovanja štedilnih lužin v obliki filma, ki se tvori na površini. Prvih pet minut film še ni stvorjen in reakcija kisline z železom poteka približno tako kot brez štedila.

Zaviralna stopnja doseže opazno vrednost po preteku določenega časa (navadno 5 minut). Stopnja zaviranja raste s časom luženja. To pride do izraza v obratih, ker traja luženje navadno dalj časa, kot je navedeno pri naših poskusih, ker je okrog vzorca povsod dovolj kisline. V obratih, kjer ni vedno tako in imamo vedno večje ali manjše površine, kjer se material drži tesno skupaj in kislina le težko pride do površine, je treba dalj časa lužiti. Na drugih mestih je zaradi tega čas učinkovanja daljši, kar lahko povzroči močno preluženje in lužilno krhkost ob povečani porabi kisline. Če je dodano štedilno sredstvo, je možnost teh napak manjša. Istočasno lahko lužimo z bolj koncentriranimi kisljinami, kar poveča kapaciteto lužilnic in obenem ugodno vpliva na regeneracijo FeSO₄ · 7 H₂O (tako v predelovalnih obratih z Ruthnerjevo regeneracijsko napravo znižamo koncentracijo železa na 40 g/l le, če delamo s predpisano koncentracijo žveplene kisline, to je z 20 % H₂SO₄).

Luženje z »Decapantom« LDG:

Poseben primer je luženje z decapantom italijanske firme »Serin«. To je lužilna kislina ali zmes kislín z že dodanim štedilnim sredstvom.

Pri sobni temperaturi poteka luženje tako počasi, da za naše obrate ne pride v poštev (1/2 do 1 ure, pri nekaterih kvalitetah še dalj). Pri temperaturi 40°C je luženje končano v povprečno 15 minutah, pri temperaturi 60°C pa v 5–10 minutah. Kot iz diagramov vidimo, mora lužina vsebovati res idealno štedilno sredstvo, ker so količine razvitega vodika pri luženju pri 40°C in 60°C minimalne, pri sobni temperaturi pa tako majhne, da jih nismo mogli meriti. Lužina vsebuje verjetno pretežno HCl, ker poteka luženje predvsem v obliki raztapljanja škake in ne v

razstrelilni dejavnosti razvijajočega se vodika. Torej ne more priti do lužilne krhkosti in lužilnih mehurjev. Površina luženega materiala je čista in gladka. Lužina se počasi izrablja. Vprašanje pa je, kako naj bi regenerirali odpadno lužino.

Če pogledamo tabele, vidimo, da bi smela biti lužina decapant približno 10–15-krat dražja od 75 % H_2SO_4 pri isti aktivnosti, da bi jo zaradi dobrih lastnosti lahko uporabljali za naše obrate.

Opomba: V obratih je količina porabljene kisline za reakcijo z elementarnim železom relativno manjša, kot pri naših poizkusih, kjer je površina brez škafe večja, kot v obratih.

Zaključki

Naši poizkusi so pokazali, da lužilna zmes decapant LDG daje najboljše rezultate. Vsebuje idealno štedilno sredstvo, s katerim dosežemo stopnjo zaviranja povprečno

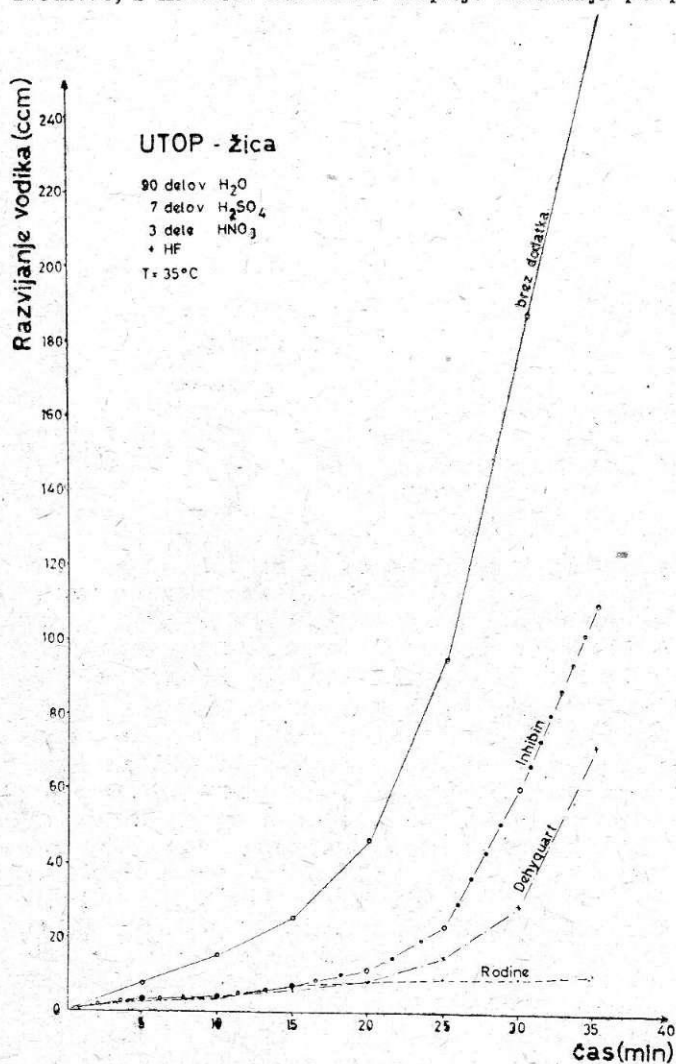


Diagram št. 19

nad 94 %. Če bi imeli tako dobro štedilno sredstvo, bi močno zmanjšali izgubo osnovnega materiala in porabo kisline. Količina ferrosulfata, ki ga danes le težko plasiramo na tržišču, bi bila precej manjša in s tem manjši problem regeneracije. Ker pa zaenkrat tako idealnega štedila nimamo na razpolago, predlagamo na podlagi rezultatov naših poizkusov in podatkov iz literature za luženje navadnih kvalitet 15 do 20 % raztopino žveplene kisline z dodatkom 200 g/m³ A. C. P. Rodine pri temperaturi 60–70°C, ker tudi cena ni pretirana (675 din/kg rodine). Pri luženju s solno kislino in pri luženju legiranih jekel z drugimi kisljinami priporočamo isto količino štedilnega sredstva, da preprečimo raztapljanje jekla, čeprav napake zaradi vodika pri solni in solitni kislini daleč niso tako velike, kot pri žvepleni kislini.

Nikakor pa ne priporočamo za štedila uporabo katrana, kleja, mila in podobnih organskih snovi, ker povzročajo močno penjenje. V peni se nabira umazanija, ki lahko

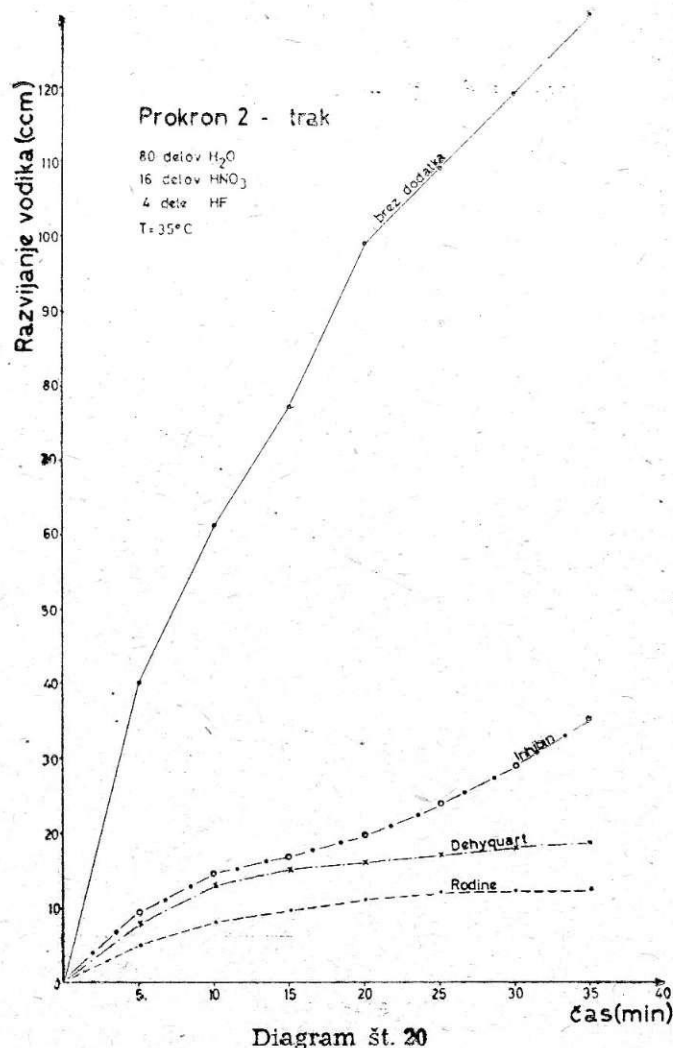


Diagram št. 20

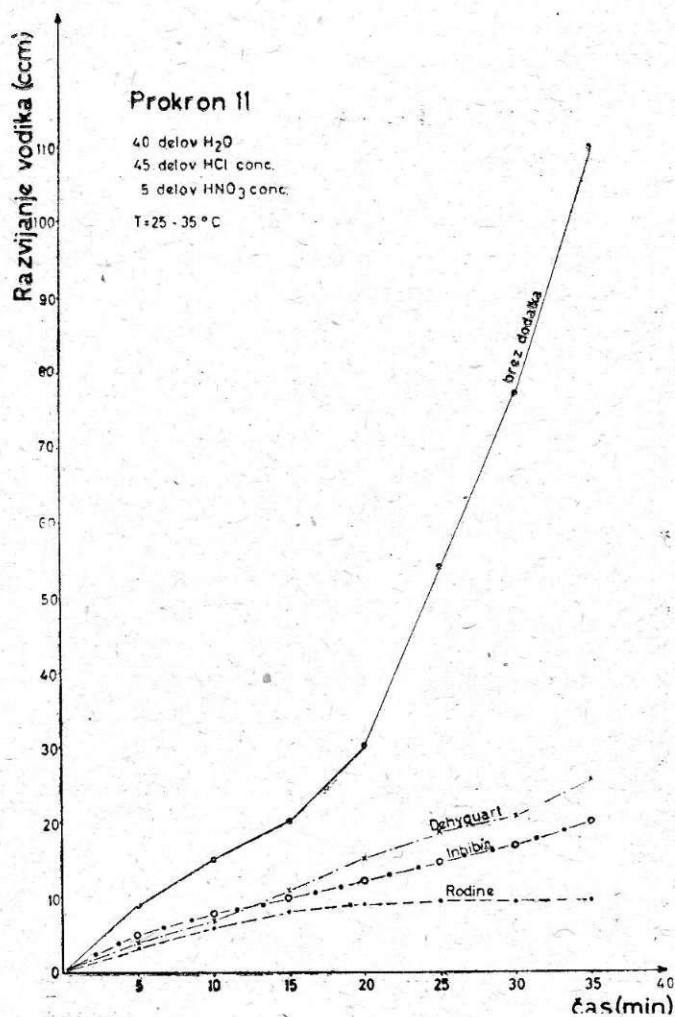


Diagram št. 21

škoduje na dva načina. Na luženem materialu se tvorijo lokalni galvanski členi, kar povzroča točkasto korozijo. Na drugi strani se pene z umazanijo in kristali ferrosulfata oprimejo površine in jih težko speremo. Kvarijo videz materiala, n. pr. pri dekapirani pločevini, obenem lahko škodujejo pri nadaljnji površinski obdelavi.

Štedilno sredstvo da niz dobrih lastnosti, zato ne bi smelo biti lužilnice, ki bi delala brez njega; zmanjša se poraba kisline, razkroj in izguba osnovnega materiala. Proces luženja se ne podaljša, površina luženega materiala je lepša in luženje je enakomernije. Zato odpade vrsta napak, kot so vodikova krhkost in mehurji, preluženje in temni madeži, ker se razkroj materiala ustavi in se na njem ne izloča ogljik ter oksidi in karbidi jekla. Tudi viskoznejša jekla pri uporabi štedilne lužine lahko lužimo z bolj koncentrirano kislino.

Tudi pri legiranih jeklih moramo vedno delati s štedilnimi sredstvi, ker je material dragocen, ne moremo pa dobiti legiranih elementov nazaj z regeneracijo.

Da bi izdali splošni predpis za luženje, bi bilo potrebno vršiti poskuse z različnimi koncentracijami kislin in različnimi količinami štedilnih sredstev. Vzporedno bi morali preizkušati mehanske lastnosti: trdnost, razteznost, upogibno število in kontrakcijo, ker bi le tako lahko točno

dognali, katera koncentracija kisline in dodatkov je najprimernejša in kako različni pogoji luženja vplivajo na mehanske lastnosti materiala. Ni dovolj, da gledamo le na lepo površino materiala in tudi količina razvitega vodika ni vedno zadostno merilo za poškodbe materiala.

V naših lužilnicah poteka luženje v glavnem še po starih, nenapisanih izročilih. Štedilnih sredstev v glavnem ne uporabljajo, ne kontrolirajo redno koncentracije kislin in železa in temperature luž. Tudi s higiensko tehničnega stališča vse lužilnice ne odgovarjajo predpisom. Vse to vodi k nepotrebnim stroškom, kar bo treba s sistematičnim proučevanjem, izboljšavami in dnevno kontrolo odpraviti.

