

GRADBENI VESTNIK

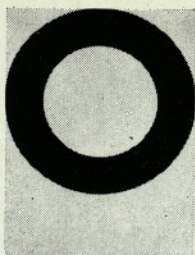
LJUBLJANA, APRIL - MAJ 1976
LETNIK 25, ŠT. 4-5 STR. 57-84

4-5



SPLOŠNO GRADBENO PODJETJE »GORICA«, NOVA GORICA

Objekt: Stanovanjski stolpnici v stanovanjskem naselju Ledine v Novi Gorici



totra

STOZD „TOTRA“

TOVARNA POZAMENTERIJE IN IZDELKOV IZ PLASTIČNIH MAS, LJUBLJANA TRPINČEVA 39 V DO »SAVA« KRANJ

Telefon (061) 41-033, komerciala tel. (061) 312-823

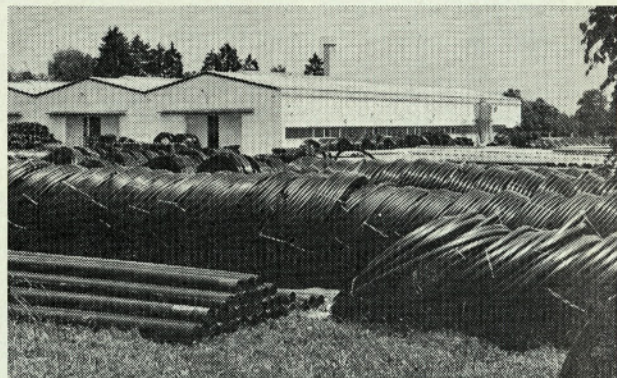
TOTRA PREDSTAVLJA PROIZVODNI PROGRAM CEVI IZ PLASTIČNIH MAS

Ena od prvih proizvodnih organizacij, ki se je po vojni lotila zahtevne proizvodnje in uvajanja cevi iz plastičnih mas na jugoslovansko tržišče, je naša delovna organizacija »Totra«.

Našo sedanjo proizvodnjo bi lahko delili na dve veliki skupini: proizvodnja cevi iz polietilena in proizvodnja cevi iz trdega polivinilklorida — iz PVC.

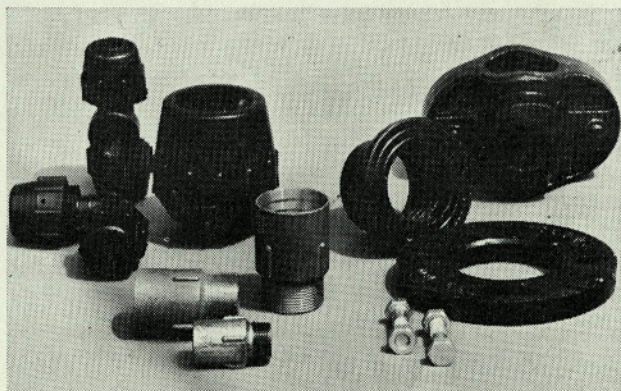
Proizvodnja cevi iz polietilena se deli na cevi iz polietilena nizke gostote (Jus G. C6. 610) in cevi iz polietilena visoke gostote (Jus G. C6. 620).

Cevi iz polietilena nizke gostote proizvodimo v dimenzijah od Dn 20 do Dn 63 mm. Te cevi se zaradi svoje izredne prožnosti in enostavnosti spajanja ter trpežnosti v glavnem uporabljajo za napeljavo vodovodnega razvodnega



janja cevi je najhitrejši in zelo kvaliteten, saj pri pravilni montaži zagotavlja čvrsto spajanje.

Kot edini v Jugoslaviji proizvodimo tudi PVC cevi za drenažo po sistemu Raudril. To so cevi, brez katerih danes ne bi smeli graditi nobene ceste ali kakega drugega objekta nizke gradnje. Naše Raudril drenažne cevi s svojim učinkovitim zbiranjem in odvajanjem atmosferskih in talnih vod zagotavljajo objektom veliko uporabnost in neprimerno daljšo življenjsko dobo kot pri gradnjah brez drenažiranja, ali z drenažiranjem na druge načine. Drenažne cevi proizvodimo v dimenzijah Dn 80, Dn 100 in Dn 150 mm ter drenažno kanalizacijske cevi Dn 250 mm. Tudi spajanje drenažnih cevi je enostavno. Tako kot PVC cevi ima vsaka cev oglavek. Spajanje se izvaja z vtikanjem ravnega konca ene cevi v oglavek druge cevi. Cevi so korozijsko odporne v agresivnih tleh in tudi proti agresivnim pretočnim medijem.

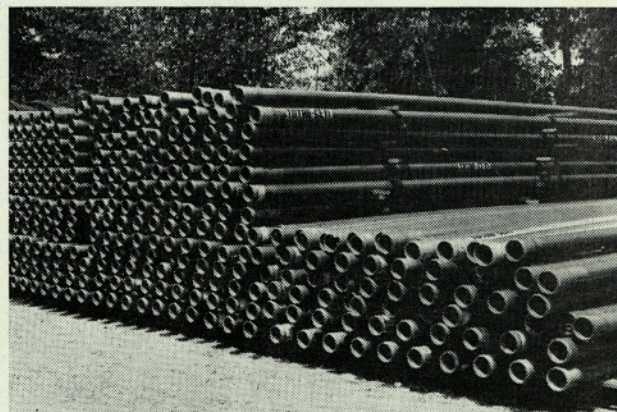


omrežja. Uporaba je tako enostavna, da največkrat pri postavljanju omrežja niti ni nujna pomoč instalaterja, zato je izredno primerna za graditelje individualnih gradenj. Za te cevi proizvodimo tudi spojnice iz polipropilena kot so enojne in dvojne spojnice, reducirni kosi. T kosi in kolena. Možna je tudi kombinacija uporabe pocinkanih fittingov.

Cevi iz polietilena visoke gostote izdelujemo v dimenzijah od Dn 63 do Dn 250 mm. Te cevi so primerne za glavne vodovodne vode, za kanalizacijo in razne cevovode v industriji; predvsem v kemični, ker je polietilen zelo odporen proti kemikalijam. Tudi pri teh ceveh je spajanje enostavno, hitro in učinkovito, kar zelo poceni gradnjo oziroma montažo. Cevi iz polietilena visoke gostote imajo poleg drugega tudi to prednost, da se dajo med seboj imenitno variti. To omogoča izdelavo najrazličnejših fazonskih kosov.

Obe skupini polietilenskih cevi imata dolgo življenjsko dobo. Če so cevovodi strokovno oziroma pravilno položeni, je doba njihovega obratovanja zagotovljena za nad 50 let. Cevi iz trdega PVC (Jus G. C6. 501 in Jus G. C6. 505) izdelujemo v dimenzijah od Dn 63 do Dn 160 mm. Tudi te cevi so primerne za vodovodna omrežja ter ostale cevovode.

Cevi so lahke, imajo idealno gladko notranjo površino in so odporne proti koroziji. Za spajanje PVC cevi obstoji več možnosti. V Totri smo se odločili za način, ki se je v praksi pokazal za najučinkovitejšega. Vsaka cev ima z ene strani oglavek opremljen z gumijastim tesnilom. Ta način spa-



S tem smo v glavnem podali grobo sliko našega proizvodnega programa cevi iz plastičnih mas. Seveda razpolagamo za vsako vrsto cevi z obširno strokovno dokumentacijo, ki jo nudimo vsem, ki se zanimajo za naše cevi. Vse informacije vsam lahko nudi prodajni oddelek za cevi, ki ima svoje prostore v Ljubljani, Miklošičeva 18/I — telefon (061) 312 823.

Obiščite nas!

VSEBINA-CONTENTS

Članki, študije, razprave
Articles, studies, proceedings

V. I. KONOVOĐČENKO:

Nekateri problemi v zvezi z opečno gradnjo v seizmičnih področjih 58
Some problems, concerning the use of the masonry in the earthquake regions

ENGELBERT HRIBERNIK — JANEZ KRŽAN — ANTON GRIM-
SIČAR — VERA APIH — SMILJAN UMEK:

Vpliv zračnega onesaženja na gradbene materiale 62
The effect of air pollution on building materials

ANTON DULAR:

Geoelektrične raziskave na Ljubljanskem polju med Šmarno goro
in Stanežiškim hribom 70
Geoelectrical investigations on Ljubljana field between Šmarna gora
and Stanežiški hrib

Obvestilo
Annotation

Program informativno-pripravljalnih tečajev za opravljanje stro-
kovnih izpitov v gradbeništvu

LEOPOLD VEHOVAR:

Uporovno sočelno obžigalno varjenje rebrastega in okroglega beton-
skega jekla na domačem programiranem stroju tipa TSO 40-A Go-
renje-Varstroj 77

Informacije Zavoda za raziskavo
materiala in konstrukcij Ljubljana
Reports of Institute for material and
structures research Ljubljana

Odgovorni urednik: Sergej Bubnov, dipl. inž.

Tehnični urednik: prof. Bogo Fatur

Uredniški odbor: dr. Janko Bleiweis, dipl. inž., Vladimir Cadež, dipl. inž., Marjan Gaspari, dipl. inž., Dušan Lajovic, v. g. t.,
dr. Miloš Marinček, Saša Skulj, dipl. inž., Viktor Turnšek, dipl. inž.

Revija izdaja Zveza gradbenih inženirjev in tehnikov Slovenije, Ljubljana, Erjavčeva 15, telefon 23 158. Tek. račun pri
Narodni banki 50101-678-47602. Tiska tiskarna tone Tomšič v Ljubljani. Revija izhaja mesečno. Letna naročnina sku-
paj s članarino znaša 100 din, za študente 38 din, za podjetja, zavode in ustanove 500 din

Nekateri problemi v zvezi z opečno gradnjo v seizmičnih področjih

UDK 699.841

V. I. Konovodčenko

Uporaba opeke v potresnih področjih je pomembno vprašanje ne samo za našo opekarsko industrijo, temveč za celotno gradbeništvo in naše gospodarstvo. Po izidu naših zveznih predpisov za gradnjo v seizmičnih področjih v letu 1964 je opeka domala v celoti zapustila naša gradbišča, zlasti v področjih višje seizmičnosti, kamor štejemo številna naša velika mesta (Ljubljana, Zagreb, Skopje in druga). Različni preizkusi, da bi opeko kot kvaletni gradbeni material (zlasti zaradi izrednih izolacijskih in toplotno-akumulacijskih lastnosti) vrnili na naša gradbišča z uporabo armirano-betonskih vertikalnih in horizontalnih vezi ali z armiranjem zidave, niso obrodili ustreznih rezultatov.

V članku V. I. Konovodčenka — priznanega sovjetskega strokovnjaka, šefa laboratorija za potresno odporne konstrukcije stavb in eksperimentalne raziskave CNIISK, GOSSTROJ, SSSR, ki ga je napisal za Gradbeni vestnik, avtor nakazuje možnost pomembne ojačitve opečne zidave v potresnih področjih z uporabo polimernih dodatkov k malti. Takšen postopek, v kolikor bi se v naših pogojih pokazal kot ekonomsko upravičen, bi bil gotovo najbolj enostavna rešitev problema uporabe opeke v potresnih področjih pri nas.

Odgovorni urednik
Sergej Bubnov, dipl. ing.

Izmed petnajstih zveznih republik v SSSR v enajstih pretežni del zajemajo potresna področja. Potresna področja imamo ob južnih mejah države in zavzemajo več kot 12 % celotne površine SSSR. V teh področjih je 9 prestolnic republik in veliko pomembnih industrijskih regionov, gosto naseljenih, tam se veliko gradi; gradijo se nova naselja in mesta. Tehnično-ekonomske analize kažejo, da so v primerjavi z nepotresnimi področji gradbeni stroški v potresnih področjih večji okrog 5, 10 in 15 odstotkov za seizmičnosti 7, 8 in 9 stopnje. Glede na to ima vprašanje varnosti in ekonomike gradnje v seizmičnih področjih velik gospodarski pomen.

Velik obseg gradbenih del v SSSR in prizadevanja za zvišanje produktivnosti dela ter naloge, ki so zvezane s povečanjem obsega izgradnje večnadstropnih stavb, so pripeljali do masovnega prehoda od tradicionalne gradnje opečnih stavb, ki so zahtevale na gradbišču veliko ročnega dela, k industrijskim skeletnim in celičnim konstrukcijam, ki se na gradbišču montirajo iz prefabriciranih elementov, izdelanih v tovarnah.

Ne glede na intenziven razvoj montažne graditve iz industrijsko izdelanih armirano-betonskih elementov, še vedno veliko število stanovanjskih in javnih zgradb v seizmičnih področjih gradijo iz opeke. Uporaba opeke v gradbeništvu še vedno narašča in znaša sedaj okrog 50 milijard enot letno.

Za razliko od običajnih pogojev obremenitve, ko opečni zidovi prevzamejo statične obtežbe pritiska z manjšimi ekscentricitetami, se pri seizmičnih obremenitvah v opečnih zidovih pojavljajo komplicirane kombinacije upogibov, nateznih in strižnih obtežb. Pri tem je za te obtežbe značilno,

da nastajajo s trdim dinamičnim učinkom, ki je najbolj neugoden ravno za opečno gradnjo.

Seizmična odpornost konstrukcij iz opeke je v prvi vrsti odvisna od kvalitete opečne gradnje, kar je spet odvisno od kvalitete osnovnih materialov — opeke in malte in od njihove medsebojne vezeve v opečnem zidu. Pri tem je treba vedeti, da ima opečni zid le omejeno možnost razvoja plastičnih deformacij in zato nima bistvenih rezerv nosilnosti.

Zato so posamezne »špice« impulzivnih preobremenitev, ki se vedno pojavljajo pri potresih, zelo nevarne za opečne konstrukcije.

Za dosego varnosti opečnih stavb je treba zagotoviti nenehno strogo kontrolo kvalitete opečnih del in ravno tako uporabiti vrsto ukrepov, ki pripomorejo k povečanju potresne odpornosti opečnih konstrukcij. V smislu v SSSR veljavnih predpisov opečno gradnjo razvrščamo v tri kategorije, ki karakterizirajo potencialno odpornost te gradnje pri potresnih obremenitvah, odvisno od marke opeke in malte ter od nosilnosti opečnega zidu na nateg. Analize učinkov potresov kažejo, da je eden glavnih vzrokov poškodb zgradb ravno v nezadostni in pogosto v smislu predpisov neustrezni medsebojni vezavi opeke in malte (adhezija).

Veljavni predpisi SSSR določajo za opečne zidove 1, 2 in 3 kategorije naslednje minimalne vrednosti adhezije: 1,8, 1,2 in 0,6 kg/cm². Številne raziskave so pokazale, da je v vročih in suhih klimatskih pogojih na gradbišču zelo težko doseči vrednost adhezije, predpisane za zid 1. kategorije. Tako na primer je bilo v vseh opečnih zgradbah, ki so dobile razpoke ob priliki taškentskega potresa, ugotovljeno pokanje zidov po regah, tj. tist.

način porušitve, ki ga povzroča slaba adhezija med opeko in malto.

Upoštevajoč rezultate raziskav učinkov vrste zadnjih potresov je sedaj v predpise vnesena zahteva obvezne kontrole kvalitete adhezije v zidovih opečnih zgradb v času gradnje. Pri projektiranju je treba veličino adhezije upoštevati soglasno z rezultati ustreznih raziskav, izvršenih v enakih pogojih, kot jih predvideva zadevni projekt. Če ni na razpolago dejanskih podatkov, mora biti dimenzioniranje in projektiranje opečnih konstrukcij izvršeno za kvaliteto zidu 3. kategorije, z maksimalno vrednostjo normalne adhezije ne več kot $0,6 \text{ kg/cm}^2$.

