

DK 662.61.084

Uporaba ultra zvoka za povečanje intenzivnosti zgorevanja prašnatih goriv

LEOPOLD ANDRÉE

Kljub velikim izpopolnitvam novodobnih parnih kotlov poteka zgorevanje v njihovih kuriščih praktično prav tako, kakor smo ga spoznali pred davnimi leti. Še vedno se v večini primerov uporablja atmosfersko, t. j. enakotlačno zgorevanje. Pri takem zgorevanju smemo obremeniti n. pr. kurišča parnih kotlov na kurjavo s premogovim prahom največ do približno $200\,000\text{ kcal/m}^3\text{h}$ ($= 0,23\text{ MW/m}^3$). Posledica tega so ogromne dimenzije kurišč parnih kotlov in s tem nesorazmerno velik prostor, ki ga potrebuje določen parni kotel v primerjavi s prostorom, kakršen je potreben za pripadajoči turbo-agregat.

Teoretično bi bilo mogoče odpraviti to nesorazmerje s tem, da bi povečali intenzivnost, t. j. hitrost zgorevanja. V tem primeru bi zgorelo v določenem kurišču v enoti časa več goriva in dobili bi večjo toplotno obremenitev kurišč. Za določeno toplotno moč kotla bi tedaj potrebovali manjše kurišče.

V praksi sta znana dva načina za povečanje hitrosti zgorevanja, in sicer:

1. mletje premoga na drobne delce ter
2. povečanje relativne hitrosti zgorevalnega zraka nasproti delcu premoga, ki gori.

S tema dvema načinoma pa je mogoče povečati hitrost zgorevanja le tedaj, če je na razpolago zadostna količina zgorevalnega zraka in če vzdržujemo zadosti visoko temperaturo, t. j. nad vnetiščem gorljivih sestavin goriva.

Prvi način je uporabljen pri kurjavah na premogov prah. Tu z mletjem dosežemo, da dobi n. pr. 1 kg premoga nad 200 m^2 površine. Čim bolj fino zmeljemo, tem hitreje gori premogov prah. S finostjo mletja pa ne smemo pretiravati, ker sicer preveč narasteta energija za mletje in pa obraba mlinov. Ugotavljamo pa, da je v tem primeru relativna hitrost zgorevalnega zraka nasproti gorečemu delčku goriva zelo majhna, ker pač zrak nosi (aerotransport) tisti delec.

Drugi način, t. j. večanje relativne hitrosti, pa je uporabljen pri kurjavah na rešetke. Čim večja je hitrost zgorevalnega zraka, ki se pretaka skozi mirujočo plast premoga, tem temeljiteje odstranja zgorevalne ostanke. S tem pa je omogočen neposredni kontakt zgorevalnega zraka z gorečim delčkom goriva in mogoča je takšna hitrost zgorevanja, kakršno določa temperaturi ustrezajoča kemijska reakcijska hitrost zgorevanja.

Izdatnejše povečanje hitrosti zgorevanja pa bi dosegli le tako, če bi v isti kurjavi hkrati uporabili oba načina za povečanje hitrosti zgorevanja. To se je doslej posrečilo v manjši meri le pri tako imenovanih ciklonskih kurjavah. Pri takih kurjavah dosežemo specifične toplotne obremenitve kurišča do $5\text{ Gcal/m}^3\text{h}$ ($= 5,8\text{ MW/m}^3$), kar pomeni v primerjavi s kurjavami na premogov prah kar 25-kratno povečanje. Vendar se nanaša to povečanje toplotne obremenitve le na volumen samega ciklona kot prostora za dokončanje zgorevanja. Za namestitev ustreznih ogrevalnih površin pa potrebujemo pri kotlih s cikloni prav toliko prostora kakor pri običajnih kotlih. Zato ima taka kurjava le neznaten vpliv na zmanjšanje parnega kotla.

Pulzirajoče kurjave

Pri iskanju zgorevalnih naprav, ki bi uporabljale hkrati oba načina za povečanje hitrosti zgorevanja, pomaga [1] naslednje načelo:

»Hitra nihanja nosilnega in zgorevalnega zraka, katerim vztrajni veseči delci premoga ne morejo slediti, ustvarjajo velike relativne hitrosti!«

Po tem načelu delujejo tako imenovane pulzirajoče kurjave [2]. Znani sta SCHMIDTova cev in REYNSTova komora. V teh zgorevalnih napravah niha zgorevalni zrak ob vesečih delcih goriva kakor v kaki piščalki. Posledica teh pulzacij je samodejni dovod zgorevalnega zraka in goriva ter odvod dimnih, t. j. izpušnih plinov. Valovna dolžina nastalih pulzacij je določena z dolžino teh zgorevalnih naprav. Pri preizkusih so bile dosežene frekvence od $50 \dots 200\text{ Hz}$. V SCHMIDTovi cevi in REYNSTovi komori dosežemo zaradi pulzacij, t. j. stojnega valovanja, zelo velike relativne hitrosti zgorevalnega zraka nasproti vesečim delčkom goriva in kot posledico tega izredno veliko toplotno obremenitev okrog $50\text{ Gcal/m}^3\text{h}$ ($= 58\text{ MW/m}^3$), t. j. 10-krat več kakor pri ciklonskih kurjavah. Pulzirajoče kurjave so torej zelo majhne.