Literatura:

1. O. Vogel: Handbuch der Metallbeizelei, Verlag Chemie, Berlin 1943
2. Stahl und Eisen, 25/1959
3. Bablik: Grundlagen des Verzinkens
4. A. Pomp: Stahldrath, Verlag Stahleisen, Düsseldorf 1941
5. Archiv für das Eisenhüttenwesen, 4/1929

Ing. PAVLE SESEK

DK 628.511

Elektrostatični plinski čistilci

U v o d

Železarna Jesenice ima že dalj časa namen dograditi nove plinske čistilce. Konstruktivno so čistilci zasnovani, ne da bi bil projekt s teoretske strani osvetljen. Zanimiva je primerjava naših parametrov s parametri, ki jih tehnika elektrostatičnega čiščenja priporoča.

TEORETSKE OSNOVE

Za razumevanje dogajanja v plinskem čistilcu je potrebno osvežiti nekaj osnovnih pojmov iz teoretske elektrotehnike.

Elektrostatika, kamor spada obravnavani pojav, govori o mirujočih električnih množinah, ki povzročajo električna stanja v prostoru.

Pod električnimi množinami pa razumemo pozitivne ali negativne naboje. V elektrostatici obravnavamo pojave, pri katerih smatramo, da električne množine mirujejo. Pri tem slednje vedno izvajajo nek vpliv na svojo prostorninsko okolico; to električno stanje opisuje teoretska elektrotehnika s pojmom električne poljske jakosti E in z električnim potencialom φ oziroma potencialno razliko — napetostjo U .

Kaj se dogaja z nabojem, ki je zašel v vplivno stanje drugega naboja? Med njima se pojavijo odbojne ali privlačne mehanske sile. Velikost sile je enaka:

$$S = Q \cdot E$$

pri čemer pomeni: Q = električni naboj

E = električna poljska jakost

S = mehanska sila

Električne poljske jakosti so za znane naboje in geometrično pravilne nosilce elektrenine izračunljive.

Tako velja za električno poljsko jakost, ki jo povzroča točkast naboj Q_1 enačba:

$$E_1 = \frac{Q_1}{4 \cdot \pi \cdot \epsilon} \cdot \frac{1}{r^2}$$

pri čemer pomeni:

Q_1 = točkast naboj

ϵ = dielektrična konstanta snovi

r = oddaljenost obravnavane točke od središča točkastega naboja

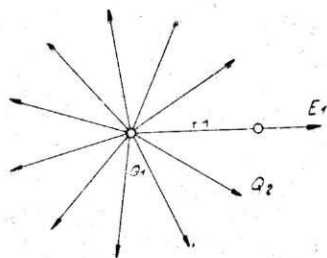
Če se nahaja nek drug naboj Q_2 v neki oddaljenosti r od središča prvega točkastega naboja, vpliva nanj mehanska sila:

$$S = Q_2 \cdot E_1 = Q_2 \cdot \frac{Q_1}{4 \cdot \pi \cdot \epsilon} \cdot \frac{1}{r_1^2} = \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot \epsilon} \cdot \frac{Q_1 \cdot Q_2}{r_1^2}$$

Smer mehanske sile je podana s smerjo električne poljske jakosti E_1 ; velikost sile pa je podana po zgornji enačbi.

Smer električne poljske jakosti ponazarjamo z električnimi silnicami (glej sliko 1). V slednjem primeru so silnice usmerjene linije, ki izhajajo radialno iz površine točkastega naboja Q_1 .

Te preproste enačbe veljajo le za primer dveh točkastih nabojev. Sicer pa bi drugačna geometrična oblika nosilca elektrenine spremenila električno stanje okrog naboja in jasno tudi enačbo, po kateri se izračunava velikost sile v neki točki električno napetega prostora.



Slika 1: Električno polje točkastega naboja

Toliko osnovnega znanja skoraj zadošča za razumevanje delovanja elektrostatičnih plinskih čistilcev. Če se omejimo na cevno obliko plinskega čistilca, lahko napišemo enačbo električne poljske jakosti za katerokoli točko v prostoru med vodnikom in cevjo:

$$E_x = \frac{U_1 - U_2}{2,3 \cdot x \cdot \lg \frac{R}{r}}$$

E_x = električna poljska jakost v oddaljenosti x od središča

$U_1 - U_2$ = potencialna razlika (napetost) med elektrodama cevnega kondenzatorja

R = radij zunanjega valja - cevi

r = radij notranjega valja - žice

x = oddaljenost od osi do točke, za katero izračunavamo poljsko jakost

Če si enačbo podrobneje ogledamo, vidimo da se

ob konstantnih razmerah $(U_1 - U_2, \frac{R}{r})$ električna poljska jakost spreminja po hiperboli.

Največjo vrednost dobi na površini notranjega vodnika ($x = r$).

Včasih se dogodi, da je električna poljska jakost ob tenkem vodniku prevelika, da bi se ji izolacijska snov (zrak, olje, porcelan) mogla upirati. Snov postane vodljiva, prosti elektroni se pospešijo v smer električne poljske jakosti in iz mirujoče elektrenine nastane gibajoča; tok prične teči.

Pojav, da nastane zrak ali plin okrog žice pod napetostjo vodljiv, imenujemo korono. Korona nastane takrat, ko je električna poljska jakost večja kot probojna napetost obdajajočega zraka ali plina.

Iz fizike je znano, da je snov sestavljena iz molekul in atomov. Atomi so sestavljeni iz pozitivnega jedra, okrog katerega se gibljejo negativni elektroni. Navadno je število elektronov enako številu pozitivnih nabojev v jedru, pri čemer je atom nevtralen. Če atomu vzamemo enega ali več elektronov, postane atom zaradi viška pozitivnih nabojev pozitiven. Na tak način nastaja pozitiven ion. Če pa atom priklene nase enega ali več elektronov, nastane negativni ion.

V zraku nastaja zaradi različnih vzrokov redno neko število ionov (5 do 10 ionov v 1 cm^3 v 1 sekundi). Ti ioni, ki se zadevajo med seboj in z elek-

troni, lahko tvorijo ponovno nevtralne molekule. Ta proces imenujemo rekombinacijo. V normalnih prilikah je število nastalih in število rekombiniranih ionov enako in tako je število prostih ionov, ki se nahajajo v plinu v vsakem trenutku stalno.

Potovanje ionov

V območju korone se ustvarjajo ioni obojega predznaka. Tisti, ki so istega predznaka kot vodnik, se od slednjega odbijajo in potujejo proti zunanemu cilindru. Zato prevladujejo v območju korone z ozirom na vodnik nasprotno imenski ioni, dočim je v prostoru ob cilindru nabranih, z ozirom na vodnik, več istoimenskih ionov.

Ko ioni potujejo, se zadevajo v prašne delce, ki so v neočiščenem plinu. Pri tem se usedejo nanje in jim delijo svoj naboj. Zaradi tega začne nabiti prašni delec potovati pod vplivom električnega polja v isti smeri, kot so prej potovali ioni, to se pravi k cilindrični elektrodi.

S tem je fizikalno pojasnjeno potovanje in naseljanje prašnih delcev.

NEKAJ PRAKTIČNIH IZRAČUNOV IN PODATKOV

Naboj na prašnem delcu

Naboj, ki se naseli na prašnem delcu, se izračuna po naslednji formuli:

$$n \cdot e = E_x \cdot \rho^2 \left(1 + 2 \frac{\epsilon - 1}{\epsilon + 2}\right) \text{ pri čemer pomeni:}$$

e = naboj elektrona

n = število elementarnih nabojev, ki se selijo na prašnem delcu

E_x = električna poljska jakost

ρ = radij prašnega delca

ϵ = dielektrična konstanta prašne snovi
premera $2 \rho_1 = 1 \mu$

1a) Kolikšno je število ionov na prašnem delcu v primeru, ko vlada med elektrodama napetost 45 kV, premer cevi 300 mm in če smatramo, da je električna konstanta prašne snovi, izhajajoče iz plavža (koksni prah in prah železne rude) $\epsilon = 10$?

$$E_x = \frac{U}{r} = \frac{45000}{0,3} = 3000 \text{ V/cm (srednja vrednost)}$$

$$E_x = \frac{3000}{300} \text{ CGSE} = 10 \text{ CGSE}$$

$$n = \frac{E_x \cdot \rho_1^2}{e} \left(1 + 2 \frac{\epsilon - 1}{\epsilon + 2}\right)$$

$$n = \frac{10 \cdot 0,25 \cdot 10^{-8}}{4,77 \cdot 10^{-10}} \left(1 + 2 \frac{10 - 1}{10 + 1}\right)$$

$$n = \frac{6,25 \cdot 10^{-8}}{4,77 \cdot 10^{-10}} = 1,31 \cdot 10^2 = 131 \text{ ionov}$$

$$e = 4,77 \cdot 10^{-10} \text{ CGSE}$$

$$1 \mu = 10^{-4} \text{ cm}$$

$$\rho_1 = 0,5 \mu$$

1b) Isti primer, le da je premer delca $2\rho_2 = 10 \mu$. Kolikšno je število ionov na prašnem delcu?

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{\rho_1^2}{\rho_2^2}$$

$$n_2 = \frac{n_1 \cdot \rho_2^2}{\rho_1^2} = \frac{131 \cdot 25 \cdot 10^{-8}}{0,25 \cdot 10^{-8}} = 13.100 \text{ ionov}$$

1c) Kolikšen je premer prašnega delca $2\rho_3$, da se za pogoje, ki so omenjeni v podatku, usede en sam ion?

$$\frac{n_1}{n_3} = \frac{\rho_1^2}{\rho_3^2}, \rho_3 = \sqrt{\frac{\rho_1^2 \cdot n_3}{n_1}} = \sqrt{\frac{\rho_1^2}{n_1}}, n_3 = 1$$

$$\rho_3 = \sqrt{\frac{0,25 \cdot 10^{-8}}{131}} = \sqrt{0,0019 \cdot 10^{-4}}$$

$$= 0,0435 \cdot 10^{-4} \text{ cm}$$

$$2\rho_3 = \text{premer} = 0,0870 \cdot 10^{-4} \text{ cm}$$

Prašni delec je malo manjši od 1/10 mikrona.

Pregled: Na prašnih delcih se naberejo naslednja števila ionov (velja za navedene pogoje):

Ø delca 1μ število ionov = 131

Ø delca 10μ število ionov = $131 \cdot 10^2 = 13100$

Ø delca 100μ število ionov = $131 \cdot 10^4 = 1310000$

Ø delca $0,087 \mu$ število ionov = 1

Iz zgoranje primerjave sledi, da se useda na drobnejše prašne delce manjše število ionov. Zato električno polje v plinskem čistilcu manj vpliva na manjše delce; učinkovitost plinskega čistilca je odvisna torej tudi od velikosti prašnih delcev.

Kakšne so hitrosti gibanja prašnih delcev?

Če smatramo, da je sila, ki jo povzroča el. polje na nabit prašni delec $n \cdot e \cdot E_x$ in da se tej sili upira sila upora plina (po zakonu Stoksa), lahko napišemo enačbo za primer, ko sta si sili v ravnotežju:

$$n \cdot e \cdot E_x = 6 \cdot \pi \cdot \rho \cdot \eta \cdot v$$

iz česar se izračuna hitrost prašnega delca,

$$v = \frac{n \cdot e \cdot E_x}{6 \cdot \pi \cdot \rho \cdot \eta}$$

pri čemer pomeni:

η viskoznost plina

$e = 4,77 \cdot 10^{-10}$ enot naboja v CGSE

ali v drugi obliki

$$v = \frac{E_x^2 \cdot \rho}{6 \cdot \pi \cdot \eta} \left(1 + 2 \frac{\varepsilon - 1}{\varepsilon + 2}\right)$$

$$v = \frac{131 \cdot 4,77 \cdot 10^{-10} \cdot 10}{6 \cdot \pi \cdot 1 \cdot 10^{-4} \cdot 2,2 \cdot 10^{-4}} \approx 1,5 \text{ cm. sek.}$$

$$\eta = 2,2 \cdot 10^{-4} \text{ (v sistemu CGSE pri } 100^\circ \text{ C)}$$

a) Kolikšna je hitrost prašnega delca za naslednje podatke?

$2\rho = 1 \mu$, $E = 3000 \text{ V/cm} = 10 \text{ CGSE}$, $n = 131$ (glej račun), $n \cdot e = 131 \cdot 4,77 \cdot 10^{-10}$, $\eta = 2,2 \cdot 10^{-4}$

$$v = \frac{131 \cdot 4,77 \cdot 10^{-10} \cdot 10}{6 \cdot \pi \cdot 0,5 \cdot 10^{-4} \cdot 2,2 \cdot 10^{-4}} \approx 3,0 \text{ cm/sek.}$$

Za primer gornjih podatkov, ko je premer prašnega delca $2\rho = 1 \mu$, znaša brzina približno 3,0 cm/sek.

Iz zgornje formule je razvidno, da se brzina proporcionalno veča s premerom.

Brzine so torej

$$\text{za } 2\rho = 1 \mu \quad v = 3,0 \text{ cm/sek.}$$

$$\text{za } 2\rho = 10 \mu \quad v = 30,0 \text{ cm/sek.}$$

$$\text{za } 2\rho = 100 \mu \quad v = 300 \text{ cm/sek.}$$

$$\text{za } 2\rho = 0,087 \mu \quad v = 0,261 \text{ cm/sek.}$$

Iz enačbe $v = \frac{E_x^2 \cdot \rho}{6 \cdot \pi \cdot \eta} \cdot \left(1 + 2 \frac{\varepsilon - 1}{\varepsilon + 2}\right)$ je razvidno,

da je hitrost prašnih delcev odvisna od kvadrata poljske jakosti in od radija prašnega delca.

Iz tega sledi, da je čiščenje v elektrostatičnem filtru zelo odvisno od napetosti, s katero se napajata elektrodi in da je tem učinkovitejše, čim debelejši je prah.