V tem primeru je treba poseči po pomembnih ojačitvah opečnih zidov zaradi zagotovitve potrebne potresne odpornosti, z uvajanjem armirano-betonskih elementov ali armiranjem zidov, tako da projektiramo nosilne konstrukcije s kompleksnimi prerezi, oziroma z monolitnim skeletom in polnilnimi opečnimi zidovi.

Izkušnje, pridobljene pri potresih, pričajo o učinkovitosti konstruktivnih ukrepov, ki jih uporabljamo za ojačanje opečne gradnje. Stavbe, ki so bile projektirane in zgrajene ob popolnem spoštovanju predpisov, zadovoljivo prevzemajo potresne obremenitve in praviloma po potresu ne potrebujejo dragih rekonstrukcij.

Osnovna orientacija k zvišanju nivoja industrializacije gradbeništva zahteva prehod od opečnega zidaka k večjim blokom ali panelom. Takšne montažne konstrukcije lahko izdelujejo v specialnih tovarnah oziroma v opekarnah, kakor tudi na gradbiščih.

Najbolj perspektivni način izdelave montažnih elementov za gradnjo na potresnih področjih je izdelava s pomočjo vibriranja. Na ta način lahko zagotovimo kvalitetno polnjenje z malto vseh reg. Opečni elementi, izdelani s pomočjo vibriranja, imajo znatno boljše nosilne karakteristike, kot elementi, izdelani ročno iz materialov enake kvalitete (opeke in malte). Vibrirana zidava (odvisno od kvalitete uporabljenih materialov) ima 1,5 do 2-krat večjo nosilnost glede na pritisk in 2,5 do 3-krat manjše plastične deformacije od normalne zidave. Posebno pomembno za gradnjo v potresnih področjih je dejstvo, da zidava z vibriranjem izkazuje povečano monolitnost. Adhezija med opeko in malto pri takšni zidavi je praviloma večja od nosilnosti na nateg, ki jo zahtevajo predpisi za zidove 1. kategorije.

Zaradi povečanja nosilnosti glede na adhezijo med opeko in malto lahko priporočamo uporabo malte iz polimercementnih mešanic. V tabeli 1 so navedeni nekateri rezultati preizkusov, izvršenih v CNIISK z vzorci zidu iz silikatne opeke marke 100. Za malto je bil uporabljen rečni pesek, z modulom zrnatosti 1,8 in portland cement marke 400.

Kot polimerni dodatek k malti je uporabljena polivinilacetatna emulzija (PVA E)

Kot je razvidno iz podatkov, navedenih v tabeli 1, je dodajanje polimernih dodatkov bistveno povečalo adhezijo. Če je ob uporabi navadne cementne apnene (podaljšane) malte adhezija z opeko po 14 dneh znašala $1,0 \text{ kg/cm}^2$, po 6 mesecih je pa celo padla na $0,4 \text{ kg/cm}^2$, je pri uporabi polimercementne malte enake plastičnosti po 14 dneh adhezija znašala 5,02 in $6,05 \text{ kg/cm}^2$, odvisno od ko-

Tabela 1

| Sestav malte (cement: plastifikator : pesek; used konusa v cm) | Trdnost malte na pritisk kg/cm^2 | Trdnost normalne adhezije v kg/cm^2 | | | |
|--|--|--|--------------------|----------------------------------|--------------------|
| | | 14 dni posam. | 6 mesecev popr. | 14 dni popr. | 6 mesecev popr. |
| Cementno-apnena: | | | | | |
| 1:0, 7:9 | 16,5 | 1,1; 0,8; 1,0; 1,09; 1,0 | 1,0 | 0,36; 0,38 0,3; 0,57 | 0,4 |
| Ok = 11 | | | | | |
| Polimercementna: | | | | | |
| 1:0, 1:9 | 43,8 | 6,4; 5,9; 5,1; 3,5; 4,2 | 5,2 | 4,95; 4,1; 4,8; 5,38; 7,68 | 5,4 |
| DK = 11 | | | | | |
| O = 13 | 47,9 | 3,8; 4,2; 4,3; 4,33; 4,83 | 4,3 | 10; 4,95; 9,0; 5,45; | 7,35 |
| Polimercementna: | | | | | |
| 1:0, 17:9 | 72,0 | 5,35; 8,5; 3,5; 6,77 5,94 | 6,05 | 4,07; 6,0; 8,77 | 6,25 |
| Ok = 11 | | | | | |
| Ok = 13 | 64,4 | 4,92; 7,85 8,55; 7,1 6,8 | 7,04 | 9,6; 12,9; 13,8; 14,6 10,4 | 13,26 |

Opombe:

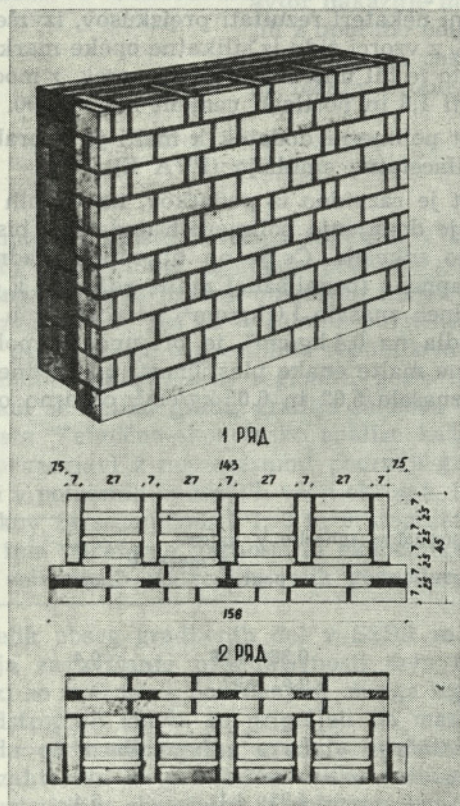
1. Sestav malte je prikazan v težinskih razmerjih.
2. Trdnost malte je določena pri preiskavi kock s stranicami $7,07 \text{ cm}$ po 14 dneh.

ličine dodatka cementa (0,1 in 0,17 od teže). Še višji pokazatelji so bili doseženi z uporabo bolj plastične malte ($Ok = 13$ cm), pri kateri so povprečne vrednosti znašale 7,35 in 13,26 kg/cm². Pri tem je pri vseh preizkušancih porušitev nastopila pri opeki in ne na kontaktu malte in opeke.

Treba je poudariti, da se pri uporabi polimer-cementne malte trdnost adhezije povečuje s časom, medtem ko se le-ta pri zidovih z navadno malto zmanjšuje. Ravno tako je treba upoštevati, da polimer-cementne malte ob enakem razmerju cementa nasproti pesku kot pri cementnoapnenih maltah, imajo znatno večje trdnosti.

Na podlagi navedenih rezultatov je razvidno, da je zamenjava apna s polimerjem zvišala trdnost malte za 3—4-krat.

Za rešitev problema industrializacije opečne gradnje je priporočljiva uporaba votlih blokov. Ena izmed takšnih konstrukcijskih rešitev je lahko



Sl. 1. Shema konstrukcije večvotlinskega bloka

Tabela 2

| Konstrukcija bloka | Termična prevodnost m ² h°C Kcal | Debelina zidu cm | Pokazatelji za 1 m ² zidu | | |
|------------------------|---|---------------------|--------------------------------------|----------------------|-------------|
| | | | Poraba opeke kos | Poraba cementa kg | Teža t |
| S tremi vrstami votlin | 0,96 | 29 (51) | 116 (204) | 21 (30) | 0,54 (0,92) |
| Enako s 4 vrstami | 1,10 | 36 (64) | 146 (256) | 25 (37) | 0,66 (1,15) |
| Enako s 5 vrstami | 1,20 | 42 (77) | 168 (308) | 30 (45) | 0,76 (1,40) |

Opomba: V oklepajih so navedeni pokazatelji za zidavo iz navadne opeke, ki je ekvivalentna votlim blokom, glede termične prevodnosti.

blok, ki sestoji iz nekaj vertikalnih reber debeline 1/4 opeke v razmaku 3—10 cm, ki so medsebojno vezana s horizontalnimi diafragmami. Konstrukcija bloka glede števila vertikalnih reber in njih razmaka lahko variira, v skladu z nosilnimi in klimatskimi zahtevami. Votline lahko zapolnimo z različnimi izolacijskimi materiali, ali pa ostanejo nezapolnjeni kot zračna izolacija. Na sliki 1 je prikazana skica konstruktivne rešitve, v tabeli 2 pa so podane tehnično-ekonomske karakteristike za nekatere variante votlih blokov.

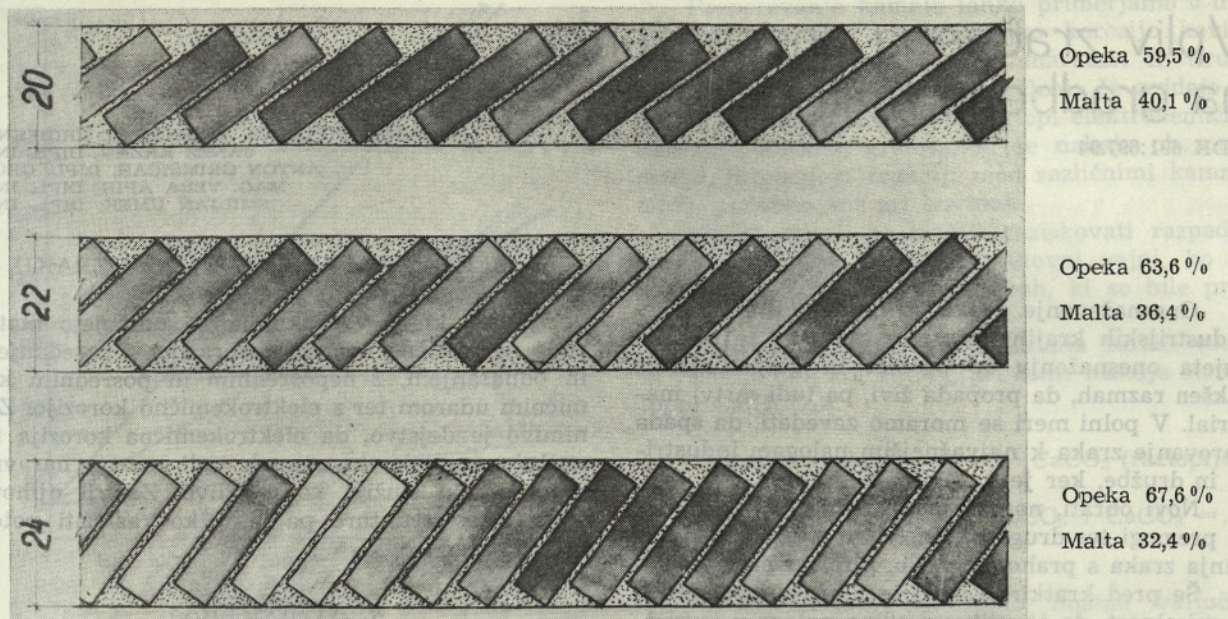
Analize kažejo, da z uporabo votlih blokov brez izolacijskih polnitev lahko dosežemo 40—50 % prihranka opeke in cementa v primerjavi z normalno zidavo. Termoizolacijsko funkcijo v tem primeru prevzemajo votline.

Pri izdelavi takšnih blokov v kalupih lahko zagotovimo dobro polnitev vseh reg z malto, pri čemer vibriranje ni nujno, ker votline lahko oblikujemo s plosnatimi vložki, ki jih izvlečemo takoj po izdelavi bloka.

Rezultati raziskav so pokazali, da pri osnem in ekscentričnem pritisku večvotlinska zidava izkazuje dvakrat večjo trdnost kot navadna zidava, glede na neto prerez. Takšen rezultat lahko pojasnujemo z boljšo zapolnitvijo reg z malto in bolj ugodnim položajem opeke v takšni zidavi (na rebro). Bistveno zmanjšanje teže zidu ob obremenitvi njegovih nosilnih karakteristik, obstoj nepretrganih votlin, ki omogočajo vložitev vertikalne armature za ojačitev zidov dajejo osnovo za trditve o smotnosti uporabe večjih večvotlinskih opečnih blokov za gradnjo v potresnih področjih.

Za notranje nosilne zidove stavb, ki jih gradimo v potresnih področjih, je lahko zelo učinkovita konstrukcija panelov z dvovrstno poševno zidavo. V takšnih panelih opeko polagamo pod kotom $\pm \alpha$ nasproti vzdolžni osi panela. S spremembo kota α lahko dobimo panele debeline od 20 do 60 cm in na ta način brez spremembe dimenzije opeke in načina zidave lahko za vsak konkretni primer uporabimo optimalno debelino zidu, pri kateri je zagotovljeno popolno izkoriščanje nosilnosti zidu in ustvarjeni dobri pogoji za naslonitev in povezavo s stropnimi ploščami.

Na sliki 2 je prikazano polaganje opeke v tlorisu panela in razmerja porabe opeke in malte pri poševni zidavi za različne debeline zidu. Nekoliko povečana poraba malte pri poševni zidavi se kom-



Sl. 2. Shema razporeda opeke v tlorisu panela iz poševne zidave in ustrezna poraba opeke in malte.

penzira z zmanjšanjem porabe opeke. Kolikor je debelina zidu večja, se razmerje porabe opeke in malte za m^3 panela med poševno in navadno zidavo precej izenačuje.

Polaganje vsake opeke ene šare na tri opeke spodnje šare pri poševni zidavi zmanjšuje vpliv disperzije trdnosti posameznih opek na trdnost zidu v celoti in povečuje poprečno trdnost samega zidu.

Omenjeni način zidave omogoča vezavo zidu v celotnem prerezu in s tem onemogoča pojavo razpok, ki bi potekale samo po malti, kar je posebno pomembno pri preobremenitvah, ko paneli prevzamejo vetrne in seizmične obremenitve.

Zunanje vertikalne rege panelov, ki se oblikujejo pri poševnem polaganju opeke, se polnijo

z malto v teku izdelave. Stopničasta površina zunanjih ploskev omogoča zanesljivo sodelovanje malte in opeke v panelu pri obremenitvah.

Opravljeni preiskave poševne zidave so pokazale, da takšni zidovi izkazujejo glede na pritisk in strig veliko večje nosilne lastnosti, kot zidovi, zidani na običajen način.

Razpoložljive eksperimentalne raziskave in izkušnje projektantov kažejo perspektivnost uporabe prefabriciranih opečnih konstrukcij v potresnih področjih, bodisi v obliki večvotlinskih blokov ali panelov s poševno zidavo. Za povečanje monolitnosti prefabriciranih zidnih panelov je treba uporabljati vibriranje in malto z dodatki polimerov, katerih učinkovitost je potrjena s posebnimi preizkusi.

Prevedel S. B.

UDK 699.841

GRADBENI VESTNIK, LJUBLJANA, 1976 (25)

ST. 4-5, STR. 58-61

Konovodčenko V. I.:

NEKATERI PROBLEMI V ZVEZI Z OPEČNO GRADNJO V SEIZMIČNIH PODROČJIH

Avtor navaja pozitivne izkušnje, pridobljene z uporabo polimercementne malte za opečno gradnjo v seizmičnih področjih. Ta malta bistveno povečuje adhezijo malte in opeke in s tem odpornost zidu na dinamične obtežbe. Za industrializirano gradnjo priporoča avtor uporabo panelov in večjih votlih blokov, sestavljenih iz polnih zidakov za zunanje zidove, oziroma panelov s poševno zidavo za notranje zidove. Pri tem poudarja pomen vibriranja pri izdelavi prefabriciranih opečnih elementov za gradnjo v seizmičnih področjih.