Če speljemo izpušne pline REYNSTove komore v prostor z ogrevalnimi površinami, bo stojno valovanje kurilnih plinov v tem prostoru zaradi dušenja čedalje šibkejše. Če pa ima ta prostor take izmere, da je njegova lastna frekvenca uglasena na frekvenco priključene pulzacijske zgorevalne komore, dobimo resonanco. Tako bi spravili kurilne pline pri pretakanju ob ogrevalnih površinah v stojno valovanje pri resonančni frekvenci.

Kako pa je v tem primeru s prenosom toplote? Če se n. pr. pretakajo dimni plini ob ogrevalnih površinah z osnovno hitrostjo 10 m/s in če so izpostavljeni stojnemu valovanju v smeri toka plinov z maksimalno hitrostjo 100 m/s, tedaj doseže plin v smeri toka hitrost 110 m/s, v obratni smeri pa 90 m/s. Potemtakem bi dosegli v tem primeru kljub majhni osnovni hitrosti toka plinov znatne toplotne prehodnosti k ter zaradi tega tudi ustrezno manjše ogrevalne površine.

Ker nadalje leteči pepel zaradi vztrajnosti ne more slediti nihanju nosilnih dimnih plinov, zato se premika le z osnovno hitrostjo 10 m/s. Kljub pulzacijam dimnih plinov torej ne bi dobili nobene dodatne erozije materiala, iz katerega so izdelane ogrevalne površine.

Parni kotel na pulzacijsko kurjavo, ki bi imel prostor z ogrevalnimi površinami ugašen na pulzacijsko frekvenco, bi bil znatno manjši v primeri z običajnimi parnimi kotli na atmosfersko zgorevanje. Taki kotli pa v praksi še niso izvedeni, ker še niso raziskane vse konstrukcijske podloge za njihovo gradnjo ter predvsem, ker dajejo pulzacijske kurjave izredno močan zvok, ki je slišen glede na jakost in smer vetra v razdaljah od 2 do 10 km. Po gornjih ugotovitvah se je pojavil problem, kako bi uporabili pri pulzacijskih kurjavah nakazane prednosti tudi pri kurjavah običajnih parnih kotlov.

Vpliv ultra zvoka na zgorevanje

Ta problem je bil tema raziskovalnega dela, ki je bilo izvedeno v Inštitutu za strojno-tehnične meritve s podporo Sklada Borisa Kidriča. Namen tega članka je, da posreduje, kako je potekalo to delo.

Reševanja tega problema smo se oprijeli na naslednji način:

1. Superponirali smo toku kurilnih plinov, ki nastajajo v atmosferskih kurjavah običajnih parnih kotlov, *dodatno zvočno valovanje*.

2. Zaradi nevšečnosti močnih zvokov smo izbrali frekvenco tega dodatnega zvočnega valovanja nad mejo slišnosti, t. j. v *ultrazvočnem področju*.

3. Pričakovali smo, da se bo v tem primeru *povečala hitrost zgorevanja* še v znatnejši meri kakor pri pulzacijskih kurjavah.

4. Zaradi povečanja relativne hitrosti zgorevalnega zraka nasproti letečim delcem goriva dobimo optimalno zgorevanje pri manjšem presežku zraka. To pa bo *zmanjšalo energijo* za pogon ventilatorja za primarni zrak ter ekshavstorja kakor tudi omogočilo *večjo toplotno obremenitev* kurišča parnega kotla.

Glede smeri dodatnega zvočnega valovanja nasproti toku aerosola (= nosilni plini + leteči delci goriva) imamo dve skrajni možnosti. Pri *vzporedni smeri* zvočnega valovanja ter toka aerosola se giblje delček plina naprej z večjo hitrostjo, nazaj z nekoliko manjšo hitrostjo ter zopet naprej

z večjo hitrostjo itd. Tako gibanje se da nekako označiti takole: »dva koraka naprej in en korak nazaj«.