KONSTRUKCIJSKI ELEMENTI ELEKTROFILTRA

Pri cevnem elektrostatičnem filtru je osnovni element kovinska cev, ki ima v sredini žico. Običajno je žični vodnik negativno nabit, cev pa pozitivno. Pri mokrem tokovnem filtru se cev z notranje strani obliva s finim filtrom vode.

Debelina žice

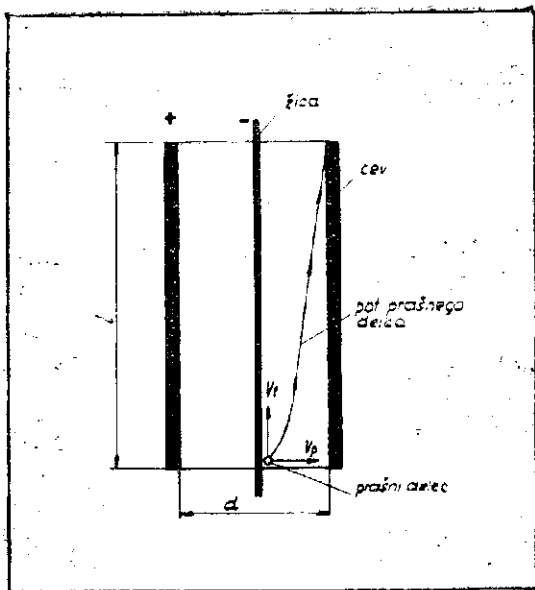
Praksa je pokazala, naj bo premer žice 2 do 3 mm (pri običajni napetosti 40 do 60 kV). S tem se zadosti zahteva, naj se ob njej stvarja korona, s čimer se tvorijo ioni, ki se usedajo nato na svoji poti proti notranji steni cevi na prašne delce. Če ne bi bilo nastanka ionov, procesa elektrostatičnega čiščenja ne bi bilo. Torej je tenka žica pogoj za brezhibno delovanje.

Premer cevi

Premer cevi se priporoča 200 do 300 mm, najpogostejše so konstrukcije z notranjim premerom 250 mm.

Dolžina cevi

Dolžina cevi se lahko izračuna iz ugotovljene srednje brzine prašnih delcev in iz priporočenih maksimalnih brzin skozi cev. Jasno je namreč, da mora vsaj v istem času, ko napravi prašni delec celotno pot osi cevi, priti obenem tudi do notranjega roba cevi, če naj bo čiščenje učinkovito (glej sliko 2). Pogoj za to je torej:



Slika 2.

$$T_e > T_p \quad T_e = \frac{1}{v_e}, \quad T_p = \frac{d}{2 \cdot v_p}$$

$$\frac{1}{v_e} > \frac{d}{2 \cdot v_p} \quad 1 > \frac{d \cdot v_e}{2 \cdot v_p}$$

Pri brzinah plinov, ki se priporočajo za cevni filter (0,5 do 1 m), je praksa izbrala maksimalne dolžine cevi 3 m.

PRIMERJAVA PRIPOROČIL LITERATURE Z IZBRANO KONSTRUKCIJO

Osnovni element železarskih plinskih čistilcev je cev $\varnothing$ 300 mm, notranja elektroda kvadratni presek ca. 16 mm² dolžine 4 m, pri čemer se predvideva brzina pretoka plina ca. 0,9 m/s.

Priporočila navajajo cev 200 do 300 mm, notranja elektroda okrogla žica 2 do 3 mm ter dolžina cevi 2 do 4 m, pri čemer se priporoča brzina od 0,5 m/s do maksimalno 1 m/s.

Lahko trdimo, da z izbrano konstrukcijo niso napravljena bistvena odstopanja od priporočil, čeprav se z vsemi dimenzijami sučemo ob njihovih mejah. Zamenjava kvadratnega preseka, ki je običajen v ploščatih plinskih čistilcih, z okroglim presekom, pa je nujna in možna. Stirimetrska dolžina cevi bo verjetno neprikladna, zlasti za centriranje žice.

Uporabljena literatura:

G. M. Gordon I. L. Peisakov:

Pileulavljanije i očistka gazov, Moskva 1958

ELEKTROSTATIČNI PLINSKI ČISTILCI (Dodatek oziroma pojasnilo k tekstu)

elektrenina = naboj

najmanjši negativni naboj je naboj elektrona, ki znaša $e = 1,60 \cdot 10^{-19} \text{ C}$;

1 C = 1 Coulomb = 1 As (amperna sekunda) = $6,25 \cdot 10^{18}$ elektronov

elektroda — pozitivno ali negativno nabiti vodnik; pri cevni izvedbi čistilca je notranja elektroda vodnik v obliki žice, zunanja elektroda pa cev

kondenzator — shranjevalec električnih nabojev

MIROSLAV FELDIN

DK 624.012.2

Opeka iz plavžne žlindre

Splošno

Kadar govorimo o opeki iz plavžne žlindre, moramo vedeti, da ta proizvod pravzaprav ni nič novega. Prvi proizvodi, izdelani iz plavžne žlindre, so znani že iz leta 1865. Tedaj so opeko izdelovali iz granulirane žlindre, pomešane z zmletim apnom. Način izdelave se v bistvu ni spremenil niti do danes. Produkcija pa je toliko narasla, da je bilo samo v Nemčiji v letu 1939 izdelanih okoli 200 milijonov kosov opeke iz plavžne žlindre, kar odgovarja 700.000 tonam žlindre.

Vendar kljub temu lahko ugotovimo, da opeka iz plavžne žlindre še vedno ne predstavlja rednega produkta železarn. Vzrok zato najdemo v tem, da ta proizvodnja zahteva sorazmerno veliko delovnega prostora in precej delovne sile.

Močan razvoj izdelovanja opeke iz plavžne žlindre pa je predvsem odvisen od gradbene dejavnosti, to je takrat, kadar opekarne ne zadovoljujejo več potreb po tem proizvodu. Zraven že navedenega moramo reči še to, da je izdelava opeke iz žlindre bolj sezonska dejavnost, ki se v zimskem času precej zmanjša, razen tam, kjer za obratovanje in izdelavo obstojajo možnosti in naprave in kjer je tudi gradbena sezona neprekinjena.

Da proizvodnja opeke iz plavžne žlindre ni reden produkt železarn, pa potrjuje še eno dejstvo, da razlika med lastno ceno in prodajno ceno ni tolikšna, da bi ta proizvodnja predstavljala dobičkanosen posel.

Zraven navedenega moramo ugotoviti še to, da je opeka iz plavžne žlindre nekoliko težja, od 3,5 do 4,2 kg,

od navadnega, normalnega zidaka, katerega teža je do 3,5 kg za kos.

Iz zgoraj navedenega sledi, da proizvodnja opeke iz plavžne žlindre ni morda zanimiva zaradi cenenosti ali nižje teže, ampak da morajo biti za to dani drugi pogoji, kot na primer: pomanjkanje gradbenega materiala (kar smo že prej navedli) in pa reševanje problema odpadnega materiala železarn, ki ga včasih z večjimi lastnimi stroški manipulacije in transporta odpremljamo na odval.

Iz tega tudi sledi, da imamo surovino na razpolago, treba pa je samo predelati, oziroma pripraviti, da je sposobna za izdelavo opeke.

Prav gotovo pa ima opeka iz plavžne žlindre eno prednost pred opeko iz gline. Prednost je namreč v tem, da je žlindrina opeka še enkrat boljši izolator od navadne glinaste opeke. O tem kasneje, ko bomo govorili o lastnostih žlindre opeke.

Ko govorimo o opeki iz plavžne žlindre, nehoti pomislimo še na opeko iz premogovega pepela, katero tudi ponekod izdelujejo. Vzroki, ki so vodili do izdelovanja take opeke, so verjetno isti kot pri opeki iz plavžne žlindre. Ugotovimo pa lahko še eno prednost, da je opeka iz premogovega pepela lažja, kot pa opeka iz plavžne žlindre in ima zaradi tega prav gotovo prednost pred slednjo.

Izdelovanje opeke iz premogovega pepela pride torej v poštev predvsem v bližini kaloričnih central, kjer se obenem rešuje problem odpravljanja pepela iz kaloričnih central, obenem pa še problem odvala.

V nadaljnjem razglabljanju se bom osredotočil na opeko iz plavžne žilindre, kjer bom obdelal naslednje:

- a) plavžna žilindra kot surovina za opeko in nje priprava za uporabnost;
- b) mešanica, način, utrjevanje in lastnosti opek;
- c) izdelava opek;
- d) oblika, dimenzije, načini zidanja in uporaba.

A. Plavžna žilindra kot surovina za opeko in nje priprava za uporabnost

Ko začnemo uporabljati plavžno žilindro kot surovino za izdelavo opeke, moramo predvsem poznati, kakšna je ta žilindra. Znano je, da je plavžna žilindra lahko:

- a) kislá, ali pa
- b) bazična.

Kdaj je žilindra kislá ali bazična, ugotovimo iz razmerja apna CaO in razmerja kremenice SiO₂ v žilindri. Če je to razmerje pod 1,0, je žilindra kislá, če je pa to razmerje nad 1,0, je žilindra bazična. Visoko bazične žilindre so one, pri katerih je razmerje med CaO in SiO₂ večje od 1,2.

Kakšna je žilindra, je treba vedeti zaradi tega, ker pri različnih žilindrah dobimo tudi različne rezultate. Običajno nam opeke, izdelane iz bazične žilindre, dajejo povprečno boljše rezultate. Kako se kažejo lastnosti opek iz kislé in bazične žilindre, bomo videli kasneje, ko bomo govorili o lastnostih že izdelanih opek.

Granulacija: Pri granulaciji žilindre je važno vedeti predvsem, kakšno temperaturo ima tekoča žilindra, ko jo začnemo granulariti. Vedeti moramo namreč, da ima žilindra, katero granularimo takoj po iztopu iz peči, visoko temperaturo in je zaradi tega tudi redka ali lahko tekoča. Ko pride v dotiko z vodo, nastajajoča para napihuje žilindro v mehurčke, katerih stene so zaradi redkotečnosti žilindre zelo tanke in nimajo velike trdnosti.

Ce hočemo dobiti opeko z višjo trdnostjo, moramo tekočo žilindro, ko pride iz peči, nekoliko ohladiti, da

postane gosto tekoča, tako da pri dotiku z vodo ostanejo stene mehurčkov debelejšé, trdnéjšé.

Jasno je torej, da je od temperature tekoče žilindre, ki jo granularimo, odvisna tudi trdnost opeke v končni izdelavi.

Postopek granulacije: Granularimo tako, da tekočo, že nekoliko ohlajeno žilindro spuščamo skupaj z močnim curkom vode.

Pri tem se torej tekoča žilindra malo ohlaja in postaja zrnata. Taka zrnata žilindra je pravzaprav že uporabna za izdelavo opeke. Tako granularimo plavžno žilindro potem vozimo v obrat za izdelavo opeke, kjer pa predhodno napravimo pravo mešanico.

Postopek granulacije je torej enostaven. Važno je pri granulaciji žilindre še to, da je količina vode ali zraka, s katero granularimo, dovolj velika.

Poraba vode je odvisna predvsem od načina granulacije. Ni pa izključeno, da za granulacijo uporabljamo samo vodo. Kot granulacijsko sredstvo nam lahko služi komprimiran zrak.

Ce pogledamo posamezne slike, bomo ugotovili, da so v bistvu vsi načini enaki. Vsak posamezni način uporablja različno količino vode ali zraka. Pri proizvodnji granulata pod sliko 1 je poraba vode 150 litrov pri 1 toni tekoče žilindre, poraba zraka pa 160 Nm³ na isto količino tekoče žilindre. Tu je potrebno vedeti še to, da v tem primeru služi voda v glavnem samo za navlažitev granulata, in sicer od 1 do 10 odstotkov; odvisno je od tega, ali je granulát namenjen za izdelavo cementa ali pa za izdelavo opeke. Proizvodnja znaša v tem primeru pri rotirnem valju z dimenzijami 15,8 m dolžine in 2,5 m premera in pri neprekinjenem obratovanju 23 do 30 t/h granulata.

Pri drugem načinu proizvodnje granulata (glej sliko 2) je poraba vode 500 l na tono granulata, poraba zraka pa znaša 1500 do 2500 Nm³ na uro. Proizvodnja znaša 25 do 30 ton na uro. Količino vode je možno regulirati, da je možno doseči vlažnost v granulatu 1 do 7 odstotkov. Granulat ima prostorninsko težo od 0,50 do 0,95 kg/l.

Slika 3 nam predstavlja način proizvodnje granulata, ki je zlasti uporaben za livarsko žilindro. Voda je le kratek čas v dotiku z žilindro. Ko skupaj z njo pade na vrtečo se mizo, voda skozi luknjičavo dno mize odteče. S to napravo lahko pridobimo popolnoma suh granulát, ki ima kljub temu vse one lastnosti vlažnega granulata, ki je pridobljen na prej opisana načina.

Na sliki 4 je prikazana naprava za odvlaževanje granulata. Mešanica granulata in vode je s komprimiranim zrakom dovedena do vrtljive mize a. Dno vrtljive mize je perforirano tako, da voda lahko odteče. Na vrtljivi mizi pustimo okoli 10 do 12 cm debelo plast granulata, ki zadržuje tako zvano žilindrino peno in umazanijo. Na sredi so nameščena postrgala, ki zgornjo plast granulata posnemajo v spodaj nameščeni silos. Voda se z drobnimi deli granulata zbira v posebnem zbiralcu. Vodo je možno iz zbiralca odvesti v odpad, ali pa jo je možno ponovno uporabiti za granulacijo. Za vsako tono granulata porabimo 0,135 kWh, 3500 l vode in 100 Nm³ zraka. Vsebnost vlage do 10 odstotkov.