UDC 699.841

GRADBENI VESTNIK, LJUBLJANA, 1976 (25)

NR. 4-5, PP. 58-61

Konovodčenko V. I.:

SOME PROBLEMS, CONCERNING THE USE OF THE MASONRY IN THE EARTHQUAKE REGIONS

Some positive experiences concerning the use of polymercement mortars for the masonry in earthquake regions are noted. This mortar considerably increases the adhesion of bricks and mortar and therewith the resistance of the masonry on seismic loads. For industrialized building in seismic areas the author recommends the use of prefabricated panels or hollow blocks made of bricks for external walls, and panels of oblique bricks for internal walls. The importance of chalking and vibration during the manufacturing of prefabricated panels is emphasized.

Vpliv zračnega onesnaženja na gradbene materiale

UDK 691:697.94

† PROF. DIPL. ING. ENGELBERT HRIBERNIK
 JANEZ KRŽAN, DIPL. ING.
 ANTON GRIMŠIČAR, DIPL. GEOL.
 MAG. VERA APIH, DIPL. ING.
 SMILJAN UMEK, DIPL. ING.

1. UVOD

Onesnaževanje zraka je doseglo predvsem v industrijskih krajih ter v mestih, kjer se pridružujeta onesnaženju še promet in gospodinjstvo, takšen razmah, da propada živi, pa tudi mrtvi material. V polni meri se moramo zavedati, da spada varovanje zraka k najvažnejšim nalogam industrije in družbe, ker je v splošnem interesu.

Novi obrati, naraščajoča gostota naselbin, slabi premogi ter druge okolnosti so vzrok onesnaževanja zraka s prahom, meglo, plini in parami.

Še pred kratkim časom je vladala med tehniki miselnost, da je njihova edina naloga v izgradnji brezhibno delujočih strojev in naprav, onesnaženi zrak, ropot in umazane odpadne vode pa so bili po njihovih nazorih nadležne, vendar dozdevno neogibne spremljevalke sodobnega okolja.

V današnji dobi pa mora skrb za čistejši in higienski zrak pripadati vsej javnosti, ki terja učinkovite ukrepe proti naraščajočem onesnaženju ozračja s tujimi snovmi. Tehniki so danes v stanju, da odstranjujejo izvore škodljivih emisij, ali pa jih vsaj omejujejo do znosne mere, vendar za to potrebujejo podporo celotne družbe.

2. O ONESNAŽENJU ZRAKA V SLOVENIJI

Že pred leti so bile objavljene študije o onesnaženju ozračja, delno kot samostojne raziskave, v glavnem pa zaradi zahtevkov za povračilo škode na prizadetih gozdovih, posevkih, uničenih ribah itn.

Pri proučevanju onesnaženega ozračja so zasledovali skoraj vedno njegov vpliv na živa bitja, tj. na človeka, rastlinstvo in živalstvo, kar je za naš obstanek sicer bistveno, vendar ne edino. Institucija, ki se pri nas že desetletja ukvarja z »mrtvo materijo«, je Zavod za spomeniško varstvo SR Slovenije v Ljubljani. Ta zavod je marsikateri objekt rešil pred popolnim propadom.

Hitro naraščajoča industrija in promet povzročata in pospešujeta propadanje gradbenih materialov, katere je treba čimprej zaščititi. V zadnjem času so se pojavila najrazličnejša zaščitna sredstva, ki pa niso vsa dobra. Ugotoviti je treba, katera najbolj ustrezajo za določene namene.

Ker Zavod za spomeniško varstvo nima lastnega laboratorija, brez katerega si danes ne moremo zamisliti uspešne borbe proti uničevanju materialov, bi bilo sodelovanje z Zavodom za raziskavo materiala in konstrukcij izredno koristno, saj bi se s tem delo na varovanju gradiv lahko razširilo na večja območja.

3. MEHANIZEM UNIČEVANJA V ZRAKU

Snovi, ki so v zraku, lahko uničujejo materiale na različne načine: z abrazijo, s posedanjem in odnašanjem, z neposrednim in posrednim kemičnim udarom ter z elektrokemično korozijo. Zanimivo je dejstvo, da elektrokemična korozija ne uničuje samo kovin, ampak tudi mnoge naravne minerale, ki služijo kot gradivo. Zaradi njihove heterogene strukture pa je težko razložiti potek propadanja.

4. ATMOSFERA

Razumljivo je, da je atmosfera rezervoar za vse nečistoče, ki prihajajo v zrak zaradi raznih dejavnosti. Tako se pojavljajo v ozračju voda, CO₂, CO, SO₂, SO₃, NO_x, Cl in druge škodljive snovi.

Ogljikovega dioksida je v atmosferi 0,034 %. V velikih mestih in na krajih naraščajoče industrializacije so ga našli celo 0,27 %; posebno pa se njegov odstotek poveča ob času industrijskega smoga, zaradi avtomobilskih izpuhov in ob povečani biosferski aktivnosti.

Ogljikov monoksid nastaja ob nepopolnem zgorevanju organskih snovi. Koncentracija na cestah zelo močno variira in je odvisna od gostote prometa in od meteoroloških razmer. CO kamnin ne napada. V naravi se ne oksidira do CO₂, ampak deluje kot katalizator, ki povzroča in pospešuje napad na kamnine.

Sulfati, SO₂, SO₃: pri zgorevanju fosilnih goriv prehaja žveplo v SO₂, ki se razširja v atmosfero. V ZDA že imajo predpise, da je dopustno uporabljati le premoge z maksimalno vsebnostjo žvepla do 1,5 %.

V ozračju sta vedno tudi SO₂ in SO₃, ki prehajata z dežjem v ustrezne kisline: H₂SO₃ in H₂SO₄. Žveplov dioksid se oksidira v prisotnosti oksidantov v nevarnejši SO₃. Taka oksidacija poteka običajno ob fotokemičnem smogu pod vplivom sonca.

V diagramu 1 je prikazana konverzija SO₂ v H₂SO_x v vlažni atmosferi, kjer deluje vlaga kot katalizator.

Največji povzročitelji sulfatne emisije so termoelektrarne, kurjenje s premogom, potem kurjenje s proizvodi nafte, in pa ostala kurjenja, ki skupaj dosežejo 80 % celotne emisije.

Kloridi, klor: po Jungu (1958) izvira polovica vseh v zraku se nahajajočih kloridov (v celoti 0,04 %) iz morja. Poznana je korozija kamnin v bližini morskih obal.

Dušikovi oksidi nastajajo pri izgorevanju v eksplozijskih motorjih, imamo jih tudi v dimnih

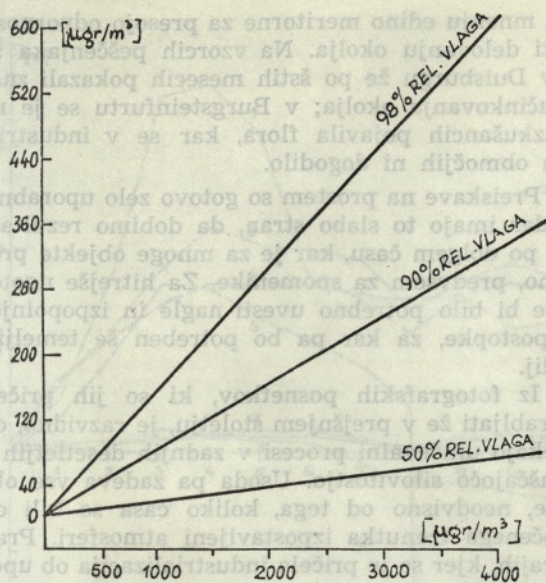


Diagram 1

plinih termocentral, medtem ko pri fotokemičnem smogu običajno nastaja solitrova kislina.

Ni še dognano, kako delujejo dušikovi oksidi na gradivo.

5. DEŽNICA

Dežnica navzame pri prehodu skozi atmosfero snovi, ki delujejo močno korozivno. Znano je, da imajo ponekod kisel dež.

Količina aerosolov, ki jih izpere dežnica, je odvisna od velikosti kapljic, hitrosti padanja in razdalje med oblaki in zemljo.

Na diagramu 2 je prikazano razmerje med velikostjo dežnih kapljic in absorpcijo ionov.

Največji delež k razpadanju prispevata ozračje in dežnica, pridružujejo pa se še vplivi bakterij, rastlin in živali.

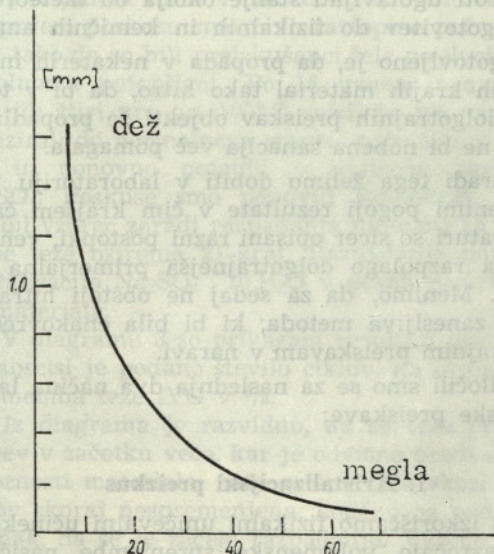
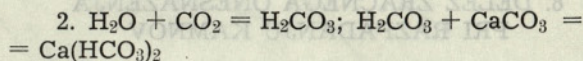
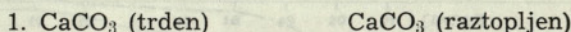


Diagram 2

Preperevanje kamnin lahko primerjamo v določenih primerih z atmosfersko korozijo kovin. Prevodni materiali kot pirit, markazit in drugi lahko delujejo kot galvanski členi, če pridejo v dotik z elektrolitom. Tako nastopi elektrokemična korozija. Razkroj granita, ki se nahaja ob marmorju, pripisujejo reakciji med različnimi kamninami, podobno kot pri kovinah.

Kvantitativno so pričeli raziskovati razpadanje kamnin šele po drugi svetovni vojni, ko so se pojavile poškodbe na stavbah, ki so bile prekrite s sajami.

Tipično je preperevanje kalcita zaradi vode, ki vsebuje CO₂ kot H₂CO₃, pri čemer nastaja močno topni Ca(HCO₃)₂:



V karbonatnih kamninah imamo vključke kremenjaka, pirita in sljude kot netopne komponente; tako so v marmorju kremenjakove žile dostikrat jasno vidne, ker se je kalcit raztopil. Teoretični izračun odtapljanja apnenca po Müllerju znaša za podeželje 1 mm v petdesetih letih, kar se dobro ujema s praktičnimi ugotovitvami.

Proces preperevanja silikatnih kamnin še ni popolnoma pojasnjen in je potek tega preperevanja težko oceniti. V onesnaženi atmosferi se silikati kmalu razbarvajo, izgubijo sijaj in trdnost.

6. VODA

Voda lahko deluje na gradivo fizikalno, kemično ali pa kombinirano tj. izpira delce, jih raztopi in hidratizira. Njeno učinkovanje poteka v ciklih, saj imamo letne dobe, imamo dan in noč, stanja, ko voda hlapi ali pa se kondenzira itn.; prav vplivanje ciklov je pri uničevanju materiala na prvem mestu. Tako uniči dolgotrajno zaporedno tajanje in zmrzovanje vsak kamen in beton.

Voda deluje uničujoče v vseh alotropskih modifikacijah. Zaradi visoke izparilne toplote težje hlapi in se material prepočasi osuševa. Ker voda pri temperaturi pod 4^o C ekspandira, povzroča v zaprtem prostoru ogromne pritiske, katere prenesejo le maloštevilne snovi. Koncentracija vlage v zraku je lahko važen faktor pri uničevanju mnogih materialov, prav zaradi možne kondenzacije.

Največji delež vlage, ki je v zidovju ter spomenikih, izvira iz atmosfere, iz dežnice in iz dvi-gajoče se zemeljske vlage.

7. TRDNI DELCI V ONESNAŽENEM ZRAKU

Tipična trdna onesnažila v mestu so saje in prah. Nastali aerosoli lahko napadejo površine fasad in jih razbarvajo. Količina usedanja prahu je

odvisna od poroznosti in teksture gradiva ter od zunanje izvedbe objekta. Prstene nečistoče in drobni živalski ter rastlinski odpadki tvorijo prah v zraku, pri čemer plavajo grobozrnati delci nižje, lažji pa v višjih plasteh.

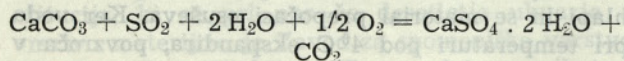
Najlažji delci v ozračju modernih mest in industrijskih krajev so pepeli premogov, saje, oljne kapljice itn. Ta prah se sprijema na površinah naših stavb in spomenikov. Zaradi velike notranje površine gobastih plasti se adsorbirajo voda in v njej raztopljeni plini, ki jih imamo v atmosferi. Posledica tega je, da so kisle vode stalno v stiku z gradivom. Z raziskovanji v ZDA so ugotovili, da je količina v ozračju plavajočega prahu proporcionalna velikosti mesta.

8. DELEŽ ZRAČNEGA ONESNAŽENJA PRI RAZPADANJU KAMNOV

Živa bitja so lahko popolnoma odporna tako dolgo, dokler ni za neko bitje prekoračena mejna vrednost škodljive snovi. Pri materialih »mrtve materije« pa je zadeva drugačna. Med onesnažilom iz ozračja in materijo pride v vsakem primeru do kemične reakcije, kadar je koncentracija škodljive snovi večja od ničle. Kamen počasi navzema škodljive snovi, ob tvorbi reakcijskih produktov pa v taki meri, da postane začetna latentna poškodba naenkrat vidna. Tipično pri materialih je to, da ni odločilna trenutna koncentracija škodljivih snovi v zraku, ampak količina navzete snovi na enoto površine. Prav zaradi tega je celokupna imisija merilo za propadanje nekega materiala.

Tako je lahko imisija v daljšem časovnem obdobju zelo visoka tudi v krajih, za katere menimo, da so le malo onesnaženi. Torej pride lahko do velikih poškodb na oddaljenih gradovih, cerkvah, spomenikih itn. Znano je, da posebno gradnje iz peščenjaka močno propadajo tudi v takih krajih.

Stavbe in skulpture iz kamna napada predvsem SO_2 . Kalcijev karbonat, ki je sestavni del apnenca, marmorja, dolomita in nekaterih peščenjakov, reagira ob prisotnosti vlage s SO_2 , pri čemer se tvori sadra:



Sadra kristalizira na površini. Na mestih, ki jih ne izpira dež, nastajajo trde skorje, ki so porozne, zato se pod njimi nadaljuje razpad osnovnega materiala. Hrapav, poroznejši peščenjak, ki vsebuje apnenec, bo mnogo hitreje propadel kot gladki, gosti kalcit.

Enake reakcije propadanja zaradi CO_2 potekajo z Mg- in Al-solmi, pri čemer ni potrebno, da bi te komponente tvorile glavni sestavni del kamnine.

Da bi ugotovili, v kakšni zvezi je onesnaženje ozračja z razpadom kamna, so pričeli v ZRN leta 1972 s preiskavami na prostem, ki so tudi po na-

šem mnenju edino meritorne za presojo odpornosti proti delovanju okolja. Na vzorcih peščenjaka so se v Duisburgu že po štirih mesecih pokazali znaki učinkovanja okolja; v Burgsteinfurtu se je na preizkušancih pojavila flora, kar se v industrijskih območjih ni dogodilo.

Preiskave na prostem so gotovo zelo uporabne, vendar imajo to slabo stran, da dobimo rezultate šele po dolgem času, kar je za mnoge objekte prepozno, predvsem za spomenike. Za hitrejše ugotovitve bi bilo potrebno uvesti nagle in izpopolnjene postopke, za kar pa bo potreben še temeljiti študij.