Druga skrajna možnost pa je, da oklepa smer zvočnega valovanja s smerjo toka aerosola *pravi kot*. V tem primeru se giblje delček plina z razmeroma veliko hitrostjo sem in tja ter se pri tem giblje tudi v smeri toka aerosola. Ker dosežemo v obeh primerih velike relativne hitrosti plinov nasproti letečim delčkom goriva, bomo uporabljali ali eno ali drugo možnost ali pa tudi poljubno vmesno lego med obema skrajnima možnostima, ki najboljše ustreza dani situaciji v kurišču parnega kotla.

Pri izbiri frekvence dodatnega ultrazvočnega valovanja je treba upoštevati tako vpliv absorpcije kakor tudi vpliv nihanja letečih delcev. V knjigi [3] je navedena naslednja tabela, ki kaže, na kolikšni oddaljenosti od zvočila se zmanjša jakost zvočnega valovanja za 50 % zaradi absorpcije zraka oz. plinov:

frekvenca zvoka:	10	20	30	100 kHz
oddaljenost:	220	55	24	2,2 m

V literaturi [4] je nadalje navedeno, da narašča absorpcija zvoka proporcionalno s koncentracijo letečih delcev v aerosolu. Absorpcija pa je tudi tem večja, čim manj sodelujejo leteči delci pri nihanju. Predpostavljajmo, da je absorpcija zvoka v uporabljenih aerosolih tolikšna, da dobimo polovično jakost zvoka že na 20 % oddaljenosti, ki so navedene v gornji razpredelnici. Tako dobimo, da so pri raznih dimenzijah kurišč največ dopustne naslednje frekvence ultrazvočnega valovanja:

do širine kurišč:	5	10	15 m
primerne frekvence:	29	21	18 kHz

Leteči delci aerosola bodo tem bolj sonihali z nosilnim plinom, čim nižja je frekvenca ter čim manjši so. Obratno pa leteči delci tem manj sledijo nihanju plina, čim višja je frekvenca ter čim večji so. Seveda vplivajo tudi gostota ter viskoznost nosilnega plina kakor tudi gostota in koncentracija letečih delcev aerosola.

Za doseg velikih relativnih hitrosti je važno področje, ko delčki čimbolj mirujejo. Iz knjige [5] povzamemo razpredelnico, ki kaže, kolikšen je premer letečega delčka, da znaša razmerje njegove amplitude pri določeni frekvenci nasproti amplitudi nosilnega plina 0,1:

frekvenca:	5	10	20	50	100 kHz
premer delčka:	10,2	6,8	4,8	3	2,2 mikrona

Pri kurjavah na premogov prah je znano, da ima okrog 10 % letečih delcev manjši premer kakor 5 mikronov. Da torej omogočimo, da učinkuje zvok na 90 % letečih delcev, mora znašati njegova frekvenca najmanj 19 kHz.

Izbira generatorja ultra zvoka

Za proizvodnjo ultra zvoka v plinih niso uspešna zvočila v obliki nihajočih trdnih predmetov. Oddana zvočna energija je namreč odvisna od razmerja zvočnih upornosti trdnega telesa kot zvočila ter obdajajočega medija — plina. Ker je to razmerje v tem primeru izredno neugodno, zato raje uporabljamo taka zvočila, ki proizvajajo zvok neposredno v plinu. S tem pa ni možnosti za uporabo magnetostriksijskih, piezoelektričnih in elektrodinamičnih generatorjev ultra zvoka.

Za neposredno proizvodnjo ultra zvoka v plinih imamo na razpolago sirene ter HARTMANNov generator ultra zvoka. Zaradi enostavnosti delovanja, t. j. ker je brez gibljivih mehaničnih delov, se odločimo za HARTMANNov generator ultra zvoka, ki deluje takole. (Glej sliko 1.) Iz dulca (šobe) [1] z odprtino d izteka zrak oz. plin z nadzvočno hitrostjo, t. j. tlak pred dulcem mora znašati nad 0,9 atm. V razdalji a je pred dulcem koaksialno nameščen valjast resonator [2] z ravnim dnom (premer d , globina h). Proti dulcu je resonator odprt in ima tu oster rob. Pri ustreznih razdalji a nastane ultra zvok, katerega valovna dolžina je odvisna od dimenzij resonatorja in znaša:

$$\lambda_0 = 0,04 (h + 0,3 d) \quad [\text{m}]$$

Ker znaša zvočna hitrost v zraku pri temperaturi okolice: 340 m/s, dobimo v tem primeru zvočno valovanje pri frekvenci:

$$f_0 = 340/\lambda_0 \quad [\text{Hz}]$$

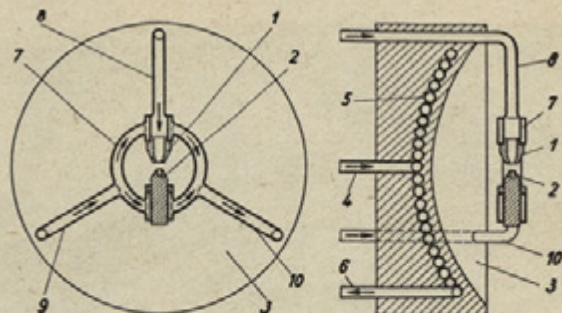
Zvočna hitrost pa ni konstantna, ampak narašča s temperaturo T [K] ter je podana v knjigi [6] z obrazcem:

$$c = 18,3 \sqrt{T} \quad [\text{m/s}]$$

Če informativno predpostavljamo veljavnost tega obrazca tudi za dimne pline, dobimo, da znaša n. pr. pri temperaturi 1100 °C (= 1373 K) v kurišču zvočna hitrost dimnih plinov že okrog 700 m/s. Frekvenca ultra zvoka, ki bi ga proizvajal HARTMANNov generator pri tej temperaturi, bi se torej povečala: na $700/340 = 2,06$ -kratno.

Podatki za dimenzioniranje ustreznega HARTMANNovega generatorja ultrazvočnega valovanja so povzeti iz literature [7]. S takim generatorjem smo izpostavili kurilne pline in letече delce goriva v kurišču ultrazvočnemu valovanju s tem, da smo vpihovali skozi dulec zrak. Dodatna prednost take uporabe HARTMANNovega generatorja je tudi ta, da deluje kot dovajalnik sekundarnega zraka.

HARTMANNov generator pošilja zvočne valove z največjo jakostjo radialno na vse strani v ravnini, ki je pravokotna na os generatorja. Z naraščanjem kota opazovane smeri navzgor in navzdol nasproti omenjeni ravnini se manjša jakost zvoka. V prostoru, ki ga zasenčuje tako dulec kakor tudi resonator, pa sploh ni direktnega zvoka. Tako dobimo zvočno valovanje, ki se širi na vse strani, od katerega pa moremo direktno uporabiti le tisti



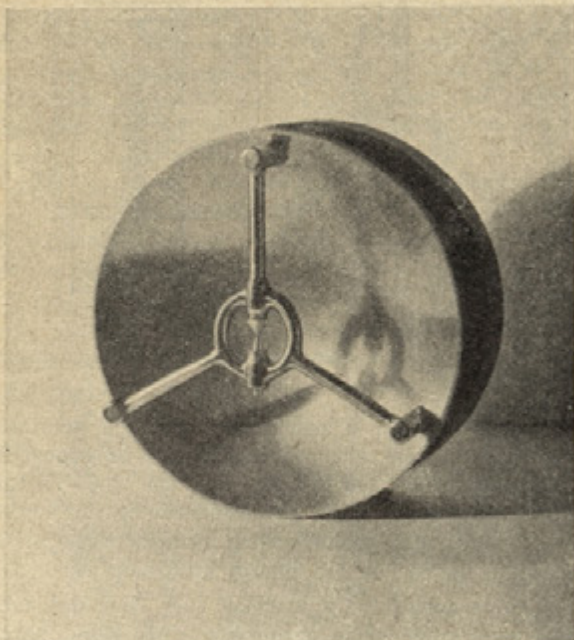
Sl. 1. Principialna skica ultrazvočnega generatorja

del, ki je obrnjen v kurišče. Pri tem je generator vedno postavljen tako, da je njegova os vzporedna s steno kurišča. Os generatorja pa naj bo tako usmerjena, da tvorijo proizvedeni zvočni valovi nekako pahljačo, preko katere morajo prehajati letēči delci goriva, ki jih nosijo kurilni plini.

Da pa izrabimo v kurišču tudi tisti del zvočnega valovanja, ki je usmerjen proti steni, namestimo na steno za generator ustreznih parabolični reflektor (3) (glej sliko 1)! Ker je ta, iz specialne litine narejeni reflektor izpostavljen v kurišču visoki temperaturi, ga je treba hladiti. V ta namen doteka po cevovodu (4) hladilna voda, ki teče nato po cevni spirali (5) in nazadnje odteka po cevovodu (6).

Pihalna šoba (1) in resonator (2) generatorja sta pritrjena diametralno in koaksialno na cevni obroču (7) opornika, ki ima tri cevaste ročice za pritrditev generatorja na reflektor (3). Prva ročica (8) rabi tudi za dovajanje zraka ali plina pod tlakom k šobi (1), druga ročica (9) za dovajanje hladilne vode k obroču (7) in tretja ročica (10) za odvajanje hladilne vode. Voda teče v smeri pušče in se deli v obroču (7) na dve vzporedni veji ter tako izdatno hladi tako pihalni dulec (1) kakor tudi resonator (2). Prva ročica (8) pa je hlajena neposredno z zrakom ali s plinom, ki je dovajan pihalni šobi (1). Vsi deli generatorja so izdelani iz specialnega proti vročini in ogorini odpornega jekla. Slika 2 kaže izdelani generator ultra zvoka skupno s pripadajočim reflektorjem (ϕ 300 mm). V sredini reflektorja vidimo obroč opornika, na katerem je zgoraj nameščen pihalni dulec, spodaj, njemu nasproti, pa resonator. Ta obroč je fiksiran s tremi ročicami v obliki cevi na pripadajoče cevaste opornike, ki so vstavljeni v odprtine na robu reflektorja. Po zgornjem cevastem oporniku dovajamo zrak za pogon HARTMANNovega generatorja, medtem ko služita spodnja dva cevasta opornika za dovod oz. odvod hladilne vode k obroču opornika.