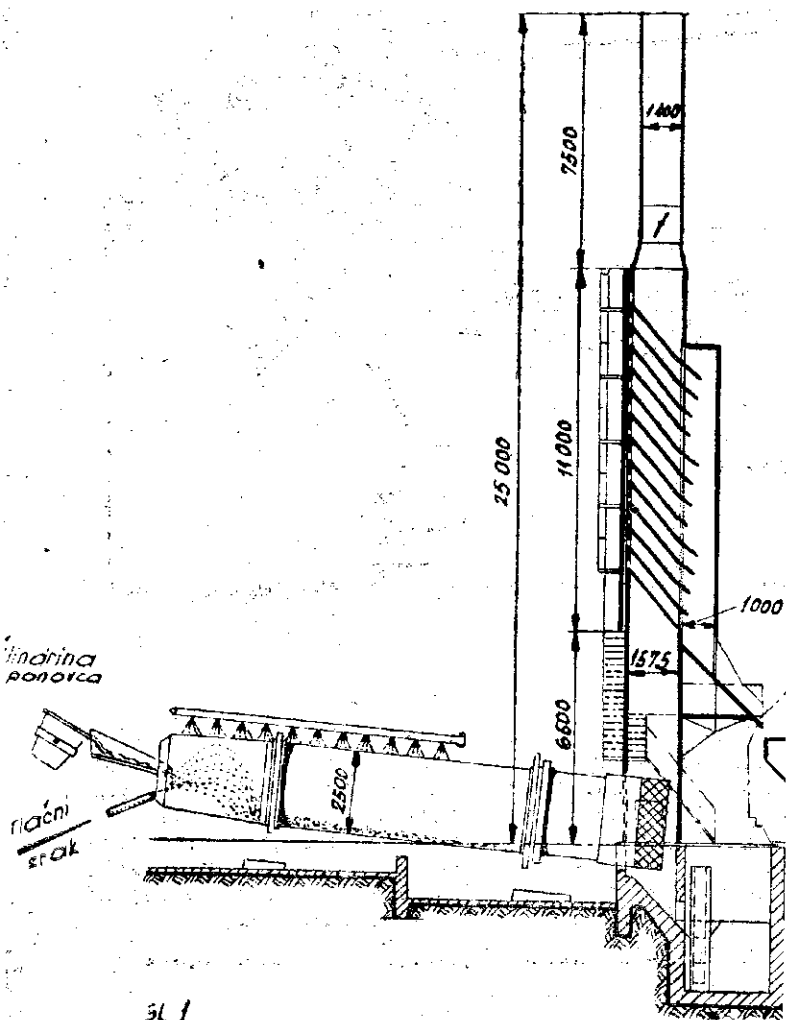
Tako smo si ogledali nekaj načinov pridobivanja granulata. Iz navedenega lahko tudi ugotovimo, da je poraba vode različna in ni mogoče kaj določnejšega reči glede porabe vode in zraka na 1 tono tekoče žilindre ali tono granulata.

Videti pa je, da je vlažnost granulata možno regulirati že med samo proizvodnjo.

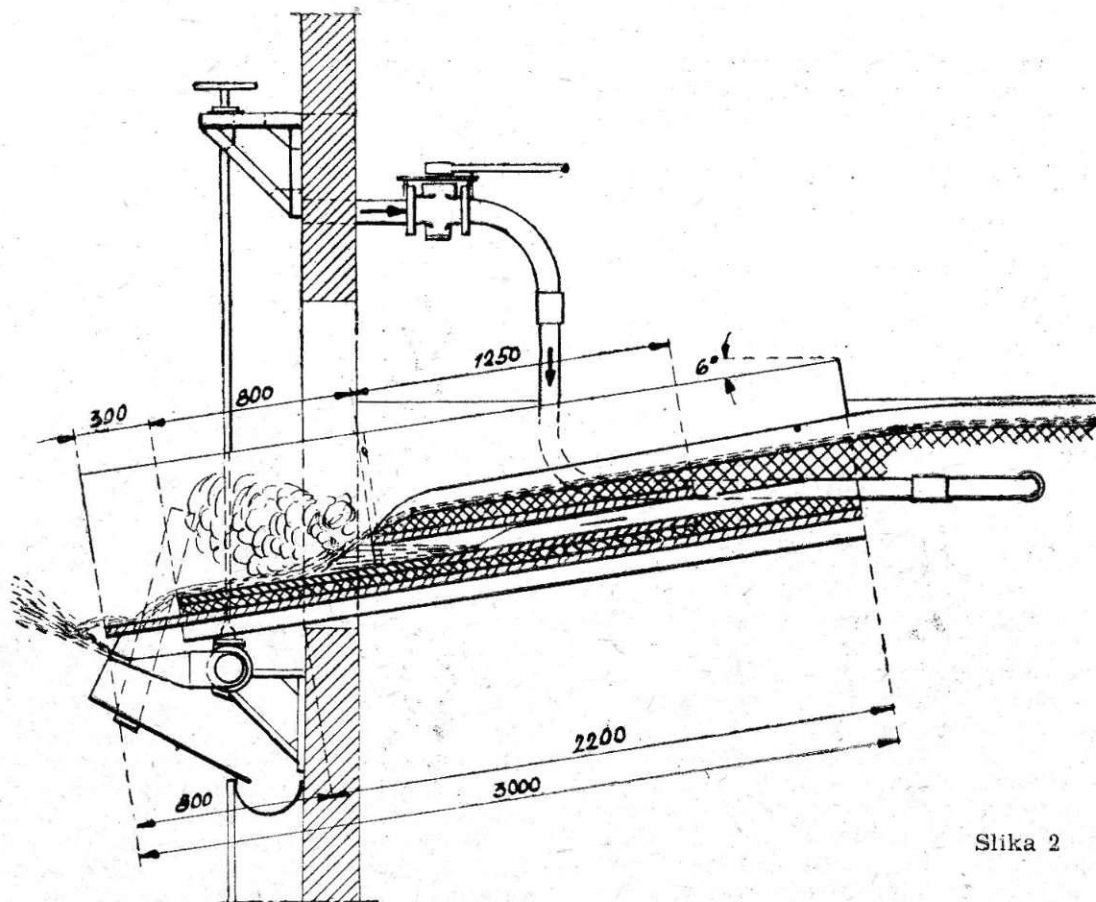
Zelo važno vlogo pri izdelavi opeke igra tudi nasipna teža granulata. Zahteva po nasipni teži granulata se kaže v tem, da je od nje odvisna kakovost izdelanih opek. Da je granulát primeren za izdelavo opek, mora imeti nasipno težo najmanj 0,8 kg/l. Največ izdelovalcev opek pa dela z granulatom, ki ima nasipno težo od 0,8 do 1 kg/l.

V splošnem imajo granulati nasipno težo od 0,6 do 1,4 kg/l. Pri najlažjih granulatih pade nasipna teža tudi na 0,24 kg/l, pri najtežjih pa se dvigne tudi tja do 1,55 kg/l.

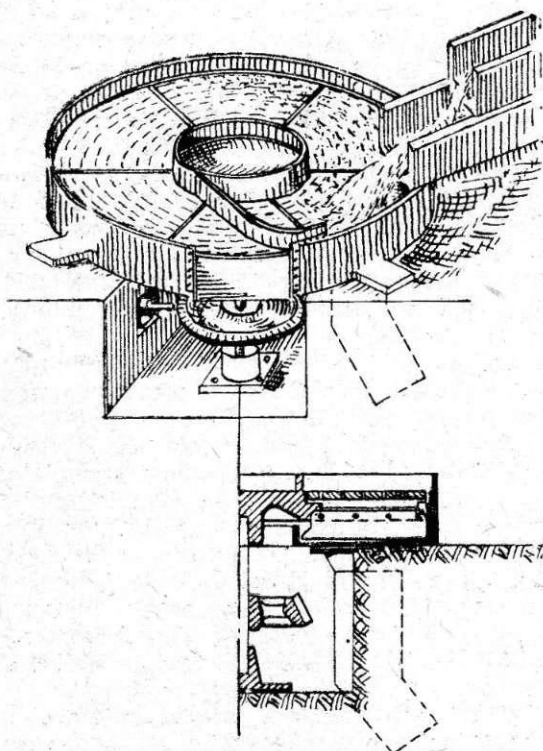
Najbolj važno vlogo igra nasipna teža granulata pri izdelavi opek zaradi stisljivosti granulata. Iz prakse vemo, da granulát z majhno nasipno težo stiskamo lahko tudi



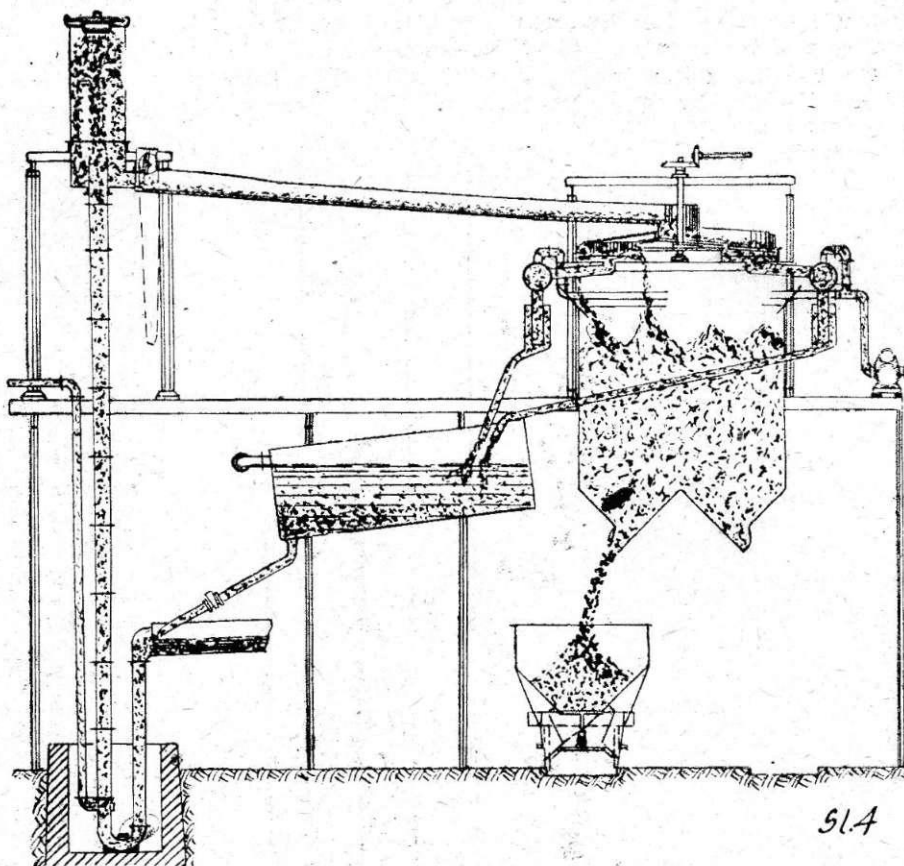
Slika 1



Slika 2



Slika 3



Slika 4

že z roko, dočim z granulatom z večjo nasipno težo dosežemo lahko višjo trdnost.

Od nasipne teže granulata je odvisna tudi poroznost, kar razvidimo iz naslednjih podatkov:

Nasipna teža	06	0,8	1,0	1,2	1,4
Poroznost %	65	59	54	48	43

Poizkusi o stisljivosti granulata so dali naslednje rezultate:

Pri nasipni teži g/l	Stisljivost v cm/m pri pritiskih od		
	100 kg/cm ²	250 kg/cm ²	540 kg/cm ²
600 - 1200	54 - 32	50 - 35	55 - 40
1200 - 1500	—	35 - 30	35 - 30
čisti pesek 1200	—	10	16

Torej stisljivost v prvi vrsti močno raste pri padajoči litrski teži in lahko doseže pri litrski teži 500 g/l in pri podanih pritiskih 60 do 70 odstotkov prvotne vrednosti.

Končno je za granulata važno tudi, kakšna je vsebnost vlage. Odstotek vlage v granulatu ima prav tako vpliv na izdelavo opeke, predvsem pa je od tega odvisna količina dodane vode pri izdelavi opeke. V praksi je najbolj uporabljen granulata z 10 do 25 odstotkov vlage.

B. Mešanica, način utrjevanja in lastnosti opeke

Mešanico sestavimo iz:

- granulata,
- vezivnega sredstva,
- vode.

a) Granulat

Kako pridobimo granulat, smo si že prej ogledali. Za granulat pa je važno, da vemo:

- ali je izdelan iz bazične žlindre,
- ali je izdelan iz kisle žlindre,
- kolikšna je trdnost zrn,
- kakšna je njegova nasipna teža,
- kakšna je njegova stisljivost in
- kakšna je vlažnost granulata.

Granulat, izdelan iz bazične žlindre, nam pri končni izdelavi opek da povprečno boljše rezultate, kot granulat iz kisle žlindre, predvsem glede trdnosti opek.

Prav tako nam tudi trdnost zrn granulata narekuje njega pravilno izbiro po zahtevah lastnosti opek.

Od nasipne teže granulata je odvisna poroznost opek in stisljivost samega granulata. Iz že navedenega tabelarnega pregleda je razvidno, da je pri nizki litrski teži večja poroznost kot pri visoki litrski teži.

Od vlažnosti granulata je odvisno dodajanje vode za sestavo prave mešanice.

b) Vezivno sredstvo

Pri sestavljanju mešanic za izdelavo opeke uporabljamo vezivna sredstva:

- apno (mleto),
- cement.