Iz fotografskih posnetkov, ki so jih pričeli uporabljati že v prejšnjem stoletju, je razvidno, da potekajo uničevalni procesi v zadnjih desetletjih z naraščajočo silovitostjo. Usoda pa zadeva vse objekte, neodvisno od tega, koliko časa so bili do določenega trenutka izpostavljeni atmosferi. Prav v krajih, kjer se je pričela industrializacija ob uporabi črnega premoga kot glavnega vira energije, kažejo slike zelo močno propadanje. Uporaba črnega premoga stopnjuje količino SO_2 v ozračju. SO_2 je glavni povzročitelj razpadanja kamna, kar je ugotovljeno v industrijskih krajih.

Pogosto ni mogoče natančno ugotoviti, če je material propadel zaradi naravnega preperevanja ali pa zaradi onesnaženega zraka. Vsekakor pa je očitno, da sodobno onesnaženo okolje pospešuje propadanje najrazličnejših objektov.

9. EKSPERIMENTALNI DEL

Kot smo že pokazali, je propadanje gradbenega materiala v tesni zvezi z onesnaženim okoljem. Ker poteka to delovanje počasi, je zaenkrat možna točna ocenitev odpornosti materiala le z dolgotrajnimi večletnimi preiskavami posebej v ta namen pripravljenih preizkušancev, ki jih postavimo na prostem in potem opazujemo. Pri tem moramo sproti ugotavljati stanje okolja od meteoroloških ugotovitev do fizikalnih in kemičnih analiz.

Ugotovljeno je, da propada v nekaterih industrijskih krajih material tako hitro, da bi v teku takih dolgotrajnih preiskav objekti že propadli in potem ne bi nobena sanacija več pomagala.

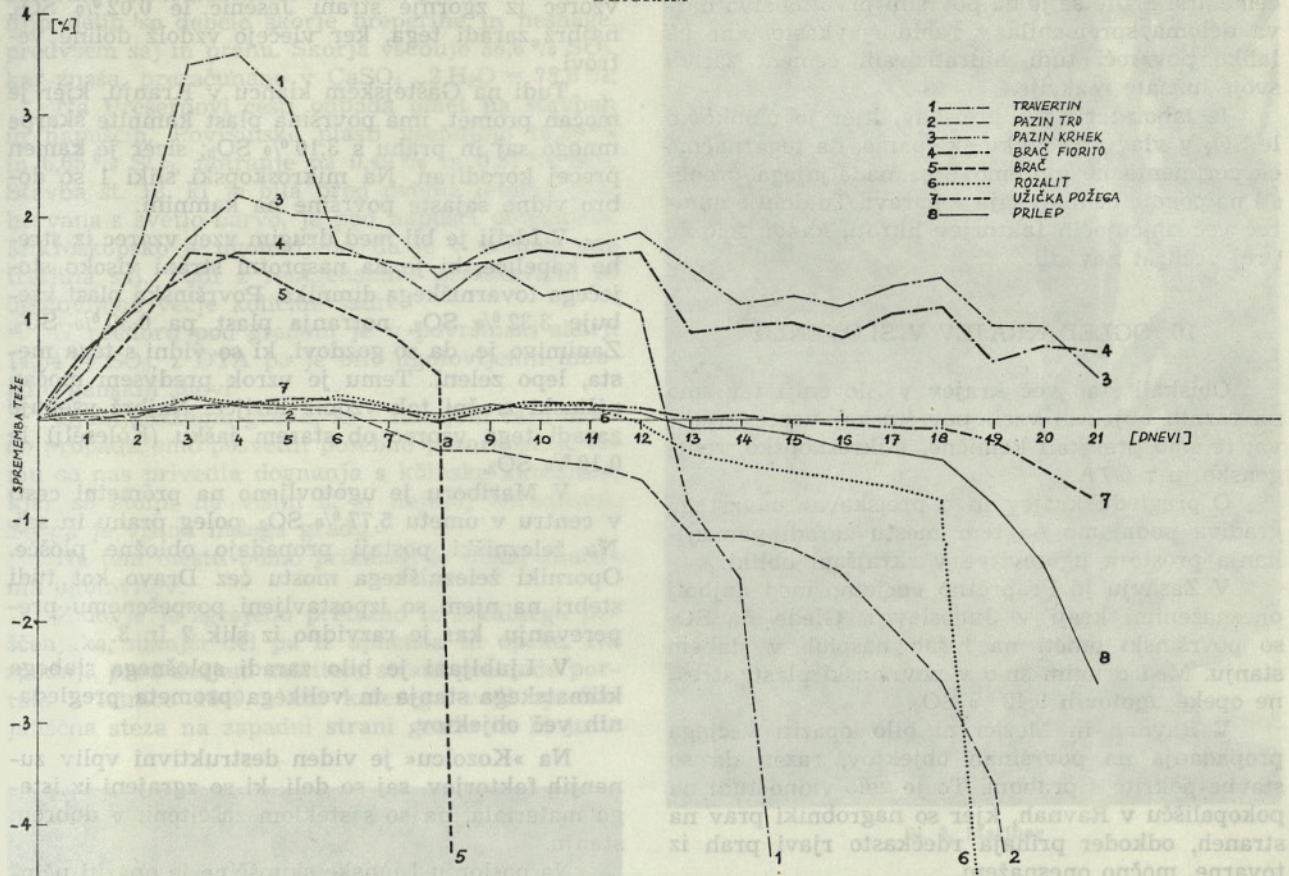
Zaradi tega želimo dobiti v laboratoriju pod poostrenimi pogoji rezultate v čim krajšem času. V literaturi so sicer opisani razni postopki, vendar niso na razpolago dolgotrajnejša primerjalna izkustva. Menimo, da za sedaj ne obstoji hitra in hkrati zanesljiva metoda, ki bi bila enakovredna dolgotrajnim preiskavam v naravi.

Odločili smo se za naslednja dva načina laboratorijske preiskave:

1. Kristalizacijski preizkus

Tu izkoriščamo fizikalni uničevalni učinek, ki ga povzročajo volumenske spremembe nasičene raztopine soli v materialu.

DIAGRAM 3



V osnovi poteka ta preizkus po nekoliko modificiranem predpisu v standardu DIN 52111 in je opisan v reviji Staub-Reinhalung-Luft 32, 1972, Nr. 5.

Kot preizkusno gradivo smo izbrali osem jugoslovanskih marmorjev, ki smo jih dobili pri podjetju »Mineral«.

Postopek preizkusnih del:

Po tri preizkušance z izmerami $5 \times 5 \times 3$ cm smo potopili za 16 ur v nasičeno raztopino Na_2SO_4 . Pri prvem poskusu smo nivo raztopine počasi dvigali, tako da so bili preizkušanci šele po dveh urah popolnoma potopljivi. Po 16 ur namakanju smo jih štiri ure pri 105°C sušili in jih nato klimatizirali do normalnega stanja; nato smo jih tehtali in ponovno potopili v nasičeno raztopino Na_2SO_4 . Poskuse smo ponovili tolikokrat, da je izgubil vzorec zaradi razpadanja najmanj 10 % prvotne teže oziroma 21-krat. Razpadanje povzroča kristalizacija $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ v porah preizkusnega materiala.

V diagramu 3 so prikazani rezultati preizkusa. Na abscisi je podano število ciklov, na ordinati pa sprememba teže ΔG v %.

Iz diagrama je razvidno, da se teža preizkušancev v začetku veča, kar je odvisno predvsem od poroznosti materiala, nato ostane teža skozi nekaj ciklov skoraj nespremenjena, končno pa pada, kar je znak, da se je začelo razpadanje. Vidimo, da je potek krivulj pri različnih marmorjih različen, velja pa za vse, da so razmeroma hitro propadli.

Na enak način so bile preiskane prizme $4 \times 4 \times 16$ cm iz cementnih malt 1:3. Potek preiskav pa je pokazal take neskladnosti, da jih ni bilo mogoče ovrednotiti.

Mnenja smo, da je takšen poseg v gradivo preveč drastičen in da ne ponazarja v celoti dogajanja v naravi. Sicer je navedeno v literaturi, da rezultate, dobljene v laboratoriju, lahko primerjamo s propadanjem v naravi. (Untersuchungen zum Schutz von Sachgütern aus Naturstein vor Luftverunreinigungen, Siegbert Luckat, Staub-Reinhalung-Luft 32, 1972, Nr. 5) Koliko to dejansko drži, bi bilo treba še podrobneje preveriti z nadaljnimi številnimi poizkusi in vzporednimi preizkusi v naravi.

2. Preizkus vpliva SO_2 na material v vlažni atmosferi

Preizkus je bil izreden po predpisu v nekoliko modificiranem standardu DIN 50018 na naslednji način: v komori s 96 % relativno vlago smo razvijali SO_2 , pripravljen iz Na_2SO_3 in H_2SO_4 . Atmosfera je vsebovala 2 vol. % SO_2 . Praktično pade koncentracija SO_2 v teku enega cikla, ki traja 24 ur, na ničlo. Skupno je bilo opravljenih 100 ciklov.

Kljub temu, da smo zasledovali vpliv SO_2 na material med vsemi temi sto cikli, ni bilo opaziti niti na marmorjih, niti na cementnih maltah nobenega korozijskega učinka. Edino na prizmah iz

cementne malte se je na površini prvotna siva barva deloma spremenila v rahlo rjavkasto, kar pa lahko povzroči tudi hidratizirani cement zaradi svoje lužnate reakcije.

Iz laboratorijskih preiskav, kjer je učinkoval le SO_2 v vlagi, pa lahko sklepamo, da tega načina eksperimenta ne moremo brez nadaljnjega prenesti na pogoje učinkovanja v naravi. Tu deluje namreč več uničujočih faktorjev hkrati, kakor smo že prej večkrat navedli.

10. OGLED KRAJEV V SLOVENIJI

Obiskali smo več krajev v Sloveniji ter smo na raznih objektih vzeli površinske vzorce gradiva; te smo preiskali kemično, mikroskopsko, rentgensko in z DTA.

O pregledu krajev in o preiskavah odvzetega gradiva podajamo na tem mestu zaradi pomanjkanja prostora ugotovitve v skrajšani obliki.

V Zasavju je Prapretno verjetno med najbolj onesnaženimi kraji v Jugoslaviji. Glede na SO_2 so površinski ometi na hišah nasploh v slabem stanju. Med drugim smo v površinski plasti strešne opeke ugotovili 9,42 % SO_3 .

V Ravnah in Mežici ni bilo opaziti večjega propadanja na površinah objektov, razen da so stavbe pokrite s prahom. To je zelo vidno tudi na pokopališču v Ravnah, kjer so nagrobniki prav na straneh, odkoder prihaja rdečkasto rjavi prah iz tovarne, močno onesnaženi.

Na Jesenicah je vsa okolica tovarne prekrita s prahom, v katerem so tudi saje. Površinski vzorec ometa iz stavbe, ki je v bližini tovarne, na prometni cesti, vsebuje 6,36 % SO_3 , medtem ko ima

vzorec iz zgornje strani Jesenic le 0,02 % SO_3 , najbrž zaradi tega, ker vlečejo vzdolž doline vetrovi.

Tudi na Gaštejškem klancu v Kranju, kjer je močan promet, ima površina plast kamnite škarpe mnogo saj in prahu s 3,10 % SO_3 ; sicer je kamen precej korodiran. Na mikroskopski sliki 1 so dobro vidne sajaste površine na kamnini.

V Idriji je bil med drugim vzorec iz strehe kapelice, ki je na nasprotni strani visoko stoječega tovarniškega dimnika. Površinska plast vsebuje 3,32 % SO_3 , notranja plast pa 0,30 % SO_3 . Zanimivo je, da so gozdovi, ki so vidni s tega mesta, lepo zeleni. Temu je vzrok predvsem močan nižinski zračni tok vzdolž Idrijce. Najbrž vsebuje zaradi tega vzorec ob starem jašku (Koleselj) le 0,10 % SO_3 .

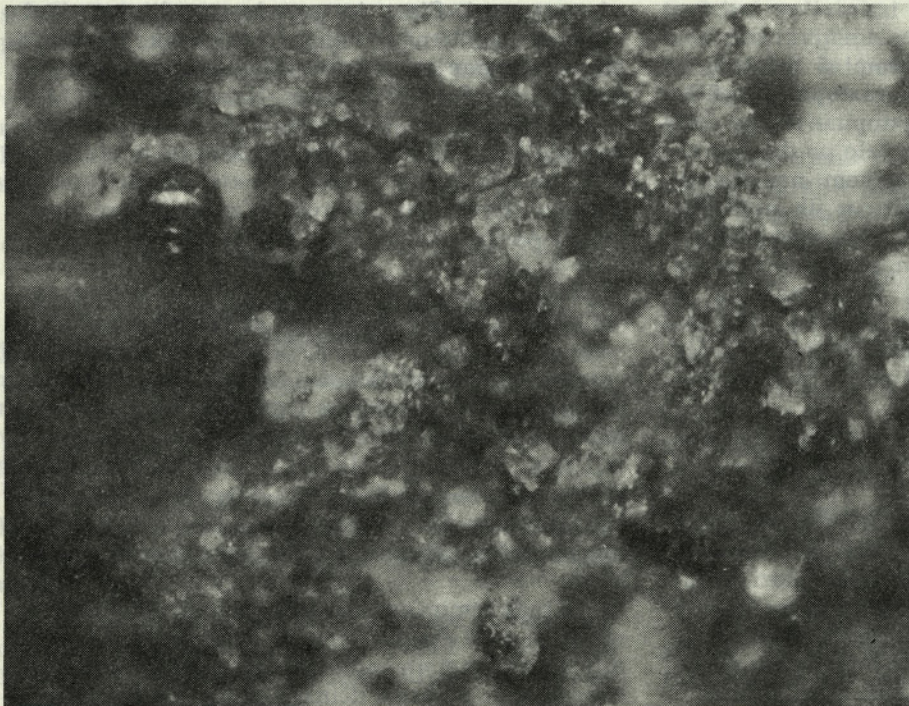
V Mariboru je ugotovljeno na prometni cesti v centru v ometu 5,77 % SO_3 , poleg prahu in saj. Na železniški postaji propadajo obložne plošče. Oporniki železniškega mostu čez Dravo kot tudi stebri na njem so izpostavljeni pospešenemu preperovanju, kar je razvidno iz slik 2 in 3.

V Ljubljani je bilo zaradi splošnega slabega klimatskega stanja in velikega prometa pregledanih več objektov.

Na »Kozolcu« je viden destruktivni vpliv zunanjih faktorjev, saj so deli, ki so zgrajeni iz istega materiala, pa so s steklom zaščiteni, v dobrem stanju.

Na poslopju Ljudske skupščine je opaziti učinkovanje površinske korozije in onesnaženosti, kar bi zahtevalo stalno vzdrževanje.

Spomenik na Trgu revolucije je na zapadni strani močno počrnel, kar je pripisati predvsem



Sl. 1. Kranj. Arkade in škarpa na Gaštejškem klancu. Sajasta površina. Črno so saje delno v kroglicah, svetlo je prah raznih kamnin. Povečano 230 ×

delovanju avtomobilskih izpušnih plinov. Na spodnjih delih so debele skorje preperine in nesnage, predvsem saj in prahu. Skorja vsebuje 36,6 % SO_3 , kar znaša, preračunano v $\text{CaSO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O} = 78,6$ %.