Slika 3 kaže reflektor od zadaj. Razen že omenjenih treh cevastih opornikov generatorja imamo še dva priključka, t. j. v sredini je nameščen priključek za dotok hladilne vode za reflektor, na najnižjem mestu pa je priključek za odtok hladilne vode.



Sl. 2. Generator ultrazvočnega valovanja

Izvedeni preizkusi

Z opisanimi generatorji ultrazvočnega valovanja so bili do sedaj izvedeni primerjalni preizkusi na treh lokomobilskih parnih kotlih na rešetke ter na dveh žarilnih parnih kotlih na kurjavo s premogovim prahom. Pri vsakem od teh preizkusov za določitev vpliva ultra zvoka na zgorevanje sta bila izvedena po dva primerjalna preizkusa, in sicer prvi pri normalnem načinu obratovanja kotla ter drugi ob učinkovanju ultra zvoka. Za lažjo primerjavo ugotovljenih izkoristkov sta bila izvedena vsak od teh dveh preizkusov z enakovrednim premogom, pri približno enaki obremenitvi ter pri enakem načinu posluževanja kotla.

Za preizkuse na lokomobilah je bil uporabljen le po 1 generator ultra zvoka. Pri prvem takem preizkusu na lokomobilu WOLF v Steklarni Hrastnik je bilo ugotovljeno, da so obodni predeli reflektorja nezadostno hlajeni. Generator ultra zvoka je bil namreč vstavljen v odprtino vratic do roba kurišča nekako nasproti vstopom v dimne cevi. Za nadaljnje preizkuse na lokomobilah je bil zato izdelan poseben hlajen obod, v katerega je bil vstavljen generator ultra zvoka.

Pri preizkusih na žarilnih parnih kotlih BORSIG sta bila uporabljena po dva generatorja ultra zvoka, ki sta bila vstavljena v ustrezne odprtine, eden v desno, drug pa v levo stransko steno kurišča. Za vgradnjo generatorjev ultra zvoka v steno kurišča sta bila izdelana dva hladilna oboda. Slika 4 kaže fotografijo takega hladilnega oboda z vstavljenim generatorjem ultra zvoka. Lepo se vidi čelna plošča, ki služi za pritrditev hladilnega oboda na rob odprtine v steni kotla. Ker je raz-

deljen hladilni obod s spodnjo in zgornjo pregrado v levi in desni prekat, je bilo potrebno namestiti dva ventila za prezračevanje ter dva ventila za kaluženje. Z leve strani priteka po cevi hladilna voda v razdelilnik, od koder odteka na tri strani:

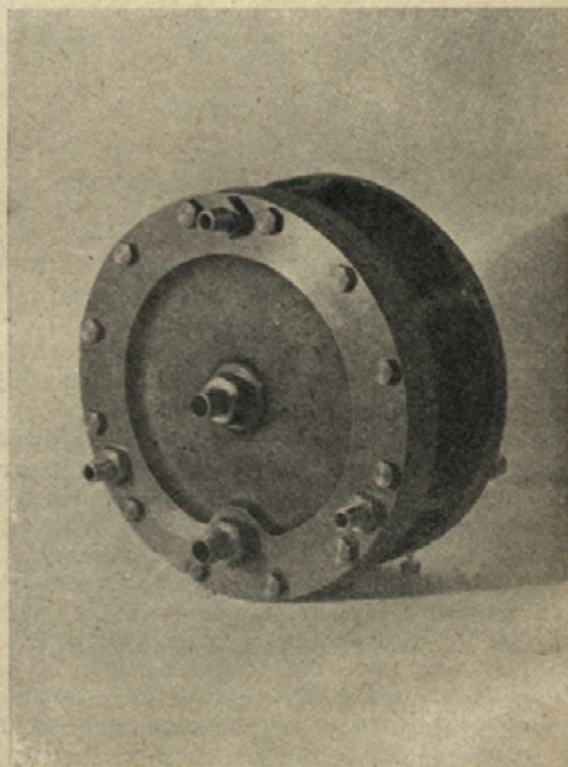
1. v levi prekat hladilnega oboda, odtok po skrajni desni cevi,
2. za hlajenje obroča opornika, odtok po drugi cevi z desne,
3. za hlajenje reflektorja, odtok po tretji cevi z desne.