Prav tako, kot od vrste in kvalitete granulata, je odvisna trdnost in druge lastnosti opeke tudi od vezivnega sredstva. Zmleto apno običajno dodajamo granulatom, izdelanim iz bazične žlindre, ker že pri nizkem dodatku dosežemo zadovoljive rezultate, n. pr. trdnosti do 50 kg na kv. centimeter. Zmleto apno dodajamo kot vezivo v kislino od 16 do 12 odstotkov. Pri dodajanju apna granulatu, izdelanem iz kisle žlindre, v največjem odstotku ne dosežemo 100 kg na kv. centimeter, kar seveda tudi ne odgovarja v celoti potrebam in zahtevam pri visokih gradnjah. Iz gornjega že torej lahko zaključimo, da bomo cement kot vezivo uporabljali za granulate, izdelane iz kislih in bazičnih žlinder, oziroma bomo apno kot vezivno sredstvo pri kislih granulatih opustili. Višina dodajanja cementa se giblje od 10 do 20 odstotkov.

Tako kot nam apno daje pri bazičnih granulatih zadovoljivo trdnost opek, nam jo cement seveda tu še poveča, tako da opeke praktično odgovarjajo vsem zahtevam. Jasno pa je, da s cementom kot vezivnim sredstvom pri kislih granulatih, kot smo že omenili, dosežemo prav tako zadovoljive uspehe.

c) Voda

Dodatek vode mešanici je odvisen od vlažnosti granulata.

Voda, ki jo dodajamo, da napravimo pravilno mešanico za izdelavo opek, nam po izdelavi opeke služi še v procesu vezanja. Količina dodane vode je odvisna od vlažnosti granulata. Jasno je, da bomo pri močno vlažnih granulatih dodali manj vode ali pa nič, pri suhih pa več. V praksi se dodaja voda, ki služi za proces vezanja, kot sledi:

- za vlažne granulate 5 odstotkov,
- za zelo suhe pa 15 odstotkov.

Torej je dodajanje vode treba izbirati med 5 in 15 %.

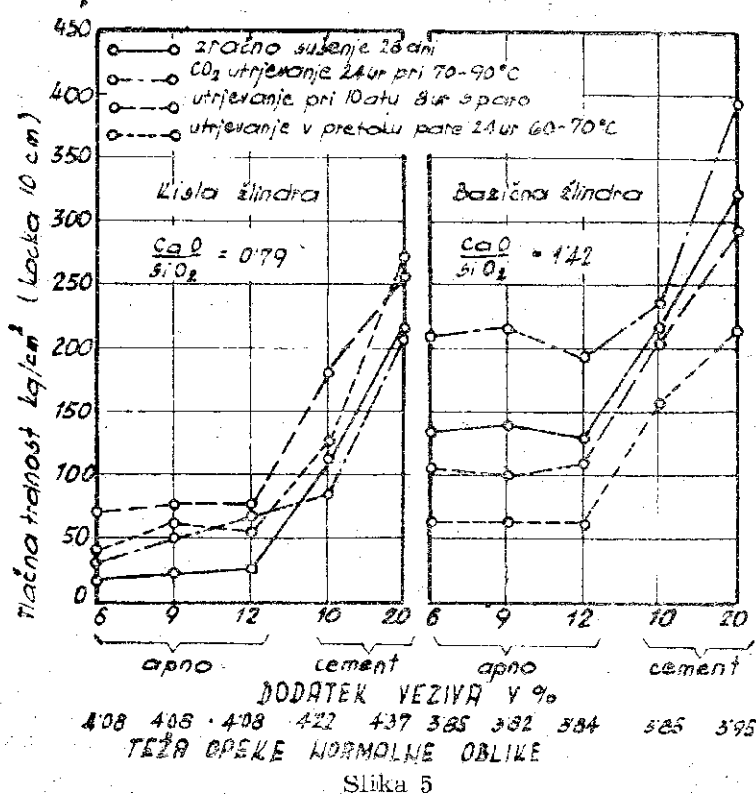
Načini utrjevanja

Končno je izbira granulata in veziva odvisna še od načina utrjevanja opek. Teh načinov utrjevanja poznamo več vrst:

- utrjevanje z zrakom, do 28 dni;
- utrjevanje s paro pod pritiskom 14 at – 8 ur;
- utrjevanje s paro pri temperaturi 70 do 80 stopinj Celzija – 24 ur;
- utrjevanje z ogljično kislino CO_2 – 24 ur.

Nujno je treba opozoriti na to, da umetno utrjevanje daje pri izdelanih opekah dokaj višjo trdnost kot pri utrjevanju na zraku.

Umetnega utrjevanja žlindrin zidakov se poslužuje nad polovico proizvajalcev v svetu. Umetno utrjevanje je nekoliko dražje, ker se porabi nekaj več obratnih sredstev, ima pa vsekakor prednost, da je po dveh dneh opeka že sposobna za transport in zidavo ter zaradi tega rabimo manj delovnega prostora na mestu proizvodnje same.



Utrjevanje na zraku traja 21 dni, opeka pa je sposobna za zidavo šele po 28 dneh. Zaradi tega nam tak postopek narekuje velik delovni prostor za sušenje opeke in zvišuje stroške vskladiščenja.

Kakor se nam kažejo vplivi značaja žlindre, vezivnega sredstva in načina utrjevanja, nam bolje pokaže slika 5.

Pri bazičnih žlindrah, kot vidimo, nam zadostuje apno kot vezivo, da dosežemo trdnost nad 50 kg na kv. centimeter pri kateremkoli načinu utrjevanja. Pri kislih žlindrah pa samo z dodatkom apna ne dosežemo trdnosti opek nad 100 kg na kv. cm. Kisli značaj granulata nam daje najboljše vrednosti pri utrjevanju s paro v pretoku do 24 ur pri uporabi cementa kot veziva. Najslabše rezultate nam da z uporabo cementa kot veziva pri kislih žlindrah utrjevanje s CO_2 , z uporabo apna kot veziva za utrjevanje na zraku do 28 dni. Apno kot vezivo nam pri takem značaju žlindre da najboljše rezultate pri utrjevanju s paro pod pritiskom 10 atmosfer do 8 ur.

Bazični značaj žlindre in uporaba apna ali cementa kot veziva nam dajo najboljše trdnosti pri utrjevanju s CO_2 do 24 ur in pri temperaturi 70 do 90 stopinj Celzija. Najslabši rezultati so pri bazičnem značaju žlindre doseženi pri obeh vrstah veziva, kadar utrjujemo v pretoku pare do 24 ur in pri temperaturi 60 do 70 stopinj Celzija.

Utrjevanje s CO_2 zahteva v mešanici mleto visokobazično žlindro, ki mora učinkovati kot vzbujevalec z izločanjem CaO . Utrjevanje z zrakom zahteva določeno hidravlično reaktivnost uporabljene žlindre. Pri kislih žlindrah take lastnosti ni in se zaradi tega pri takšnih žlindrah uporablja kot vezivo le cement, ki da pri 10 % dodatku zadovoljive rezultate. Če bi hoteli take opeke utrjevati v CO_2 , moramo dodati količino 6 % fino mletega apna, ali pa zelo fino mleto bazično žlindro, ker v procesu vezanja sama izdaja apno.

Literatura o žlindrini opeki nam navaja naslednje lastnosti teh izdelkov:

Trdnost

Na prvo mesto je postavljena trdnost opeke, ki je vsekakor najbolj važna. Zraven že navedenih podatkov glede trdnosti je iz naslednje razpredelnice razvidno tudi to, da ima težja opeka višjo trdnost kot lažja.

Način utrjevanja	Trdnost v kg/cm ²	Teža opeke v kg	Prostorninska teža kg/dm ³
z zrakom	45–130	2,6–3,2	1,4–1,7
s paro	95–180	2,6–4,3	1,4–1,2
s CO_2	130–350	3,3–4,5	1,7–2,3

Zaradi tega bomo pri primerjavi jemali v obzir vedno tudi prostorninsko težo.

Kot je razvidno iz razpredelnice, bomo lahko na zraku utrjevano opeko razvrstili v marko 50 in 100, s paro utrjevano opeko v marko 150 in v ogljični kislini CO_2 utrjevano v marko 150 in višje.

Vpliv vremena

Pri zidanju z opeko iz žlindre je vsekakor koristno takoj po izdavi stavbo ometati, posebno pri uporabi opeke marke 50 in tam, kjer je stavba izpostavljena močnim klimatskim spremembam in kjer močno vlaženje ni izključeno. Pri trdnostih nad 150 kg/cm^2 nimajo vremenske prilike nobenega vpliva več.

Zmrzljivost

Poizkusi so pokazali, da je opeka, izdelana iz žlindre, enakovredna opekam iz drugih materialov. Tako kot opeka iz drugih snovi, prenese tudi opeka iz žlindre z več kot 100 kg/cm^2 trdnosti 25 kratno zmrzovanje, ne da se na njej pokažejo kakršnekoli razpoke in odlomi. Poizkusi so bili izvršeni s popolnoma navlaženo opeko, ki so jo zmrzovali do -15 stopinj Celzija, pri čemer je bilo zmrzovanje popolno.

Navzem vlage

Navzem vlage ni zanimiv morda samo zaradi zmrzovanja, ampak nam pove tudi poroznost opeke. Vsekakor je poroznost opeke važna predvsem pri gradnji stanovanj zaradi vlažnosti in zvočne izolacije.

Navzem vlage ali poroznost bomo najboljše razvideli iz naslednjega pregleda:

Vrsta opeke – način utrjevanja	% navzema vlage ali poroznost
opeka, utrjevana na zraku	do 41
opeka, utrjevana s paro	do 30
opeka, utrjevana s CO_2	do 24
opeka iz apnenca	min. 10
navadna glinasta opeka	min. 8

Poizkus se izvede tako, da najprej 10 kosov opeke osušimo pri 110°C . Nato jih za dve uri potopimo v vodo do polovice, nato do tri četrtine. Po 22 urah jih potopimo v vodo popolnoma, kjer naj potem ležijo 7 dni. Za rezultat vzamemo potem povprečje vseh desetih kosov. Povečanje teže izrazimo s procenti.

Prav tako je bila s poizkusi ugotovljena v zidu iz žlindre opeke marke 100 vlažnost 10,4 do 14,2 % prostornine, pri opeki sami pa vlažnost 14,8–18,1 %. Pri zidu iz žlindre opeke marke 150 je znašala vlažnost 2,3–4,8 %, pri posamezni opeki pa 2,2–4,3 %.

Toplotna prevodnost

V tesni zvezi s poroznostjo in vlažnostjo je toplotna prevodnost. Ugotovljeno je, da je žlindrina opeka zelo dober toplotni izolator, torej ima nizko toplotno prevodnost.

Prevodnostni koeficient na zraku utrjevanje opeke s prostorninsko težo 1,8–2,2 kg/dm^3 se giblje med 0,34 do 0,48 kcal/m , dočim imajo druge vrste opeke, ki imajo isto težo, prevodnostni koeficient, ki se giblje med 0,40 do 0,82 kcal/m .

Ognjevzdržnost

Z ozirom na sestavo žlindre opeke lahko pričakujemo dokaj dobre rezultate, saj je opeka izdelana iz samih negorljivih snovi. Ognjevzdržna je ona opeka, ki po poldrugurni izpostavljenosti ognju ne izgubi obstojnosti in nosilnosti in ne dovoli prehod ognja. Nasprotna stran ognju izpostavljene strani naj pri poizkusu ne bo toplejša od 130°C .

Iz prakse so znani še primeri, da so pri stavbah, grajenih iz žlindre opeke, pri požaru stene ostale popolnoma cele. Tudi opeka, ki je bila 10 minut izpostavljena ognju v kurišču parnega kotla, je obdržala trdnost 200 kg na kv. centimeter, če se je počasi ohladila. Trdnost pa je padla nad 130 kg/m^2 , če smo jo naglo ohladili v vodi. Tudi pri temperaturi 1015°C se na opeki niso pokazale nobene zunanje napake.

Poizkusi kažejo, da je trdnost ognju izpostavljene strani stene iz žlindre opeke praktično enaka trdnosti ene strani stene, ki ni toplotno obremenjena, ali pa je celo še višja.

Kemična obstojnost

Žlindrina opeka je kemično vsekakor zelo obstojna. To se kaže tudi v poizkusih, ki so bili zato izvedeni. 14-dnevno ležanje opeke v 30 % natrijevi lužini in 25 % amonijaku ni kazalo na nobene vidne spremembe. Majhne spremembe so pokazali poizkusi, izvedeni v 0,5 % solni kislini.

Devet mesecev stara žlindrina opeka je po treh mesecih ležanja v raztopini magnezijevega klorida in magnezijevega sulfata, kakor tudi v močni raztopini z 245 g NaCl, 31,9 g MgCl_2 , 14,5 g MgSO_4 , 2,7 g CaSO_4 in 28,2 g KCl na liter izgubila na trdnosti od 403 na 347 kg/cm^2 . V neki drugi raztopini z 223,5 g NaCl, 5,0 do 7,5 g MgCl_2 , 15 g CaCO_3 in 60,6 g KCl na liter je po dvoletnem ležanju zabeležen le majhen padec trdnosti opeke. Trdnost opeke se je dvignila pri ležanju v vodi, kar je razvidno iz naslednjega pregleda:

	Trdnost v kg/cm^2		
	28 dni	1 leto	2 leti
Ležanje na zraku	253	303	302
Ležanje v vodi	257	309	356
Ležanje v magnezijevem kloridu in sulfatu	253	303	269

Zunanji izgled opeke

Žlindrina opeka je siva. Seveda se razlikuje, če je gosta, mokra ali suha: če je opeka suha, je barva svetlo siva, če pa je vlažna, je bolj temna.