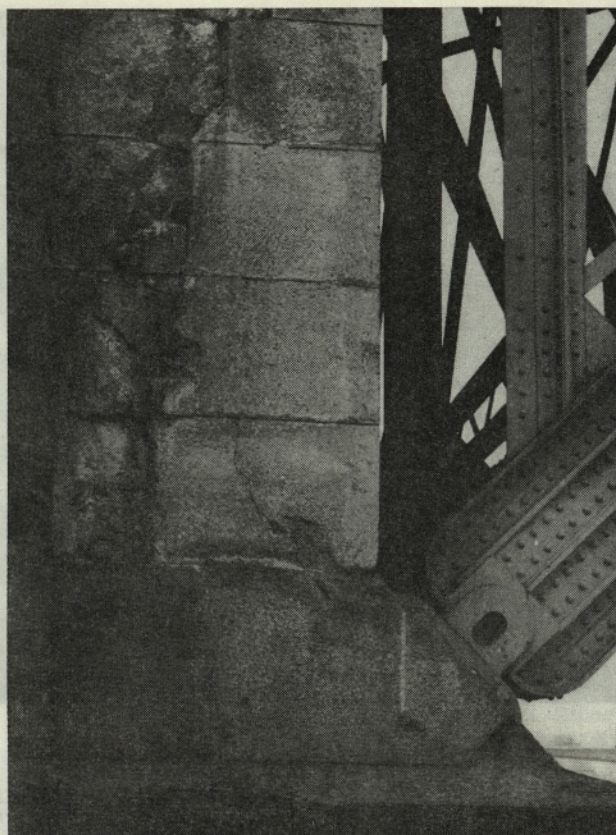
Na Prešernovi cesti odpada omet na stavbah in napuščih. Površinske plasti vsebujejo 15,30 % in 6,65 % SO_3 , notranje pa 0,49 % in 0,37 % SO_3 . Stavba št. 18, ki je bila pred dvema letoma prebarvana s svetlo barvo, je pod napušči potemnela. Mikroskopsko je ugotovljeno, da je v nesnagi ena tretjina saj. Tudi z rentgenskimi preiskavami so ugotovljene večje količine sadre.

V predoru pod gradom je v površinski skorji 14,04 % SO_3 , z DTA pa je bilo ugotovljenih mnogo organskih snovi.

Ljubljanskemu gradu, ki v zadnjem času močno propada, smo posvetili posebno pozornost. K temu so nas privedla dognanja s kölnske katedrale, kjer so stolpi na višini 62 m najbolj korodirani. To pa je višina našega gradu.

Na tem mestu bomo prikazali le nekaj značilnih ugotovitev:

Zidovje je zgrajeno pretežno iz lokalnega peščenjaka, manjši del pa iz apnenca in opeke. Na spodnji, pred dežjem zaščiteni strani preklade portala z letnico 1849, skozi katerega vodi sprehajališčna steza na zapadni strani gradu in ki je iz



Sl. 3. Maribor

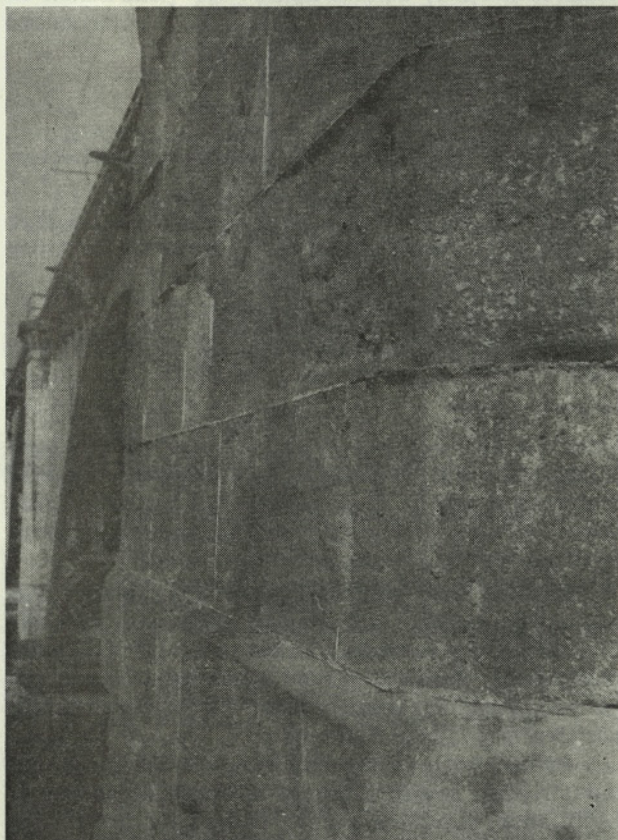
apnenca breče, so se stvorili sloji debele sajaste skorje, kakor je razvidno iz slike 4.

Ta skorja vsebuje poleg drugih, predvsem organskih nečistoč 42,1 % SO_3 . Ker je le-ta vezan v glavnem na CaO kot kalcijev sulfat, znaša količina $\text{CaSO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$ v skorji 90 %. Zaradi zanesljivosti smo odvzeli novi vzorec, v katerem je bilo ugotovljeno 37,57 % SO_3 .

Nastanek sadraste skorje si tolmačimo na naslednji način: dežnica, ki obliva samostojno stoječi portal od vseh strani, teče po stenah, pri čemer še dalje absorbira SO_2 , saje in druge nečistoče. Zaradi tega reagira z osnovnim apnenčevim gradivom in tvori sadro, ki je 32-krat bolj topna kot osnovni apnenec. Raztopina se pretaka do spodnje strani portalnega nastavka, kjer izhlapeva, postane nasičena in končno se izloči kristalna sadra, skupaj z nečistočami. To se dogaja iz leta v leto in sloji postajajo vse debelejši, pri čemer ima površina obliko majhnih povezanih, temnosivih kroglic. Nastanek teh kroglic si lahko tolmačimo podobno kot tvorbo kapnikov.

Na sliki 5 je prikazan difraktogram, iz katerega je razvidno, da skorja od anorganskih spojin vsebuje edinole sadro.

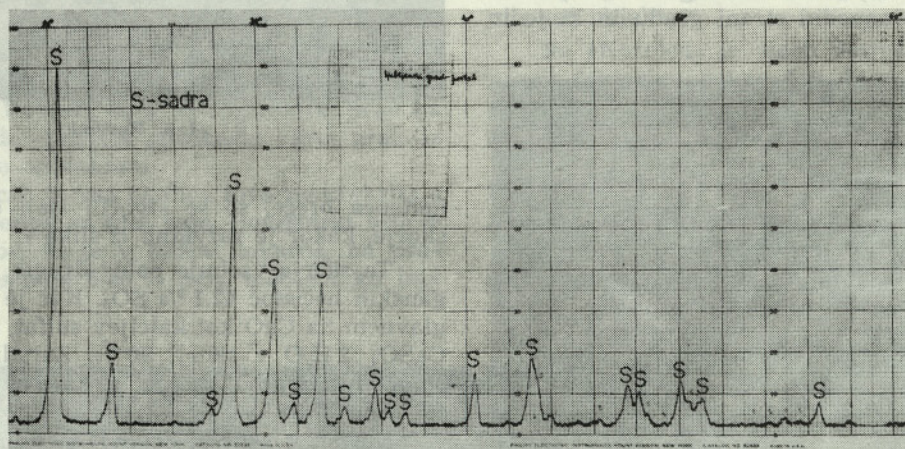
Na drugem portalu na severni strani gradu je bil vzet vzorec betona. Površina je počrnela in znaša debelina sajastega sloja ca. 60 mikronov. Ta sloj z nekaj betona vsebuje 2,76 % SO_3 . Opeka, vzeta na zahodni strani gradu, ima črno sajasto



Sl. 2. Maribor: Desni obrežni stebel železniškega mostu čez Dravo v Mariboru. Peščenjak, ki je glavni gradbeni element stebrov, je zadnje čase začel vse močneje odpadati in je na notranjih vogalih v spodnjem delu nizvodno že razpokan. Zapadne zunanje stene, ki so izpostavljene izpiranju od dežja, so čiste, ostale pa umazane in delno prevlečene s temnosivo skorjo umazanije (saje, prah, sadra).



Sl. 4. Portal vrat na zahodnem delu dvorišča je iz okrasnega apnenca. Medtem ko je odprta površina na južni strani korodirana, vendar izprana in čista, se je na spodnji strani preklade začela nabirati črna skorja sadre in saj z veliko količino SO_2 (42,1 %)



Sl. 5. Diagram Ljubljanski grad — portal

prevleko debeline ca. 20 mikronov in vsebuje 7,98 procentov SO_3 . Na mikroskopski sliki 6 so med drugim vidne črne saje, vmes pa drobne iglice sadre.

SKLEP

Prikazane so snovi, ki vplivajo na propadanje mrtve materije. Ugotovljeno je, da so v glavnem iste, ki uničujejo tudi rastlinstvo, človeka in živali. To so tuji plini v ozračju, prah, saje ter naravni pojavi kot megla, dež, spremembe temperature in drugo.

Da bi gradbene objekte ohranili čim dlje, moramo le še poglobiti že zdavnaj začeto borbo proti istemu sovražniku, ki uničuje živa bitja.

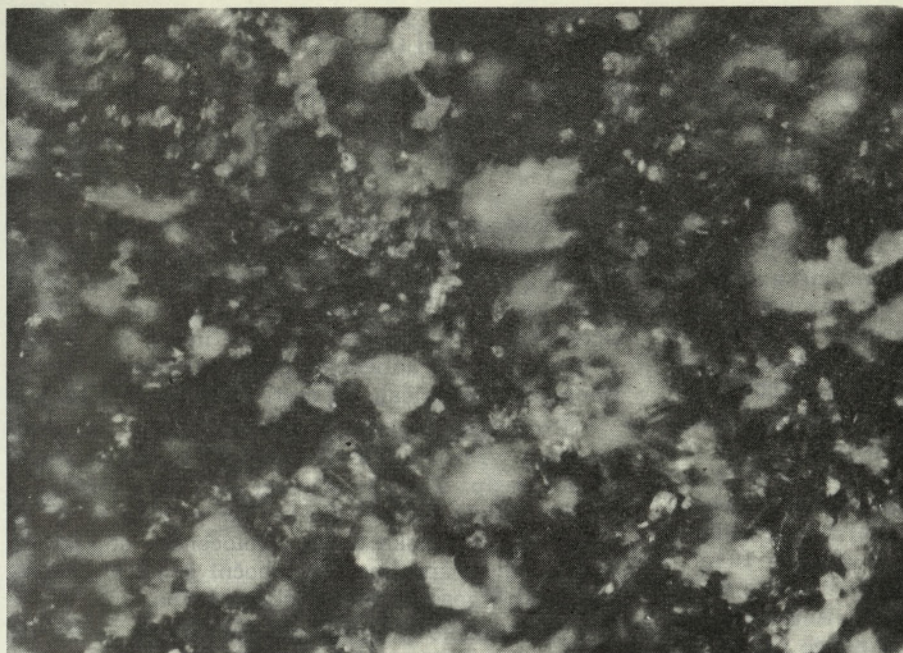
Predvsem je treba šteti tudi pri mrtvem materialu za največjega škodljivca SO_2 . Ugotovljeno pa

je, da prihaja njegovo uničujoče delovanje najbolj do izraza v okolju, ki je hkrati onesnaženo z ogljikovim monoksidom, ogljikovodiki, sajami, prahom in drugim, zlasti še ob prisotnosti vlage.

Poskusi hitre kontrole učinkovanja samega SO_2 v vlagi na gradiva niso dali pričakovanih rezultatov, kakor je razvidno iz eksperimentov. Enako mislimo, da bi bila pozitivna ocena kristalizacijskega preizkusa še preuranjena, kljub posameznim pozitivnim sodbam v literaturi.

Prikazano je stanje objektov v naših mestih in industrijskih krajih. Posebej bi opozorili na stanje Ljubljanski grad, na omete, obarvanja in oblaganja fasad, ter na spomenike.

železniškega mostu čez Dravo v Mariboru, na Ker je nasploh propadanje zaradi onesnaženja zelo močno, bi bilo potrebno pristopiti najprej k čiščenju objektov in sicer z vodo ter detergenti.



Sl. 6. Opeka: Ljubljanski grad — V. stran spodaj. Sajasta površina. Črno so saje, vmes so vidne drobne iglice sadre. Svetli drobci so prah drugih kamnin. Povečano 230 ×

Trajnejšo zaščito površin pa bi lahko dosegli le s premazi, predvsem na osnovi umetnih snovi.

V tej smeri ima Zavod za raziskavo materiala in konstrukcij pri skladu Borisa Kidriča že odobreno nalogo.

LITERATURA

[1] Arthur C. Stern, *Air Pollution and its Effects*, Academic Press New York, London, 1968, Volume I, P. 618

[2] *Conservation of Stone and Wooden Objects*, Published by The International Institute for Conservation of Historic and Artistic Works, 1970, P. 1

[3] E. M. Winkler, *Applied Mineralogy: Stone: Properties, Durability in Man's Environment*, Springer-Verlag, New York, Wien, 1973, P. 88

[4] E. M. Winkler, *Important Agents of Weathering for Building and Monumental Stone*, Eng. Geol. 1 (5) 1966, Department of Geology, University of Notre Dame, USA, P. 389

[5] *Gesundheitsingenieur*, 94, 1973, H. 2, P. 46

[6] Staub — Reinhaltung — Luft, 1973, Nr. 7, P. 283

[7] Staub — Reinhaltung — Luft, 1972, Nr. 5, P. 217

[8] Staub — Reinhaltung — Luft, 1974, Nr. 6, P. 228

[9] Bericht vom III. International Kongress — Luftreinigung, Düsseldorf, 1973

UDK 691:697.94

GRADBENI VESTNIK, LJUBLJANA, 1976 (25)

ST. 4-5, STR. 62-69

Engelbert Hribernik — Janez Kržan — Anton Grimšičar — Vera Apih — Smiljan Umek:

VPLIV ZRAČNEGA ONESNAŽENJA NA GRADBENE MATERIALE

Ugotovljeno je, v kolikšni meri vpliva onesnaženo okolje na gradivo in objekte pri nas.

Propadanje gradiv smo skušali ugotavljati s hitrimi preizkusi. Toda niti kristalizacijska metoda z Na_2SO_4 niti metoda z učinkovanjem SO_2 ne ponazarjata dovolj nazorno razpadanja v ozračju. Po prvi metodi sicer dosežemo razpad gradiva, vendar ne na način kot poteka v naravi. Tudi vpliv SO_2 v zaprti komori učinkuje drugače kot v naravi, kjer so prisotne še druge, kvarno delujoče sestavine.

Nasprotno pa so kemične, rentgenske, mikroskopske ter DTA preiskave zelo natančno pokazale obstoječe stanje v naravi.

Omenjene so možnosti za zmanjšanje kvarnega učinka onesnaženega okolja na gradbene objekte.

UDK 691:697.94

GRADBENI VESTNIK, LJUBLJANA, 1976 (25)

NR. 4-5, PP. 62-69

Engelbert Hribernik — Janez Kržan — Anton Grimšičar — Vera Apih — Smiljan Umek:

THE EFFECT OF AIR POLLUTION ON BUILDING MATERIALS

It has been determined to what extent materials and buildings are affected by air pollution in Slovenia.

Attempts were made to determine the withering of building materials by means of quick tests. However neither the Na_2SO_4 crystallization method, nor the SO_2 action method simulate withering in the atmosphere satisfactorily. If the first method is used withering is in fact achieved, but not in the way it takes place in the natural environment. The effect of SO_2 by itself in a closed chamber differs from its effect in the natural environment, where other harmful compounds are present.

On the other hand the conditions in the natural environment are shown very well by chemical, X-ray, microscope, and DTA tests.

Possibilities for reducing the harmful effect of polluted air on buildings are given.

Geoelektrične raziskave na Ljubljanskem polju med Šmarno goro in Stanežiškim hribom

UDK 550.89 (Ljubljansko polje)

ANTON DULAR, DIPL. INŽ.