Dotočna cev za komprimiran zrak pa je priključena preko regulacijskega ventila in cevi z manometrom na zgornji cevasti opornik, ki dovaja zrak dulcu.

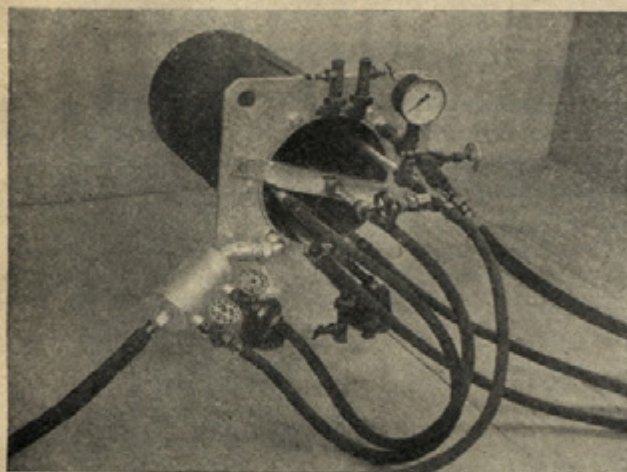
Slika 5 kaže hladilni obod z izvlečenim generatorjem ultra zvoka. Tu se lepo vidi vseh pet cevi za priključek generatorja ultra zvoka.

Za preizkus na kotlu BORSIG 60 t/h so bili vstavljeni obodi z generatorji ultra zvoka na desno in levo steno nekako v zgornjem delu kurišča približno 1 m pred konvektivnim snopom cevi upaljalnika zato, ker spodaj ni bilo primerne mesta. Generatorji so bili vstavljeni do sprednjega roba oboda. Ta pa je bil vgrajen tako globoko v steno kurišča, da je s sprednjim robom segal skoraj do prve vrste stenskih hladilnih cevi (okrog 200 mm).

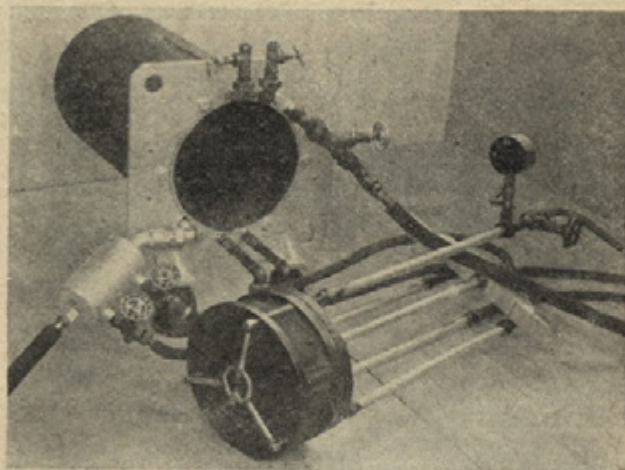
Da dosežemo največji vpliv, je potrebno, da prične učinkovati ultrazvočno valovanje takoj ob



Sl. 3. Priključki generatorja ultrazvočnega valovanja



Sl. 4. Pogled na hladilni obod z vstavljenim generatorjem



Sl. 5. Pogled na hladilni obod z izvlečenim generatorjem

pričetku zgorevanja letočih delcev goriva, t. j. ob gorilnikih — in ne šele ob koncu njihove poti po kurišču. Zgorevanje je namreč mogoče pospeševati le tedaj, ko so še na razpolago tako gorljivi delci kakor tudi zgorevalni zrak. Če pa le eden od teh elementov zgorevanja manjka, pa seveda o pospeševanju zgorevanja ne more biti govora. Z ozirom na to je bila torej lega ultrazvočnih generatorjev nasproti gorilnikom pri preizkusu na kotlu BORSIG 60 t/h manj ugodna. Pri preizkusih na kotlu BORSIG 100 t/h pa je bila na razpolago ugodnejša lega. Tu so bili nameščeni obodi z ultrazvočnimi generatorji na desni in levi stranski steni kurišča v višini gorilnikov tako, kakor kaže sl. 6.