Površina opeke ni tako gladka, kot pri navadnih zidakih, ampak je groba ter so dobro vidne tudi pore.

Se nekaj o lastnostih opeke

Precej o tem je bilo že navedenega, vendar si oglejmo še nekaj praktičnih podatkov, določenih na osnovi poizkusov, izvedenih pri naši proizvodnji žlindrin zidakov.

Najprej naj poudarim, da opeka, ki je bila izdelana pri nas in jo še izdelujemo, ni dala morda kakšnih nadpovprečnih rezultatov glede trdnosti. Vendar lahko te rezultate smatramo za zadovoljive in odgovarjajo zahtevam naših gradenj.

Jasno pa je, da bo treba izboljšati kvaliteto granulata glede trdnosti zrn. To bomo dosegli na ta način, da ne bomo žlindre ohlajevali z vodo takoj, ko pride iz peči, ker ima visoko temperaturo, ampak jo bomo morali predhodno nekoliko ohladiti, da bo postala bolj gosto tekoča, s tem pa bomo dosegli večjo trdnost zrn in v končni izdelavi boljšo trdnost opeke.

Rezultati preizkusov, ki jih je izvedel Zavod za preiskavo materiala na naših zidakih, pa so naslednji:

Votlaki

% dodatka cementa	8	10	12	15	18	20
Trdnost v kg/cm^2 , računana na celotni prerez votlaka	19	34	47	53	—	—

Preizkusi so bili izvedeni na votlakih, ki so bili izdelani s portland cementnim vezivom. Dosežene trdnosti so bile ugotovljene po 28 dneh utrjevanja na zraku. Trdnost je računana na celotni prerez votlaka, vedeti pa moramo, da znaša luknjavost votlaka 33 % celotnega prereza.

Z ozirom na dosežene rezultate lahko razporedimo opeko, izdelano z dodatkom cementa 10 in 12 odstotkov v marko 25 z dodatkom cementa 15 odstotkov v marko 50.

Ko smo tako razporedili opeko po markah, lahko z ozirom na te rezultate ugotovimo naslednje dopustne napetosti v zidu, katerega vitkost ne presega vrednosti 10 in katerega debelina ni manjša od 25 cm.

		Malta			
Marka	apnena	podaljšana	cementna		
25	3 kg/cm^2	5 kg/cm^2	6 kg/cm^2		

Zidaki – normalni formati

% dodatka cementa	8	12	15	18	20
trdnost v kg/cm^2	21	37	61	116	140

Na podlagi gornjih rezultatov lahko razporedimo opeko z dodatkom cementa 8 in 12 odstotkov v marko 25, dodatkom cementa 15 odstotkov v marko 50 in dodatkom cementa 18 in 20 odstotkov v marko 100.

Na podlagi take razporeditve so dopustne napetosti v zidu pod istimi pogoji, kot smo jih navedli že prej, prav iste, kot so navedene v tabeli. Za vrednost marke 100 pa so dopustne napetosti v zidu naslednje:

Marka	apnena	Malta podaljšana	cementna
100	6 kg/cm ²	9 kg/cm ²	12 kg/cm ²

Navedene dopustne napetosti za posamezne marke veljajo ob pogoju, da se dokažejo zrušilne trdnosti oblikovancev, ki morajo biti v povprečju nad trdnostjo ali vsaj enake trdnosti, kot jih zahteva poedina marka.

Pod marko se razume trdnost oblikovanca po 28 dneh utrjevanja na zraku.

Toplotna prevodnost zidov iz žlindrinih zidakov

Preiskava je pokazala, da lahko računamo z vrednostjo 0,40 kcal/m h° C

Toplotna prevodnost je ena tistih lastnosti pri zidakih, ki dajejo žlindrinim zidakom prednost pred zidaki iz gline.

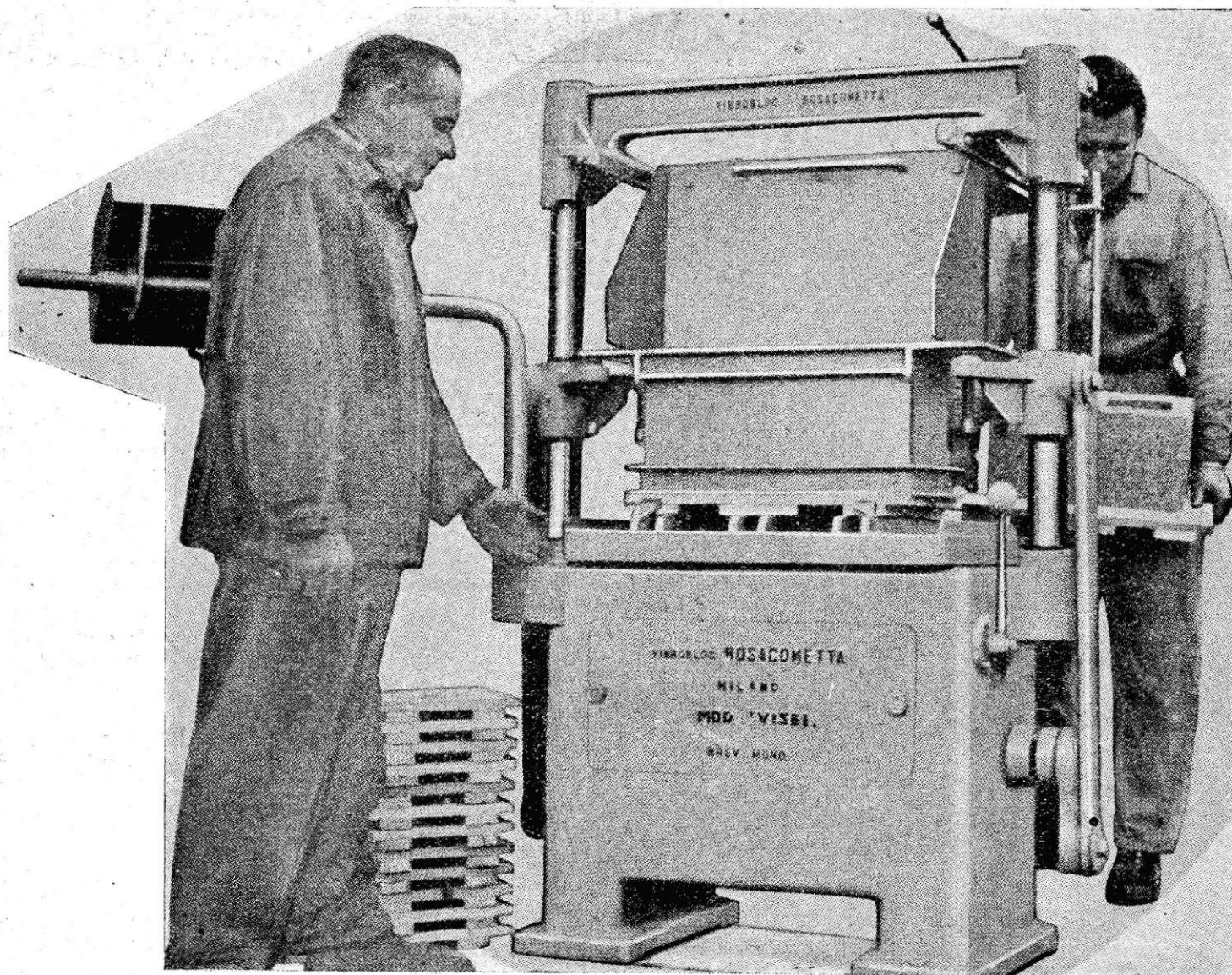
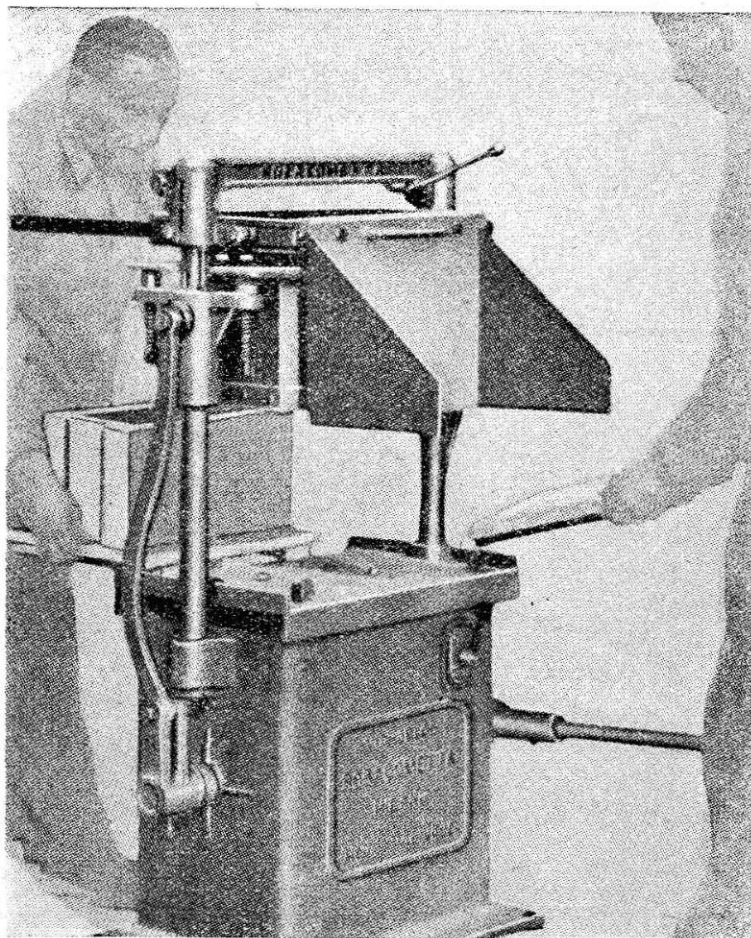
Iz tega lahko zaključimo, da je žlindrina opeka dober toplotni izolator in je zaradi svoje lastnosti vredna pozornosti in uporabe.

C. IZDELAVA OPEKE

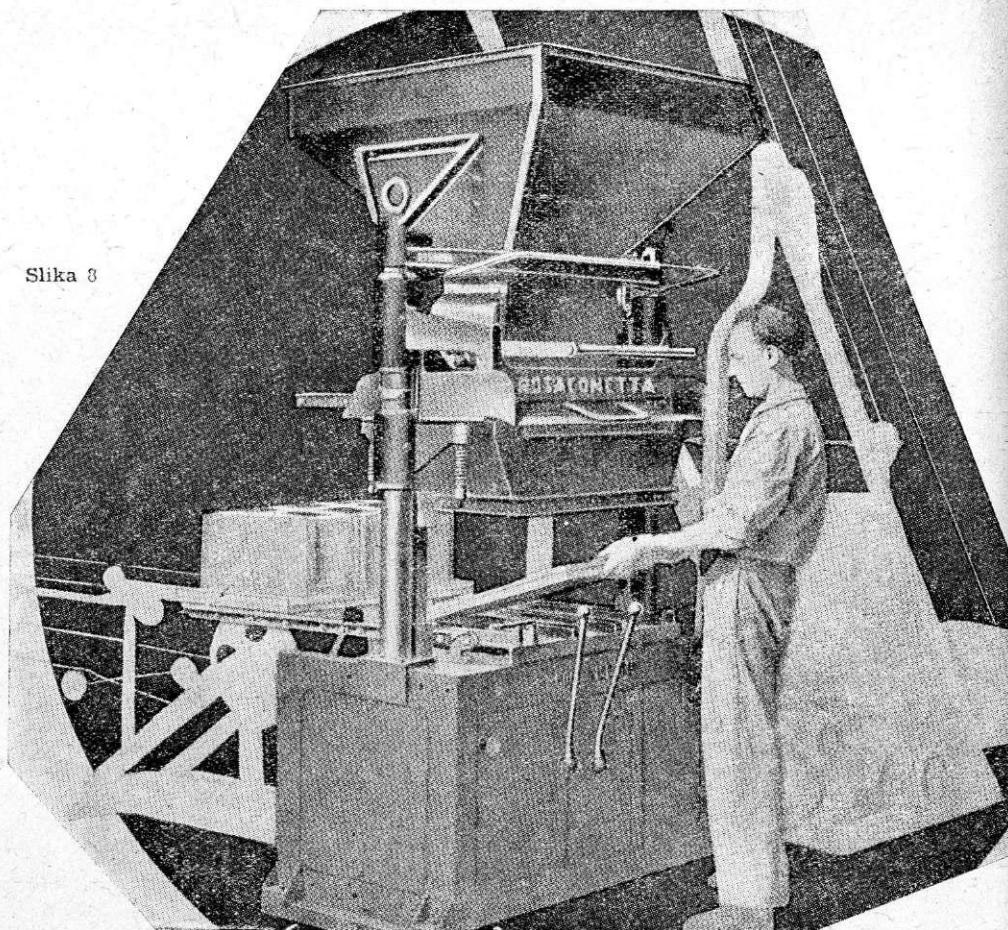
Običajno žlindrino opeko izdelujemo na stiskalnicah, ali tako imenovanih vibratorjih.

Seveda s tem ni rečeno, da opeke ni možno izdelovati tudi ročno. Pri ročnem delu se granulat, oziroma predhodno narejena mešanica nasuje v model in se nato ročno z orodjem tlači, da se čimbolj stisne. Seveda je tako delo zelo naporno in zamudno. Poleg tega pa ročno izdelana opeka tudi ni tako kvalitetna.