UVOD

Ljubljansko polje je mlada tektonska udorina v permokarbonskem glinastem skrivilavcu in peščenjaku, ki je zasuta s pleistocenskim savskim peščenim prodom. Debelina zasipa znaša v osrednjem delu Ljubljanskega polja več kot 100 m.

V severozahodnem delu Ljubljanskega polja na visoki pleistocenski savski prodni terasi pri Stanežičah je po zazidalnem načrtu predvideno stanovanjsko naselje Soseska Stanežiče ŠS-11 za 17.000 prebivalcev. Še pred tem naj bi v gradbene namene izkoristili peščen prod do globine 10 m.

Za seizmično mikrorajonizacijo in preiskave, ki jih na področju Stanežič izvaja Astronomsko-geofizikalni laboratorij iz Ljubljane, je nujno poznavanje debeline pleistocenskega savskega peščenoprodnega zasipa in konfiguracije skalnate permokarbonske podlage. Da bi z vrtanjem dobili zahtevane podatke, bi bilo treba izdelati veliko število globokih raziskovalnih vrtin, kar pa glede na omejena denarna sredstva ni izvedljivo. Do enakih rezultatov pa lahko pridemo z ustrežno geofizikalno metodo, ki bi jo kontrolirali le z nekaj vrtinami.

Velike razlike v električnih lastnostih pleistocenskega peščenega proda in permokarbonske skalne podlage govorijo v prid geoelektrične metode navidezne specifične električne upornosti, ki so jo že z uspehom uporabili pri geoelektričnih raziskavah Ljubljanskega polja leta 1967 (D. Ravnik, 1967). Zato smo se pri reševanju naše naloge odločili za isto metodo.

Terenske geoelektrične meritve smo opravili v mesecih februar in marec 1974.

GEOLOŠKE RAZMERE

Zazidalno področje Soseske Stanežiče ŠS-11 leži na visoki pleistocenski peščenoprodni terasi na desni strani Save od Mednega do Šentvida pri Ljubljani. Povprečna nadmorska višina visoke prodne terase je približno 320 m.

Najstarejše kamnine na tem področju, ki hkrati predstavljajo podlago pleistocenskemu prodnemu zasipu, so permokarbonski glinasti skrivilavec, kremenov peščenjak, droba in kremenov konglomerat. Na površju so zelo prepelele in zato rdečkastorjave ali rumenkastorjave, neprepelele pa so sive ali črne.

V starejši kvartarni dobi, v pleistocenu, so se permokarbonske plasti močneje pogrezale in erozijsko preoblikovale. Nanje so se v ledenih dobah odložile velike množine proda, ki so ga reke prinašale z morenskih nasipov na Gorenjskem.

Pleistocenski prodni zasip na področju Stanežič sestoji iz debelega, srednjega in drobnega peščenega proda. Prevladuje gost karbonatni prod, vmes pa so redke tanke pole konglomerata. Prod uporabljajo v gradbene namene in ga izkoriščajo v gramoznici gradbenega podjetja Megrad Ljubljana pri Stanežičah ob cesti Ljubljana—Kranj.

Proti koncu pleistocenske dobe in v holocenu je Sava vrezovala svojo strugo v pleistocenski prodni zasip. Tako je nastala erozijska terasa, ki poteka vzdolž Save in je za okrog 10 m nižja od visoke pleistocenske terase. Holocenske starosti so tudi vršaji in spraline ter pobočni grušč ob vznožju Šmarne gore in Stanežiškega hriba.

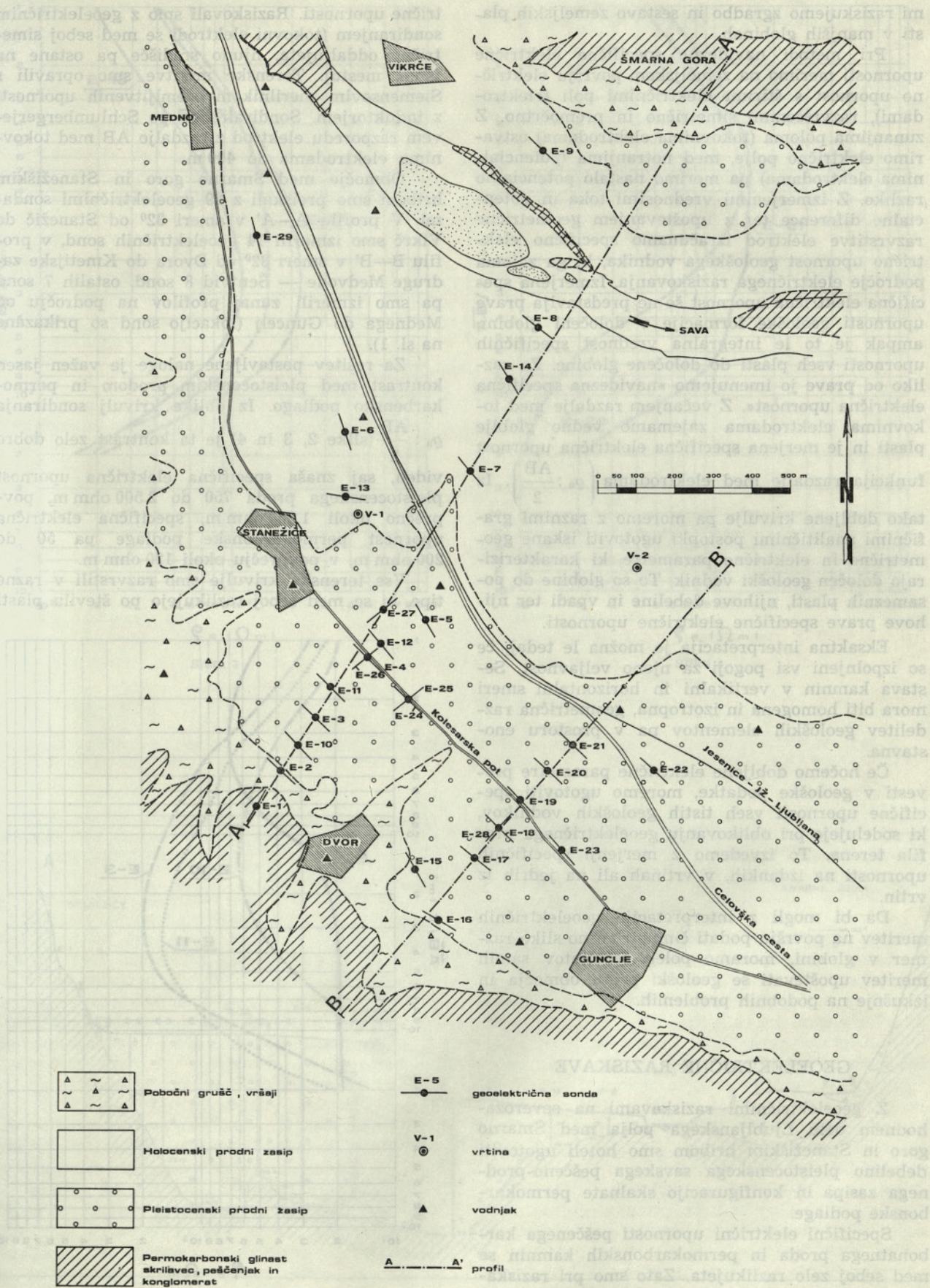
Ljubljansko polje je udorina, ki se je začela pogrezati verjetno na prehodu iz pliocenske v pleistocensko dobo ali še nekoliko kasneje. Številni prelomi jo delijo na grude, ki so se med seboj različno pogrezale. Zaradi erozije in akumulacije rek pa so sledovi tektonske dejavnosti povečini zabrisani.

Opisane geološke razmere severozahodnega dela Ljubljanskega polja so prikazane na sliki 1.

Na širšem področju zazidalnega kompleksa Soseske Stanežiče ŠS-11 na visoki pleistocenski prodni terasi je ZRMK v letih 1958, 1971, 1972 in 1973 izvrtal več vrtin, da bi raziskal zaloge in kvaliteto proda. Vrtine so bile globoke do 12 m, nobena pa ni segla do permokarbonske podlage. Tudi geomehanske vrtine, ki jih je ZRMK vrtal v začetku leta 1974 na zazidalnem področju na visoki prodni terasi, so pri globinah do 20 m še vedno ostale v pleistocenskem prod. Na veliko debelino pleistocenskega proda v visoki terasi od Stanežič do Guncelj kažejo tudi stari kopani vodnjaki. Globoki so 25 do 33 m in niso dosegli permokarbonske podlage. Točne podatke o globini do permokarbonske podlage v neposredni bližini zazidalnega območja imamo le na dveh krajih. Vodnjak v Megradovi gramoznici (V-1) je zadel podlago na koti 282 m, kar nam pri nadmorski višini visoke prodne terase 322 m pove, da je pleistocenski prodni zasip debel okrog 40 m. Vrtina Geološkega zavoda iz Ljubljane (V-2), vrtana na erozijski terasi 800 m zahodno od Vižmarij, pa je zadel permokarbonske plasti na koti 261,7 m (debelina prodnega zasipa znaša 42,5 m).

METODA NAVIDEZNE SPECIFIČNE ELEKTRIČNE UPORNOSTI

Na splošno so geoelektrične metode zasnovane na merjenju pojavov na površju terena, ki so povzročeni s prevajanjem električnega toka skozi geološke formacije pod zemeljskim površjem. Z nji-



Slika 1

mi raziskujemo zgradbo in sestavo zemeljskih plasti v manjših globinah.

Pri metodi navidezne specifične električne upornosti merimo na zemeljskem površju električno upornost s štirimi električnimi poli (elektrodami), razvrščenimi simetrično in premočrtno. Z zunanjsima poloma (tokovnica elektrodama) ostvarimo električno polje, med notranjsima (potencialnima elektrodama) pa merimo nastalo potencialno razliko. Z izmerjenimi vrednostmi toka in potencialne diference ter z upoštevanjem geometrične razvrstitve elektrod izračunamo specifično električno upornost geološkega vodnika, ki ga zajema področje električnega raziskovanja. Izmerjena specifična električna upornost še ne predstavlja prave upornosti geološke formacije v določeni globini, ampak je to le integralna vrednost specifičnih upornosti vseh plasti do določene globine. Za razliko od prave jo imenujemo »navidezna specifična električna upornost«. Z večanjem razdalje med tokovnicama elektrodama zajemamo vedno globlje plasti in je merjena specifična električna upornost funkcija razdalje med elektrodama $\left(\rho_a : \frac{AB}{2}\right)$. Iz

tako dobljene krivulje pa moremo z raznimi grafičnimi analitičnimi postopki ugotoviti iskane geometrične in električne parametre, ki karakterizirajo določen geološki vodnik. To so globine do posameznih plasti, njihove debeline in vpadi ter njihove prave specifične električne upornosti.

Eksaktna interpretacija je možna le tedaj, če so izpolnjeni vsi pogoji za njeno veljavnost. Sestava kamnin v vertikalni in horizontalni smeri mora biti homogena in izotropna, geometrična razdelitev geoloških elementov pa v prostoru enostavna.

Če hočemo dobljene električne parametre prevesti v geološke podatke, moremo ugotoviti specifične upornosti vseh tistih geoloških vodnikov, ki sodelujejo pri oblikovanju geoelektričnega profila terena. To izvedemo z merjenji specifičnih upornosti na izdankih, v vrtnah ali na jedrih iz vrtn.

Da bi mogli z interpretacijo geoelektričnih meritev na površju podati čimbolj verno sliko razmer v globini, moramo poleg rezultatov samih meritev upoštevati še geološki profil območja in izkušnje na podobnih problemih.

GEOELEKTRIČNE RAZISKAVE

Z geoelektričnimi raziskavami na severozahodnem delu Ljubljanskega polja med Šmarno goro in Stanežiškim hribom smo hoteli ugotoviti debelino pleistocenskega savskega peščenoprodnega zasipa in konfiguracijo skalnate permokarbonske podlage.

Specifični električni upornosti peščenega karbonatnega proda in permokarbonskih kamnin se med seboj zelo razlikujeta. Zato smo pri raziskavah uporabili metodo navidezne specifične elek-

trične upornosti. Raziskovali smo z geoelektričnim sondiranjem (tokovni elektrodi se med seboj simetrično oddaljujeta, njuno središče pa ostane na istem mestu). Terenske meritve smo opravili s Siemensovim merilnikom ozemljitvenih upornosti z induktorjem. Sondirali smo po Schlumbergerjevem razporedu elektrod z razdaljo AB med tokovnicama elektrodama do 400 m.

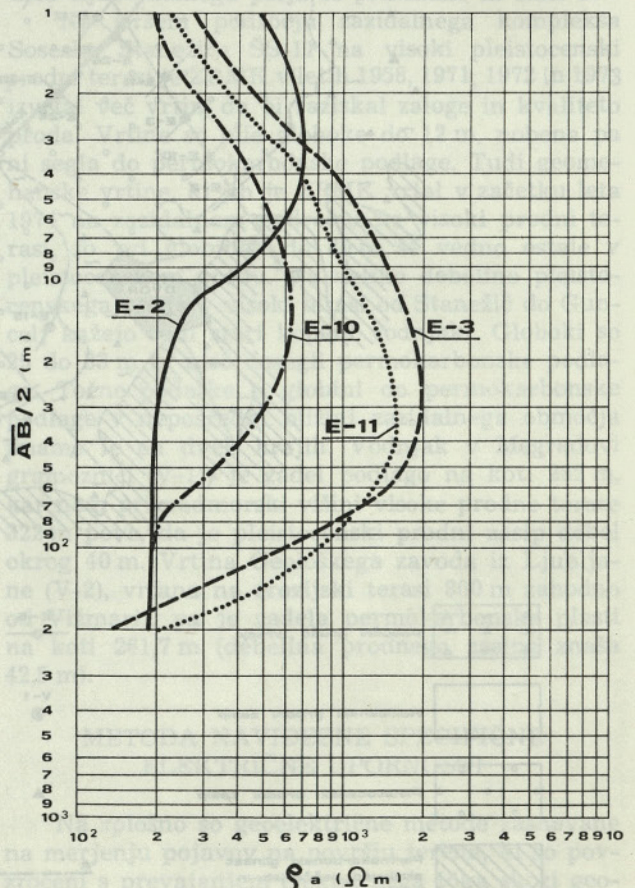
Območje med Šmarno goro in Stanežiškim hribom smo preiskali z 29 geoelektričnimi sondami. V profilu A—A' v smeri 32° od Stanežič do Vikre smo izmerili 14 geoelektričnih sond, v profilu B—B' v smeri 32° od Dvora do Kmetijske zadruge Medvode — Šentvid 8 sond, ostalih 7 sond pa smo izmerili zunaj profilov na področju od Mednega do Guncelj (lokacijo sond so prikazane na sl. 1).