Pri preizkusih na lokomobilskih kotlih je bil postavljen reflektor tako, da je bila njegova os vzporedna s smerjo toka plinov. Pri tem je bila os generatorja ultra zvoka vertikalna, t. j. pahljača ultrazvočnega valovanja je bila vodoravna. Pri preizkusih na žarilnih kotlih je bila os reflektorja pravokotna na smer toka plinov, in sicer tako, da je ležala zvočna pahljača nekako vzporedno s skupino konvektivnih cevi uparjalnika. Oba ta dva načina namestitve je narekovala konkretna situacija v zvezi z možnostjo za namestitev generatorjev ultra zvoka. Smiselno pa je, da je delček samo tako dolgo obdan z ultrazvočnim valovanjem, kolikor je to neogibno potrebno za pospeševanje zgorevanja. Vsako daljše zadrževanje delcev goriva v območju ultrazvočnega valovanja namreč povečuje pretočne upore dimnih plinov. Zato je bila smer ultrazvočnega valovanja, kakršno smo imeli pri preizkusih na žarilnih kotlih, vsekakor umestnejša kakor pa ona pri preizkusih na lokomobilih.

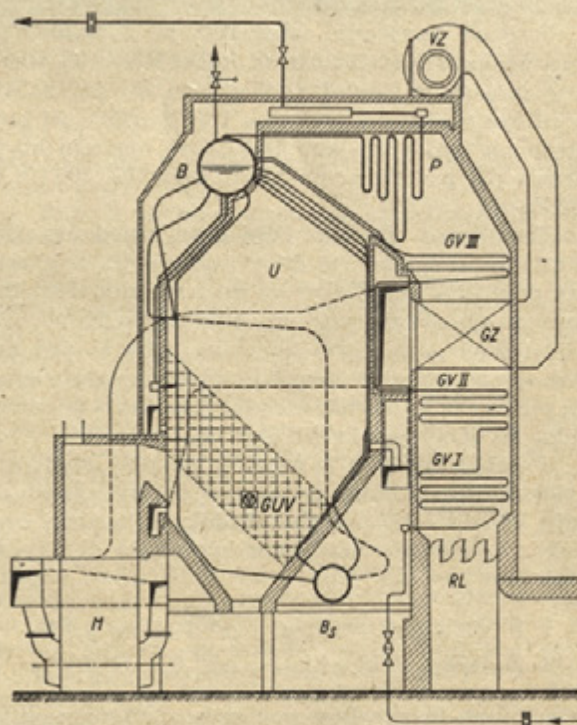
Za vse izvedene preizkuse so bili uporabljeni sicer enaki generatorji ultra zvoka na pnevmatični pogon. Z izmenjavo pihalnega dulca in koaksialno nasproti ležečega resonatorja pa so bili ustrezno

spremenjeni podatki uporabljenih generatorjev ultra zvoka, in sicer:

Za preizkus na:		lokomobilah	žarilnih kotlih
moč ultra zvoka 1 generatorja	W	28	79
frekvenca pri 20 °C	kHz	23	11
frekvenca pri 1000 °C	kHz	44	21
obratovalni tlak	atn	3,1	3,8
poraba zraka 1 generatorja	l/min	250	660
število uporabljenih generatorjev		1	2

Pregled rezultatov preizkusov

Pri izvedenih primerjalnih preizkusih na raznih kotlih smo dosegli pri normalnem načinu obra-



Sl. 6. Shematična skica namestitve generatorjev ultra zvoka (GUV) v kotel BORSIG 100 t/h

tovanja in ob učinkovanju ultrazvočnega valovanja naslednje izkoristke:

Preizkus	% pri normalnem obratovanju	% pri delovanju ultra zvoka	% povečanja izkoristka
lokomobila WOLF			
Steklarna Hrastnik	60,47	62,40	1,93
lokomobila WOLF			
Svila Maribor	65,23	65,96	0,73
lokomobila WOLF			
Steklarna Hrastnik (ponovno)	60,89	63,43	2,54
kotel BORSIG 60 t/h			
TE Trbovlje	58,40	62,76	4,36
kotel BORSIG 100 t/h			
TE Trbovlje	78,16	79,35	1,19

Pri vseh izvedenih preizkusih je bil določen izkoristek tako po direktni kakor tudi po indirektni metodi. Pri preizkusih na kotlu BORSIG 60 t/h pa je bil določen izkoristek le po direktni metodi, ker zaradi nenormalnega obratovalnega stanja ni bilo mogoče določiti posameznih izgub.

Proučitev doseženih rezultatov

Pri vseh izvedenih preizkusih, razen na kotlu BORSIG 60 t/h, je bilo ugotovljeno zmanjšanje dimničnih izgub. Ultra zvok je torej toliko izboljšal zgorevanje, da je zadoščal za dosego optimalnega zgorevanja manjši presežek zraka. Za zmanjšanje količine zraka pa ni bilo treba pripirati dotoka zraka, temveč se je zmanjšal presežek zraka sam od sebe zaradi povečanja pretočnih uporov pri pretoku dimnih plinov skozi dele kurišča, ki so bili izpostavljeni ultra zvoku.