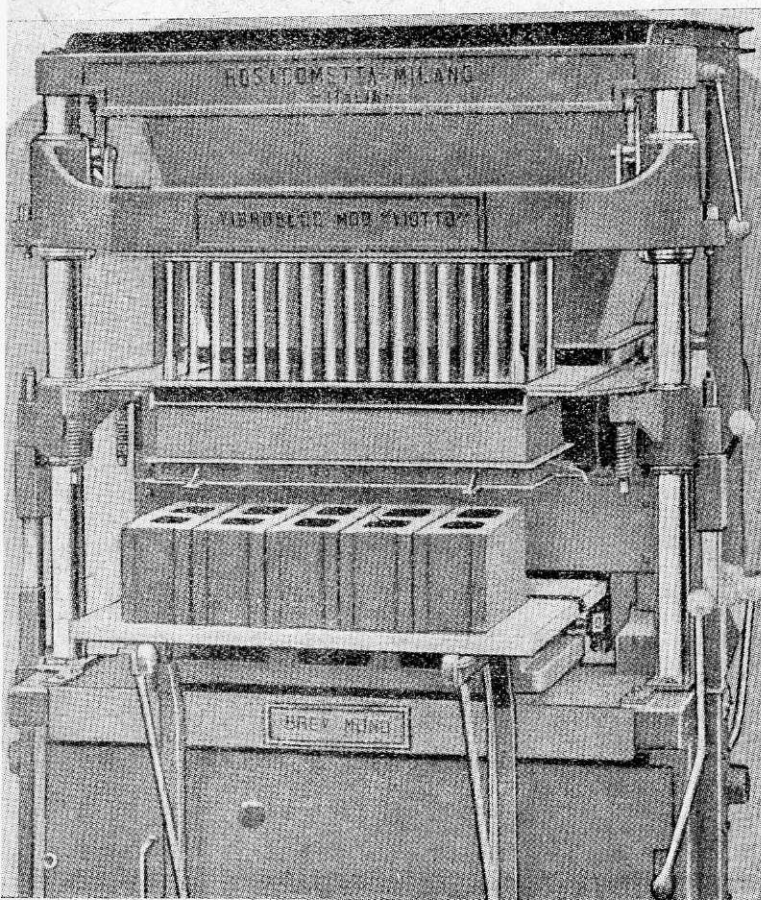
Stroj za izdelavo žlindre opeke poznamo več tipov in znamk. Mi si bomo v grobem ogledali stroje italijanske firme Rosacometta.



Slika 8



Slika 9



Ti stroji so razvrščeni po kapaciteti (Vibrobloc 5, 6, 7 in 8)

Vsi stroji, razen Vibrobloc 5, imajo električni pogon. Na Vibroblocu 5 pa vsa dela opravljajo ročno. Kapacitete teh strojev so razvidne iz naslednjega pregleda:

Format v cm	Število kosov, proizvedenih na 8 ur			
	V 5	V 6	V 7	V 8
6 × 12 × 24	2500	6000	7000	20000
6 × 20 × 40	1000	3000	4000	6400
8 × 20 × 40	1000	2700	4000	6400
10 × 20 × 40	900	1800	3000	5400
15 × 20 × 40	500	1800	2500	6000
20 × 20 × 40	500	1200	2000	4800
25 × 20 × 40	500	1100	1500	3600
30 × 20 × 40	450	1000	1000	3600

Koliko opek izdelata posamezni stroj pri eni polnitvi, nam pokaže naslednja razpredelnica:

Format v cm	Število izdelanih opek pri enkratnem šaržiranju			
	V 5	V 6	V 7	V 8
6 × 12 × 24	5	5	15	20
6 × 20 × 40	2	3	8	8
8 × 20 × 40	2	3	8	8
10 × 20 × 40	2	2	6	6
15 × 20 × 40	1	2	5	5
20 × 20 × 40	1	1	4	4
25 × 20 × 40	1	1	3	3
30 × 20 × 40	1	1	2	3

Seveda so zaradi tako različnih kapacitet ti stroji raznih velikosti in oblik in z bolj ali manj mehaniziranim posluževanjem.

Zaradi različnih kapacitet strojev so tudi instalirane moči elektromotorjev različne in so razvidne iz naslednje razpredelnice:

Tip strojev	Instalirana moč KW
V 5	1,2
V 6	2,2-3
V 7	3
V 8	4

V kalupu, v katerega nasujemo mešanico, s pomočjo vibriranja in stiskanja izdelamo opeko, katero odstranimo s stroja s pomočjo zato namenjene deščice. Z menjavanjem kalupov je možno izdelovati opeke različnih oblik in dimenzij.

Izdelana opeka potuje od stroja po žičnem transporterju. Opeka je namreč takoj po izdelavi zelo občutljiva za udarce in rada razpade. Tudi prekladati je treba zelo pazljivo toliko časa, dokler se opeka vsaj malo ne utrdi (24 do 48 ur, če se utrjuje na zraku). Tak žični transporter je delno viden na sliki vibratorja (Vibrabloc 7, slika 8).

Kot je razvidno iz vseh slik vibratorjev, ležijo izdelane opeke na deščicah, ki se predhodno vložijo v sam stroj tako, da je izdelano opeko možno lažje transportirati. Tudi vskladiščenje opeke, dokler se ne utrdi in ni odstranjena nevarnost razpada, poteka po deščicah. Po utrditvi se da opeko vskladiščiti brez deščic, dokler opeka ni sposobna za uporabo, oziroma zidavo.

Skladiščenje opeke, pripravljene za utrjevanje, je razvidno iz slike 11, kjer je prikazan tudi celoten postopek izdelave opeke.

D. OBLIKA, DIMENZIJE, NAČINI ZIDANJA IN UPORABA ZLINDRINIH IZDELKOV

Zlindrine izdelke lahko izdelujemo v vseh možnih oblikah in dimenzijah, kar pa seveda zavisi od namena uporabe. Na prvem mestu se zopet pojavlja normalni zidak (slika 12) v dimenzijah $25 \times 12 \times 6$ ali tudi $24 \times 11,5 \times 6$ cm. Zatem se zvrsti cela vrsta votlakov, ki so vidni na sliki 13 v dimenzijah, ki jih kaže tabelarni pregled.

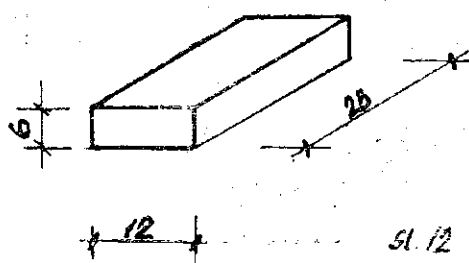
S	H	L	C	teža 1 kos	% luk.	št. kos. m ³
30	20	40	6	16,5	35	41
			4	11,5	50	
25	20	40	5	14,0	35	50
			4	9,5	50	
20	20	40	4	10,5	38	62
			3	8,0	50	
15	20	40	3,5	9,0	37	83
			2,5	6,5	47	
10	20	40	2	6,0	30	125
8	20	40	2	3	48	156
7	20	40	2	—	—	178
6	20	40	2	6,6	40	208

Opeke $10 \times 20 \times 40$, $8 \times 20 \times 40$ in $6 \times 20 \times 40$ imajo lahko tudi po 3 ali 4 luknje.

Zidake in votlake uporabljamo za normalno gradnjo stavb in pregradnih zidov ter podobno. Način zidanja je običajen in razviden iz slike 14 in 15.



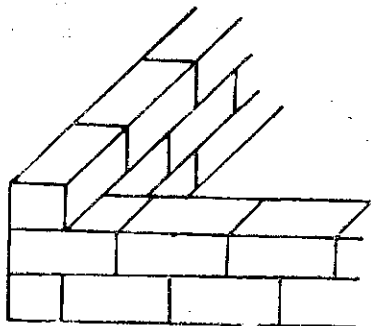
Slika 11



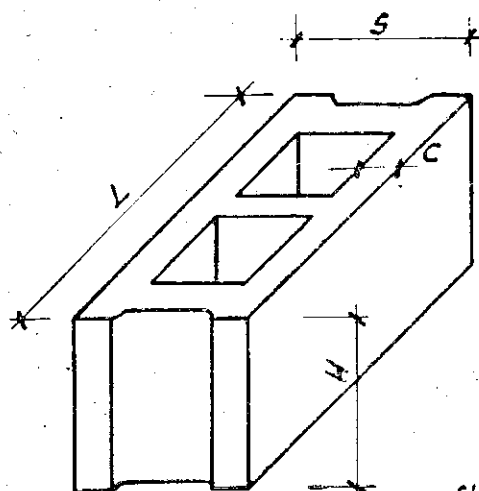
Slika 12



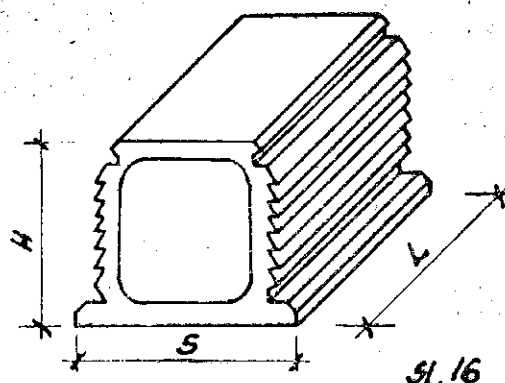
Slika 14



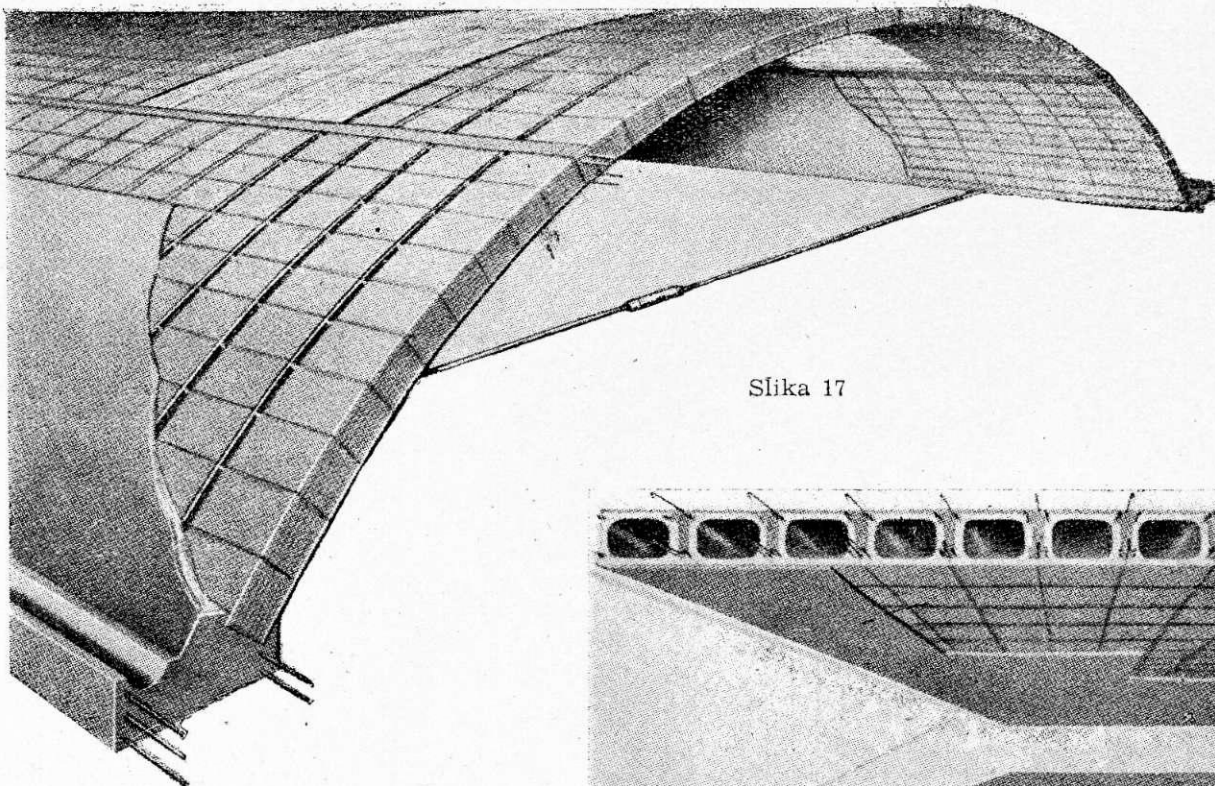
Slika 15



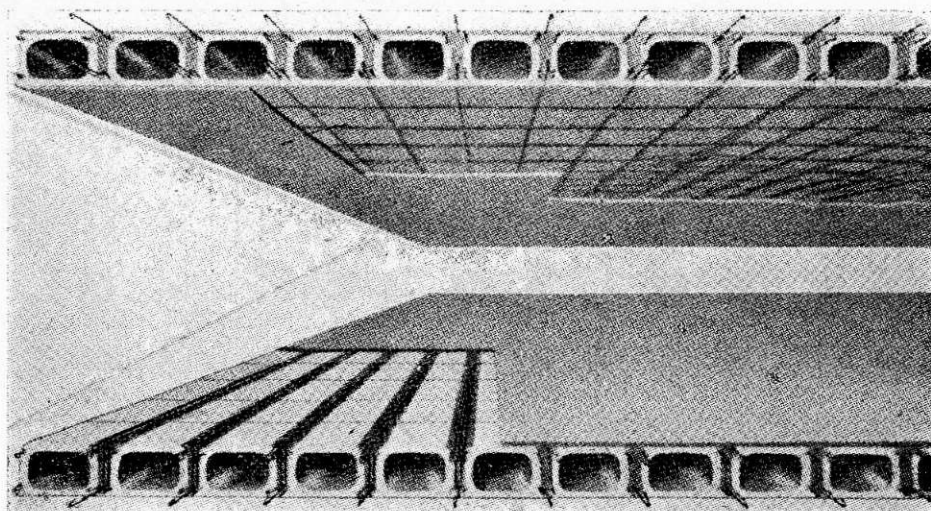
Slika 13



Slika 16



Slika 17



Slika 18

Iz obeh slik je razvidno, kako zidamo z votlaki ravne zidove, kakor tudi vogalne zidove. Bolj kvalitetna opeka, predvsem glede trdnosti, je seveda uporabljiva tudi za visoke gradnje.