Za rešitev postavljene naloge je važen jasn kontrast med pleistocenskim prodom in permokarbonsko podlago. Iz oblike krivulj sondiranja

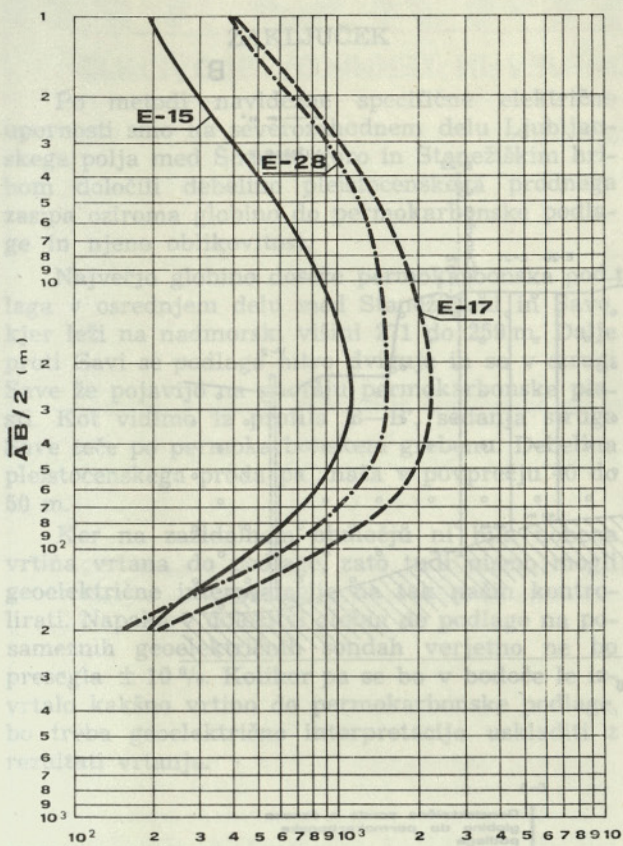
$\rho_a : \frac{AB}{2}$ (slike 2, 3 in 4) je ta kontrast zelo dobro

viden, saj znaša specifična električna upornost pleistocenskega proda 750 do 2.500 ohm m, povprečno okoli 1.850 ohm m, specifična električna upornost permokarbonske podlage pa 50 do 200 ohm m, v povprečju okoli 120 ohm m.

Vse terenske krivulje smo razvrstili v razne tipe, ki se med seboj razlikujejo po številu plasti

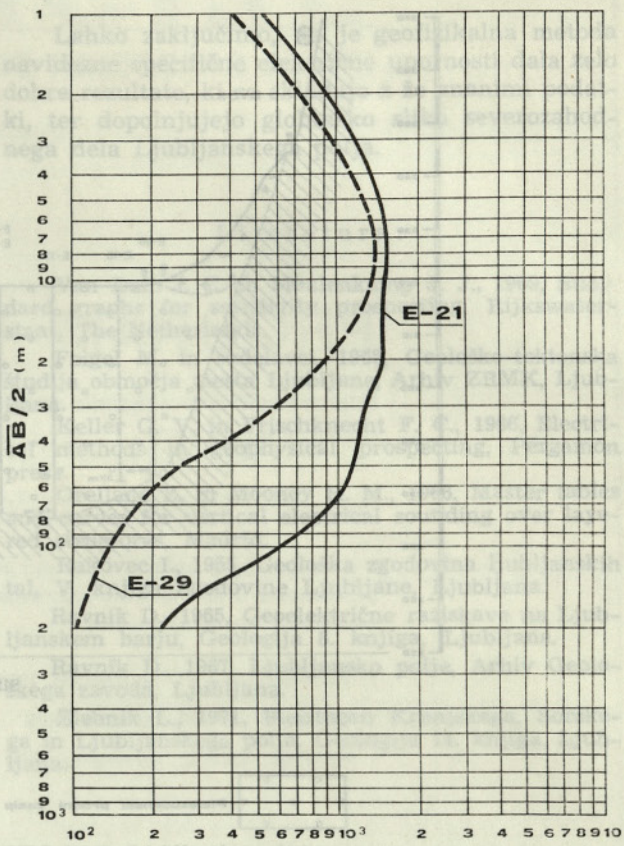


Slika 2



$\rho_a (\Omega m)$

Slika 3

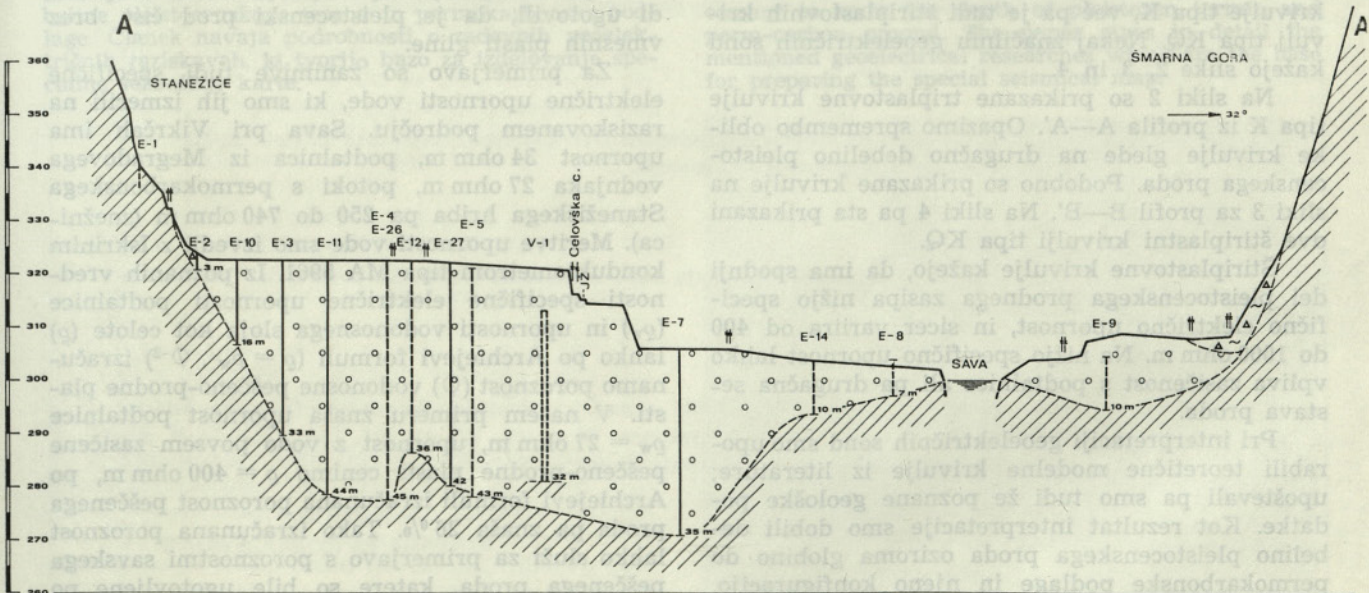


$\rho_a (\Omega m)$

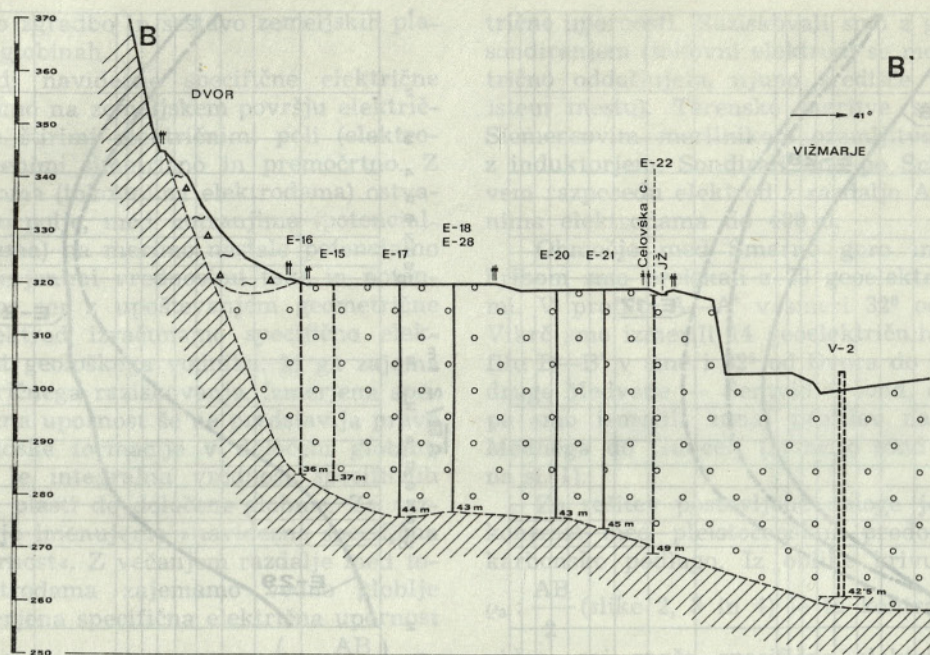
Slika 4

GEOELEKTRIČNE RAZISKAVE NA LJUBLJANSKI POLJU MED ŠMARNO GORO IN STANEŽIŠKIM HRIBOM

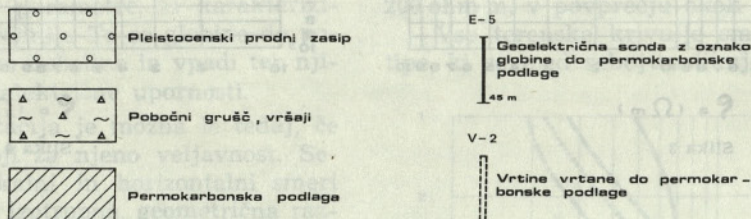
GEOELECTRICAL INVESTIGATIONS ON LJUBLJANA FIELD BETWEEN ŠMARNA GORA AND STANEŽIŠKI HRIB



Slika 5



Slika 6



Legenda k sliki 5 in 6

in njihovih parametrih. Prevladujejo triplastovne krivulje tipa K, več pa je tudi štiriplastovnih krivulj tipa KQ. Nekaj značilnih geoelektričnih sond kažejo slike 2, 3 in 4.

Na sliki 2 so prikazane triplastovne krivulje tipa K iz profila A—A'. Opazimo spremembo oblike krivulje glede na drugačno debelino pleistocenskega proda. Podobno so prikazane krivulje na sliki 3 za profil B—B'. Na sliki 4 pa sta prikazani dve štiriplastni krivulji tipa KQ.

Štiriplastovne krivulje kažejo, da ima spodnji del pleistocenskega prodnega zasipa nižjo specifično električno upornost, in sicer variira od 400 do 1000 ohm m. Na nižjo specifično upornost lahko vpliva zasičenost s podtalnico ali pa drugačna sestava proda.

Pri interpretaciji geoelektričnih sond smo uporabili teoretične modelne krivulje iz literature; upoštevali pa smo tudi že poznane geološke podatke. Kot rezultat interpretacije smo dobili debelino pleistocenskega proda oziroma globino do permokarbonske podlage in njeno konfiguracijo, kar je prikazano v profilih A—A' in B—B' na sli-

kah 5 in 6. Z geoelektričnimi raziskavami smo tudi ugotovili, da je pleistocenski prod čist, brez vmesnih plasti gline.

Za primerjavo so zanimive tudi specifične električne upornosti vode, ki smo jih izmerili na raziskovanem področju. Sava pri Vikrcih ima upornost 34 ohm m, podtalnica iz Megradovega vodnjaka 27 ohm m, potoki s permokarbonskega Stanežiškega hriba pa 250 do 740 ohm m (snežnica). Meritve upornosti vode smo izvedli z Iskrinim konduktometrom tipa MA 5961. Iz poznanih vrednosti specifične električne upornosti podtalnice (ρ_w) in upornosti vodonosnega sloja kot celote (ρ) lahko po Archiejevi formuli ($\rho = \rho_w \cdot \Phi^{-2}$) izračunamo poroznost (Φ) vodonosne peščeno-prodne plasti. V našem primeru znaša upornost podtalnice $\rho_w = 27$ ohm m, upornost z vodo povsem zasičene peščeno-prodne plasti cenimo $\rho = 400$ ohm m, po Archiejevi formuli izračunana poroznost peščene proda pa znaša 26 %. Tako izračunana poroznost lahko služi za primerjavo s poroznostmi savskega peščene proda, katere so bile ugotovljene po drugi poti.

ZAKLJUČEK

Po metodi navidezne specifične električne upornosti smo na severozahodnem delu Ljubljanskega polja med Šmarno goro in Stanežiškim hribom določili debelino pleistocenskega prodnega zasipa oziroma globino do permokarbonske podlage in njeno oblikovitost.

Največjo globino doseže permokarbonska podlaga v osrednjem delu med Stanežičami in Savo, kjer leži na nadmorski višini 271 do 259 m. Dalje proti Savi se podlaga hitro dviguje in se v strugi Save že pojavijo na površju permokarbonske plasti. Kot vidimo iz profila B—B', sedanja struga Save teče po permokarbonskem grebenu. Debelina pleistocenskega proda pa znaša v povprečju 40 do 50 m.

Ker na zazidalnem območju ni bila nobena vrtna vrtna do podlage, zato tudi nismo mogli geoelektrične interpretacije na tak način kontrolirati. Napaka v določitvi globin do podlage na posameznih geoelektričnih sondah verjetno ne bo preseгла $\pm 10\%$. Kolikor pa se bo v bodoče le izvrtalo kakšno vrtno do permokarbonske podlage, bo treba geoelektrično interpretacijo uskladiti z rezultati vrtnanja.

UDK 550.89 (Ljubljansko polje)

GRADBENI VESTNIK, LJUBLJANA, 1976 (25)

ST. 4-5, STR. 70—75

Anton Dular:

GEOELEKTRIČNE RAZISKAVE NA LJUBLJANSKEM POLJU MED ŠMARNO GORO IN STANEŽIŠKIM HRIBOM

Za geofizikalne raziskave in seizmično mikrorajonizacijo v okolici Ljubljane je nujno poznavanje debeline pleistocenskega terena in permokarbonske podlage. Članek navaja podrobnosti o zadevnih geoelektričnih raziskavah, ki tvorijo bazo za izdelovanje specialne seizmične karte.

Lahko zaključimo, da je geofizikalna metoda navidezne specifične električne upornosti dala zelo dobre rezultate, ki se skladajo z že znanimi podatki, ter dopolnjujejo globinsko sliko severozahodnega dela Ljubljanskega polja.

Literatura:

Van Dam J. C. in Meulenkamp J. J., 1969, Standard graphs for resistivity prospecting, Rijkswaterstaat, The Netherlands.

Feigel M. in sodelavci, 1968, Geološko-tektonska študija območja mesta Ljubljane, Arhiv ZRMK, Ljubljana.

Keller G. V. in Frischknecht F. C., 1966, Electrical methods in geophysical prospecting, Pergamon press.

Orellana E. in Mooney H. M., 1966, Master tables and curves for vertical electrical sounding over layered structures, Madrid.

Rakovec I., 1955, Geološka zgodovina ljubljanskih tal, V. knjiga Zgodovine Ljubljane, Ljubljana.

Ravnik D., 1965, Geoelektrične raziskave na Ljubljanskem barju, Geologija 8. knjiga, Ljubljana.

Ravnik D., 1967, Ljubljansko polje, Arhiv Geološkega zavoda, Ljubljana.

Žlebnik L., 1971, Pleistocen Kranjskega, Sorškega in Ljubljanskega polja, Geologija 14. knjiga, Ljubljana.

UDC 550.89 (Ljubljansko polje)

GRADBENI VESTNIK, LJUBLJANA, 1976 (25)

NR. 4-5, PP. 70—75

Anton Dular:

GEOELECTRICAL INVESTIGATIONS ON LJUBLJANA FIELD BETWEEN ŠMARNA GORA AND STANEŽIŠKI HRIB

For geoelectrical investigations and seismic micro-rajonization in Ljubljana surroundings it is necessary to know the depth of pleistocene terrain and perm-carbon ground. The paper gives in detail the mentioned geoelectrical researches which are the base for preparing the special seismic map.

ZVEZA GRADBENIH INŽENIRJEV IN TEHNIKOV SLOVENIJE

PROGRAM

informativno-pripravljalnih seminarjev za opravljanje strokovnih izpitov v gradbeništvu, v jeseni 1976

V sodelovanju z izpitnim odborom pri Biroju gradbeništva Slovenije bo ZGITS v jeseni 1976 organizirala 3 informativno-pripravljalne seminarje za opravljanje strokovnih izpitov v gradbeništvu v naslednjih rokih:

1. seminar: 20.—24. septembra 1976
2. seminar: 25.—29. oktobra 1976
3. seminar: 22.—26. novembra 1976

Roki za posamezne seminarje so usklajeni z izpitnimi termini, ki jih je razpisal izpitni odbor in ki so naslednji:

1. pismeni del 2. X. 1976, ustni del 12., 13., 14. X. 1976
2. pismeni del 6. XI. 1976, ustni del 16., 17., 18. XI. 1976
3. pismeni del 4. XII. 1976, ustni del 14., 15., 17. XII. 1976

Seminarji bodo vsakokrat od ponedeljka ob 9. uri do četrta do 18. ure v Preddvoru pri Kranju (hotel Bor), v petek pa je od 8.—13. ure ogled večjih mehaničnih obratov gradbenih DO v Ljubljani.