Izredno povečanje izkoristka ob učinkovanju ultra zvoka pri preizkusu na kotlu BORSIG 60 t/h si je mogoče razlagati z dejstvom, da je znašala specifična moč ultra zvoka na 1 m³ kurišča pri preizkusu na tem kotlu kar 0,66 W/m³, medtem ko je znašala pri preizkusu na kotlu BORSIG 100 t/h le 0,32 W/m³.

Nadalje so bile ugotovljene pri izvedenih preizkusih ob učinkovanju ultra zvoka višje temperature pregretja pare kakor pa pri normalnem načinu obratovanja. Prav tako so bile ugotovljene tudi višje temperature ogretega zraka. Oba ta dva pojavi si razlagamo s povečanjem temperature dimnih plinov, ki je nastalo zaradi zmanjšanja presežka zraka ob učinkovanju ultra zvoka.

Posebno značilen je rezultat glede še gorljivega v elektrofiltru, ki smo ga določili pri preizkusih na kotlu BORSIG 100 t/h. Zaradi delovanja ultra zvoka se je namreč zmanjšal odstotek še gorljivega v letečem pepelu:

- v I. jašku elektrofiltra od 10,7 na 9,4 %
- v II. jašku elektrofiltra od 6,1 na 4,4 %

Ta rezultat je posebno pomemben ob ugotovitvi, da sestavlja v I. in v II. jašku elektrofiltra izločeni leteči pepel nad 70 % vseh izgorkov. Iz tega re-

zultata je jasno razvidno in dokazano, da ultra zvok v kurišču kotla izboljšuje zgorevanje delcev goriva.

V pregledu rezultatov preizkusov je navedeno, za koliko odstotkov se je pri posameznih preizkusih povečal izkoristek kotla zaradi učinkovanja ultra zvoka. Pri takih kompleksnih preizkusih, kakor so bili izvedeni preizkusi, seveda ni mogoče ločiti, za koliko se je povečal izkoristek kotla zaradi izboljšanja zgorevanja in koliko zaradi izboljšanja prenosa toplote. Pri ogrevalnih površinah, ki so bile neposredno izpostavljene vplivu ultrazvočnega valovanja, je namreč zanesljivo nastalo tudi izboljšanje prenosa toplote.

Zaključek

Glede na že izvedene preizkuse ugotavljamo, da je mogoče doseči z uporabo opisanih generatorjev ultra zvoka v kuriščih kotlov pomemben prihranek na gorivu. Posebno velja to za kotle na kurjavo s premogovim prahom. Zato bi bilo treba preizkuse nadaljevati predvsem v smeri gradnje pripravnejših, t. j. manjših generatorjev ultra zvoka ter glede na izbiro še ustrežnejših mest za namestitve generatorjev ultra zvoka v kurišča kotlov.

Razvojno delo ter prvi štirje preizkusi za določitev vpliva ultra zvoka na zgorevanje so bili izvedeni s podporo Sklada Borisa Kidriča, preizkus na kotlu BORSIG 100 t/h pa s podporo TE Trbovlje. Tudi v tem primeru se je pokazal izreden pomen Sklada Borisa Kidriča za razvoj znanstveno-raziskovalnega dela pri nas, ki mu gre velika zahvala za finančno in moralno pomoč pri izvedbi opisanega raziskovalnega dela. Velika zahvala gre tudi TE Trbovlje za vso izkazano pomoč. S tem je TE Trbovlje tudi dokazala, da se zaveda velikega pomena vsake akcije za izboljšanje ekonomije v obratovanju parnih kotlov.

Literatura:

- [1] W. Gumz: Handbuch der Brennstoff- und Feuerungstechnik, 1952.
- [2] F. H. Reynst: »Pulsierende Feuerung für Dampfkessel«, Mitteilungen der VGB H 24, 1953.
- [3] Horák-Krupka-Sindelář: Základy technické fyziky, 1955.
- [4] Laidler-Richardson: »The absorption of supersonics in smokes«, J. acoust. Soc. Amer. 1938.
- [5] L. Bergmann: Der Ultraschall, 1942.
- [6] B. Eck: Technische Strömungslehre, 1954.
- [7] J. Hartmann: »Die experimentelle Grundlage zum Entwurf des akustischen Luftstrahlengenerators«, Akust. Z., 1939.

Avtor: prof. ing. Leopold André, Fakulteta za strojništvo univerze v Ljubljani

Ker je preizkušeni generator ultrazvočnega valovanja iznajdba, ki je duševna last avtorjeva, jo je prijavil Upravi za patente. Patentna prijava je bila vložena še v 6 državah. — Za konstrukcijo tega generatorja ultrazvočnega valovanja je prejel avtor nagrado Sklada Borisa Kidriča.

Op. ur.