Monta opeka

Monta opeka je uporabljiva za stropne in ločne strehe, izdelana pa je v več dimenzijah, kar nam prikazuje spodnja razpredelnica:

S	H	L	Število kosov/m ²
30,5	14	25,5	13
30,5	18	25,5	13
25,5	25	25,5	15

Kakšen je videz stropov in ločnih streh, izdelanih iz take opeke, nam prikazujejo slike 17, 18. Z vstavitvijo ustreznih armirnih palic nam stropi dopuščajo dokaj visoke dopustne napetosti.

Strešniki

Tudi strešna opeka je, kot razvidno, izdelana iz žindre, vendar je priporočljivo, da se po izdelavi pred namestitvijo na streho prevleče s cementno malto.

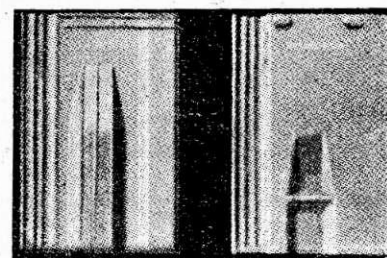
Opeke posebnih oblik in dimenzij, prilagojene načinu uporabe

Slika 20 nam prikazuje iz žindre izdelane mejne in ograjne kamne, ki pa niso izdelani v kakih normiranih dimenzijah.

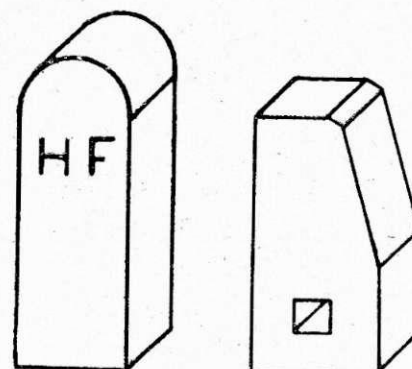
Slika 21 nam prikazuje obcestni robnik, ki ga izdelujejo po naročilu in po potrebi.

Slika 22 prikazuje cevi za elektroinstalacijo in so lahko izdelane z eno, dvema ali več luknjami, kakor pač zahteva gradnja sama.

Slika 23 prikazuje obliko žlindre izdelka, ki je namenjen za prekritje odtočnih kanalov, meteorskih voda, v mestnih in obcestnih kanalizacijah, seveda pa je uporabljen tudi v druge svrhe.



Slika 19

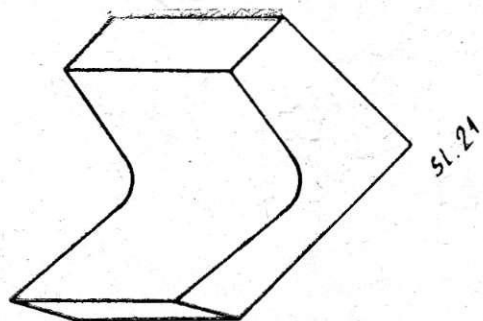


Slika 20

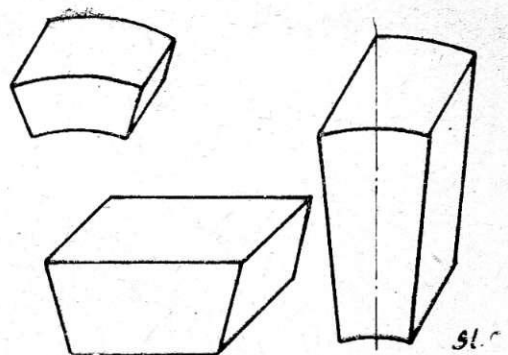
Na sliki 24 je prikazana opeka in način zidave ograj. Na sliki 25 in 26 je prikazana gradnja oboka, oziroma posameznih opek za izdelavo oboka.

Slika 27 prikazuje opeko, izdelano iz žindre, za izgradnjo silosov. Dimenzije za to opeko niso normirane in jih je moč prilagajati potrebam takih gradenj.

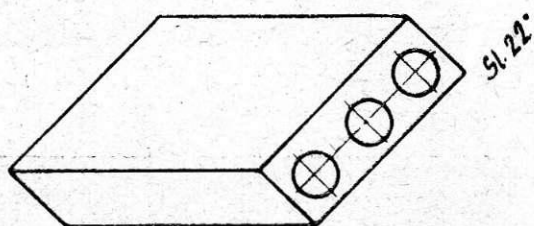
Na sliki 28 so prikazane še tri oblike žlindrin izdelkov, ki služijo za polaganje instalacij ali prekritje elektro



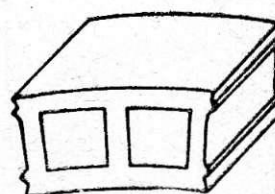
Sl. 21



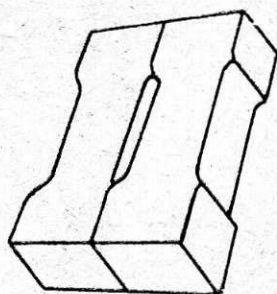
Sl. 26



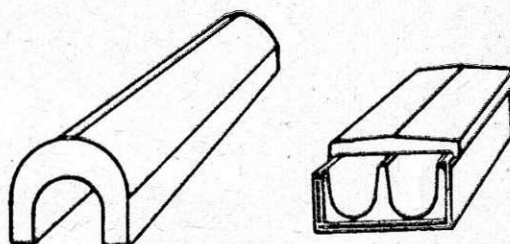
Sl. 22



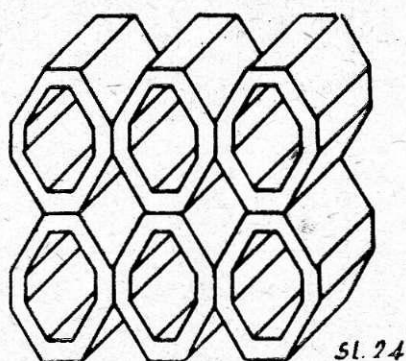
Sl. 27



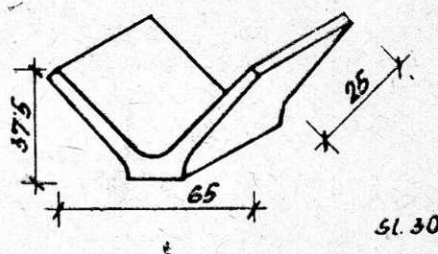
Sl. 23



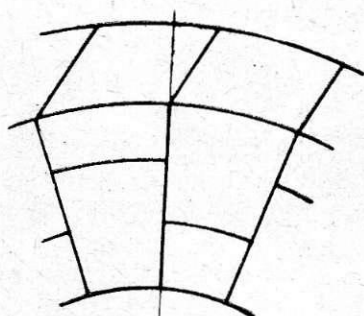
Sl. 28



Sl. 24



Sl. 30



Sl. 25

kablov, če so prosto položeni v izkopane kanale. Dimenzije za te oblike izdelkov niso določene in so pravzaprav prepuščene izdelovalcem samim.

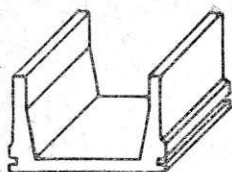
Iz žlindre lahko izdelujemo opeko tudi tako, da je ena stran opeke okrasno izdelana.

Iz žlindre opeke so izdelane tudi navadne okrogle cevi, ki služijo za odpadne vode sanitarij in podobnega.

Značilni so še nekateri izdelki iz žlindre, ki so namenjeni za izdelavo namakalnih kanalov, napajalnih strug in žlebov ter so lahko nameščeni ali položeni na tleh, oziroma tudi na stebrih, ki so prav tako izdelani iz take opeke.

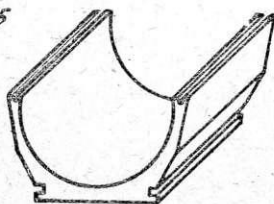
Slika 30 prikazuje V kanal, oziroma izdelek za izdelavo takega kanala. Dimenzije so razvidne iz slike.

L = 25

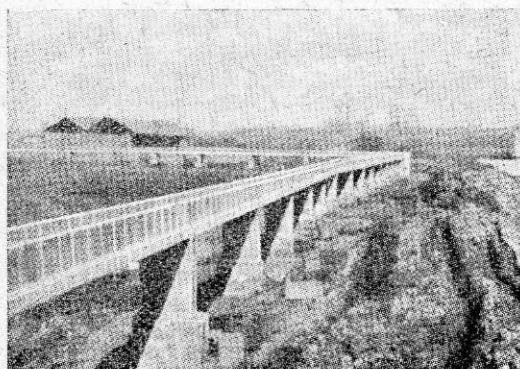
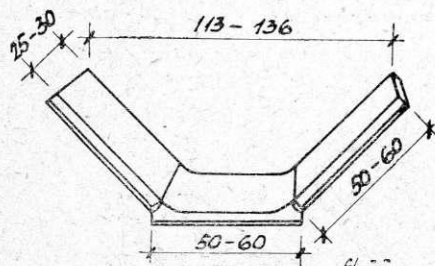


Sl. 31

L = 25



Sl. 32



Slika 34

Slika 31 nam prikazuje U izdelek za izdelavo U kanalov. Dimenzije takih izdelkov so: višina od 37,5 do 80 cm, širina od 30 do 122 cm, dolžina 25 cm.

Na sliki 32 je prikazan okrogli U kanalski zidak. Dimenzije teh izdelkov so: višina od 30 do 77,5 cm, širina od 35 do 120 cm, dolžina 25 cm, radij od 20 do 60 cm.

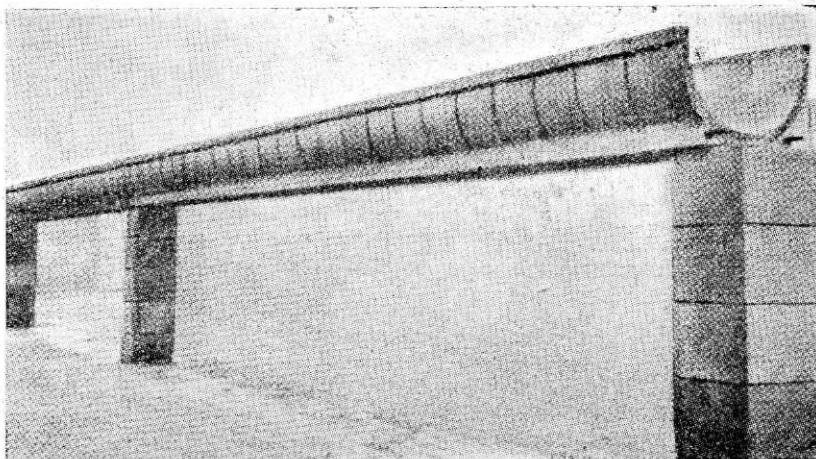
Slika 33 prikazuje V kanal, izdelan iz treh delov. Ta izdelek je uporabljen za kanale večjih dimenzij.

Kanale, prikazane na slikah 31, 32 in 33, je možno ojačati z armaturo, tako da pojačamo njihovo nosilnost predvsem takrat, kadar jih nameščamo na stebre.

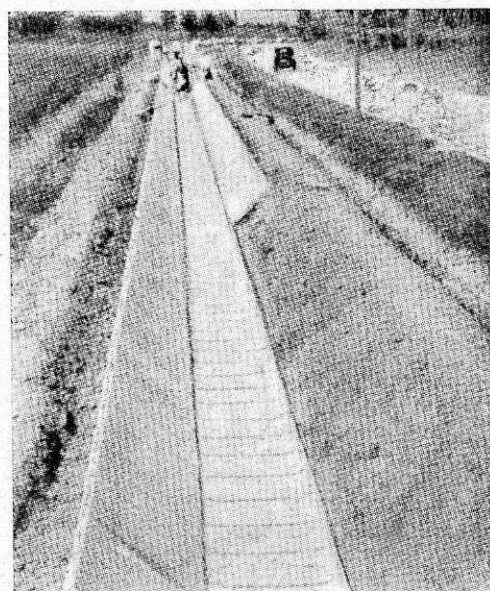
Na slikah 34, 35 in 36 je prikazana še gradnja, oziroma postavitve takih kanalov ter način njihove gradnje.

Na sliki 37 je prikazana uporabnost žlindrinah plošč za zaščito rečnih obrežij.

Na sliki 38 je prikazana stanovanjska hiša, ki je vsa izdelana iz žlindrinah izdelkov.



Slika 35



Slika 36

LITERATURA: Friz Keil: Hochofenschlake — Prospekti Rosacometta — Atesti o preiskavi zidakov Zavoda za raziskavo materiala, Ljubljana.

POPRAVEK

V letošnji drugi številki Tehnične priloge se je vrnilo nekaj neljubih tiskovnih napak, ki jih na tem mestu popravljamo. Tako bi morala biti vpisana na strani 33 pri članku Avtomacija in možnosti uvajanja v industrijo DK 621-53 in ne DK 621.702. Na strani 50 pri članku »Prezračevanje in odpravevanje v industriji« pa bi morala biti pravilno napisana enačba:

$$C_e = \left(\frac{h_v}{h_t} \right)^{1/2}$$

Poleg tega se je vrnila napaka tudi pri članku: Pri-spevek k pojmu varivosti naših konstrukcijskih jekel na strani 52 in 53 in je v enačbah pravilna oznaka V, ne pa Va.