Prijave za udeležbo na seminarju sprejema ZGITS Ljubljana, Erjavčeva 15 (tel.: 23-158) vsakokrat teden dni pred pričetkom seminarja.

Neposredno pred pričetkom seminarja bodo udeleženci prejeli po pošti točen program in urnik seminarja.

Prijave za polaganje strokovnega izpita posredujejo kandidati neposredno izpitnemu odboru pri Biroju gradbeništva Slovenije, Ljubljana, Titova 40, tel. 312-569, kjer dobijo tudi vse potrebne informacije o poteku strokovnih izpitov.

ZGITS:
KOMISIJA ZA IZOBRAŽEVANJE

Uporovno sočelno obžigalno varjenje rebrastega in okroglega betonskega jekla na domačem programiranem stroju tipa TSO 40-A, Gorenje-Varstroj

1. UVOD

Že vrsto let se govori o programiranih avtomatskih obžigalnih strojih, ki bi naj nadomeščali stare, neprogramirane, katerim so očitali vrsto pomanjkljivosti, predvsem močan raztros v kvaliteti varjenja zaradi vpliva varilca. Želja po programiranih tovrstnih strojih v gradbeništvu se je porajala z uporabo rebrastega betonskega jekla oznake ČBR 40. Pri tem jeklu je višja trdnost in meja plastičnosti odraz povišane vsebnosti ogljika in mangana, ki lahko povzročita, da varjenec med ohlajanjem zakali. Tvori se krhka struktura, ki izrazito znižuje upogibni kot, ki predstavlja glavno merilo za oceno kvalitete zvara.

S starim, neprogramiranim strojem TSO 40 smo uspešno varili ČBR 40 jeklo do vključno dimenzije ϕ 16 mm, pri večjih dimenzijah, ki so bolj v rabi, pa smo le tu in tam uspeli doseči zadovoljiv upogibni kot, pri čemer pa nismo znali razčleniti, kako je varilec izpeljal varjenje v primerih, ko je bil zvar izdelan uspešno. In končno, pri še tako pazljivem reproduciranju istih varilnih parametrov nismo uspeli zadovoljivo zavariti mnoge nadaljnje vzorce. Jasno je, da je zato potreben avtomatski stroj, pri katerem je vpliv človeka le minimalen.

Da bi zadostili navedenim potrebam, je »Gorenje-Varstroj« v sodelovanju z »ISKRO« izdelal stroj z oznako TSO 40-A (avtomatik). Na Zavodu za raziskavo materiala in konstrukcij pa smo na osnovi mnogih preiskav podali tehnologijo varjenja na tem stroju, in sicer za okroglo betonsko jeklo Č. 0200 dimenzij ϕ 25, 32 in 36 mm in za rebrasto betonsko jeklo (domače ali tuje proizvodnje) z dimenzijami ϕ 16, 22, 25, 28, 32 in 36 mm.

V nadaljevanju tega članka podajamo poleg osnovnih karakteristik TSO 40-A stroja še bežen vpogled v uporovno sočelno obžigalno varjenje z namenom, da opozorimo na glavne varilne parametre, ki vplivajo na kvaliteto zvara, izdelanega bodisi na programiranem ali neprogramiranem stroju, na koncu pa podajamo rezultate praktičnega dela.

2. TEHNIČNI PODATKI STROJA TSO 40-A

Primar:

Nazivna napetost (V) 1×380 , 50 Hz

Nazivna moč — OK 50 % (KVA) 42

— OK 25 % (KVA) 60

Maks. krst. tok (A) 390

Sekundar:

Sek. krst. tok (KA) 14,5—31

Varovalka (A) 260

Srednja moč (KVA) 50

Maksimalna sila stiskanja (kp) 6000

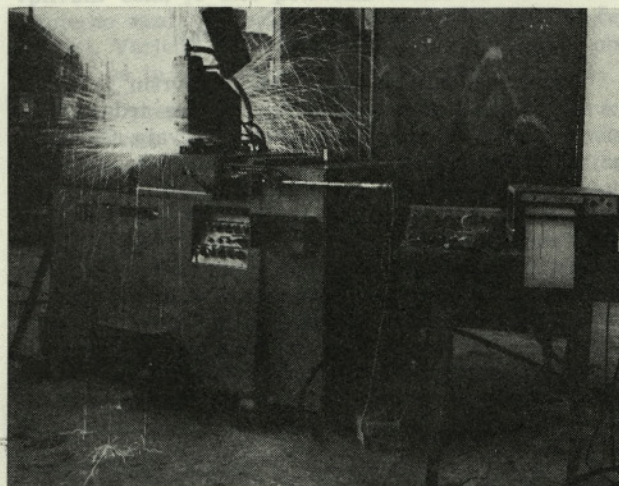
Regulacija stroja — hidravlična

Hlajenje čeljusti — voda

Varilna zmogljivost:

Jeklo — okrogli prerez (mm) do ϕ 40

Jeklo — ost. polni prof. (mm²) 1250



Slika 1

Možno je variti okrogle in votle oblike naslednjih prerezov: okrogle, kvadratne, pravokotne, I, L in U profile. V posameznih primerih je potrebno prirediti obliko čeljusti.

Na sliki 1 je prikazan videz tega stroja.

3. SPLOŠNO O UPOROVNEM SOČELNO OBŽIGALNEM VARJENJU

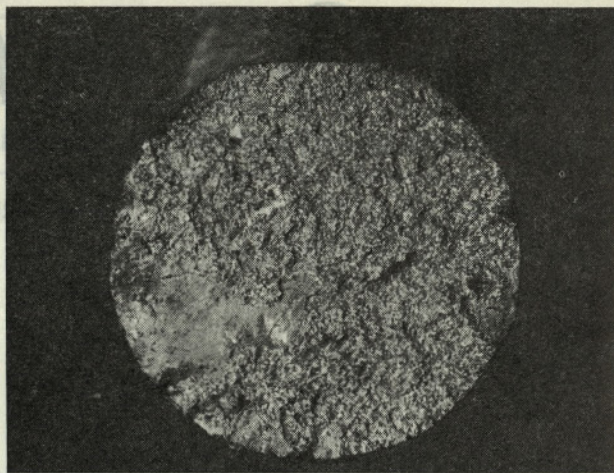
Tehnologija sočelno obžigalnega varjenja je razmeroma komplicirana, saj je za kvaliteten zvar potrebno najti pravilno odvisnost med varilnim tokom in napetostjo, hitrostjo obžiganja in stiskanja, temperaturnim režimom v fazi predgrevanja, obžiganja in stiskanja itd. Za temeljitejše spoznavanje s tovrstnimi problemi bi priporočali knjigo »Tehnologija stiskovoj kontaktnoj svarki«, avtorjev N. S. Kabanova in Z. Š. Slepaka iz leta 1970.

V grobem poteka sočelno obžigalno varjenje na naslednji način:

Oba konca varjenca vpnemo v čeljusti in ju pod napetostjo približamo. V trenutku njenega stika steče tok, pri čemer se material hitro segreva (faza predgrevanja) vse dokler se konca ne odmakneta na neko distanco (tvori se reža 0,3—0,8 mm). Naslednja faza je obžiganje čelnih površin varjenca. Oba konca ponovno počasi približamo. Na mnogih stičnih mestih se tvorijo »elementarni kontakti«. Upornost na mestu elementarnih kontaktov in gostota toka, ki prehaja skozi ta mesta, je zelo velika, zato se ta mesta hitro segrevajo in nataljujejo oz. se talina celo delno uparja. Te pare pod velikim pritiskom silijo talino navzven. Glede na to, da se konca varjenca stalno približujeta, se tvorijo vedno novi elementarni kontakti, ki se stalno rušijo, kar se na zunaj manifestira kot stalno iskrenje (izbrizgavanje taline kot posledica njenega delnega uparjanja). Po končani fazi obžiganja sledi faza kovanja, v kateri se pod dejstvom sile oba konca zakujeta. V fazi kovanja naraste varilni tok za 2 do 4-krat v odnosu na vrednost pri obžiganju, ker se poveča površina, skozi katero prehaja tok. Čas prehoda toka v tej fazi je le nekaj desetink sekunde. Zvar, ki se formira, je posledica difuzije atomov. Difuzija pri tem načinu varjenja izrazito naraste zaradi prisotnosti delno nataljene faze, visoke temperature, pri kateri raste sposobnost za tvorbo trdne raztopine in končno zaradi plastične deformacije v fazi kovanja. Kovanje povzroči, da se aktivni centri, potrebni za spoj, zblížajo.

3.1. Elementarni kontakti

Nataljevanje (obžiganje) čelnih površin je možno izvesti kontinuirano in dovolj hitro le tedaj, če se elementarni kontakti dovolj hitro segrevajo. Če ta pogoj ni dosežen, se površina elementarnega kontakta poveča zaradi stalnega približevanja obeh koncev varjenca, zniža pa se pri tem gostota toka, ki teče skozi povečani elementarni kontakt. Posledica tega je, da se elementarni kontakt ne poruši, pač pa se celo povečuje — varjenca se na tem mestu lokalno zlepita. Če se to zgodi v končni fazi obžiganja, dobimo na prelomni površini zvara pege (rusko »matovie pjatna«), ki predstavljajo oslabitev preseka oz. močan zarezni učinek tudi že pri statičnih obremenitvah. Videz tovrstne napake je prikazan na sl. 2. Če pride do zlepa v začetni fazi obžiganja, potem varjenca normalno ponovno razmaknemo in celotni varilni cikel ponovimo.



Slika 2

Po literaturnih virih se najbolje obžiga pri napetosti 8—10 V. Pri nadaljnjem povečanju napetosti se obžiganje ne izboljšuje, kar je možno razložiti s tem, da se zaradi prehitrega segrevanja elementarnih kontaktov in hitre njihove porušitve ne tvorijo optimalne površine. To je bilo potrjeno z varjenjem pri napetosti 30 V. Če je varjenec dovolj predgrevan, se poveča intenzivnost obžiganja tj. poveča se hitrost rušenja elementarnih kontaktov. To prednost predgrevanja je torej potrebno izkoristiti v primeru, če je varjenje izvedeno zaradi karakteristike stroja pri prenizki napetosti.

3.2. Predgrevanje varjenca

Predgrevanje varjenca je eden bistvenih varilnih parametrov, ki pride do polne veljave predvsem pri srednje in visoko ogljičnih jeklih. Pri teh jeklih je predgrevanje potrebno zato, da se zmanjša temperaturni gradient in s tem omogoči zakalitev zvara in njegove okolice. Če je čas predgrevanja dolg in tok manjši, je material v širši coni enakomerneje predgret. Če pa je predgrevanje izvedeno hitro tj. v krajšem času pri večjem toku, potem se poveča temperaturni gradient. V tem primeru je material le lokalno močno pregret, pri čemer se poveča nevarnost razogličjenja na površini varjenca, prežiganja po kristalnih mejah, tvori pa se tudi grobo zrno. Vsi ti pojavi znižujejo statično, predvsem pa dinamično trdnost, če se ne odpravijo v nadaljnjih fazah varjenja tj. pri obžiganju in kovanju. Kot smo že omenili, ima predgrevanje tudi to prednost, da se z vključitvijo tega v varilni proces poveča intenzivnost obžiganja tj. poveča hitrost rušenja elementarnih kontaktov. To je priporočljivo pri vajanju večjih dimenzij (tudi Č.0200 jekla) predvsem pri delu s stroji, ki ne omogočajo varjenja pri napetostih med 8 in 10 V.

3.3. Čas in hitrost obžiganja

Čas in hitrost obžiganja sta odvisna od kvalitete jekla, preseka varjenca, gostote toka in stopnje predgrevanja. Čim večja je bila stopnja predgrevanja, tem krajši je lahko čas obžiganja.

Čas obžiganja se ravno tako skrajša, če je gostota toka večja. Pri izrazitem predgrevanju in daljšem času obžiganja se poraja nevarnost, da je material preveč pregret. Posledica tega je znižana plastičnost

in trdnost zvara. Temu so podvržena predvsem visoko ogljična ekla, pri katerih se z zoženjem cone pregretja zoži tudi feritna mreža, izločena po kristalnih mejah. Vendar naj dodamo, da se s skrajšanjem cone pregretja poveča nevarnost nastanka peg in neprevarjenih mest po preseku zvara. Zaželena je torej optimalna širina cone pregretja materiala, oziroma tista najožja, pri kateri npr. jekla s povišanim procentom ogljika, v zvaru in njegovi okolici, še ne kalijo. S povečanjem sile stiskanja (kovanja) se cona pregretja in s tem cona grobega zrna zoži, ker se del te iztisne v žmulo.

V odvisnosti od kemične sestave in debeline varjenca, so možne različne hitrosti obžiganja. Na splošno velja pravilo, da je hitrost obžiganja večja pri manjših presekih. Ravno tako je večja hitrost obžiganja npr. pri jeklih, legiranih s kromom, pri katerih je zeleno, da se čim hitreje zaključijo varilni ciklus zaradi preprečevanja nadaljnje oksidacije taline (krom tvori težko taljive okside). Če hitrost obžiganja preokrača neko optimalno vrednost (ta je odvisna tudi od gostote toka in vrste jekla), privede to do poslabšanja zvarov. Razlaga za to je naslednja: pri obžiganju prihaja na čelnih površinah varjenecv do tvorbe kraterjev (vdolbinic), katerih globina naj ne bo prevelika, sicer so potrebne zelo velike sile stiskanja, da se v fazi kovanja vse te vdolbine zapolnijo. Nemalokrat v njih ostaja tudi oksid, ki ga je težko iztisniti. Čim večja je hitrost obžiganja, tem globji so. Globina se poveča zato, ker se poveča tudi površina elementarnega kontakta, skozi katerega steče večji tok. Zato se material na teh mestih globlje pregreje oz. pretali. Pri hitrosti obžiganja 0,25 mm/sek. navaja literatura, da je globina kraterjev 1,5—2,0 mm. Pri tem pa ni navedeno, kakšne vrste jeklo je bilo varjeno. V literaturi nadalje zasledimo, da je priporočljivo, če je začetna hitrost obžiganja manjša, v končni fazi pa naj bo ta večja.

3.4. Sila in hitrost stiskanja

Za tvorbo kvalitetnega zvara je potrebna v fazi kovanja dovolj visoka plastična deformacija, ki mora biti izvedena s pravilno hitrostjo. Velikost sile stiskanja je odvisna v glavnem od vrste jekla, debeline varjenca, velikosti kraterjev na obžiganih površinah, od temperaturnega gradienta in ne na koncu tudi od atmosfere, v kateri je bilo varjenje izvedeno.

Dovolj visoka sila stiskanja (kovanja) je potrebna v bistvu zato, da omogoči porušitev oksidne kožice, ki se tvori med obžiganjem oz., da iztisne okside skupaj s presežno raztaljeno kovino, da približa za spoj potrebne aktivne centre in končno, da med ohlajevanjem delno prepreči rast zrna.

Pri širokih conah pregretega materiala je potrebna manjša sila stiskanja, pri ozkih (temperaturni gradient velik) pa mnogo večja. Če je varjenje izvedeno v zaščitni atmosferi, je lahko minimalna potrebna sila stiskanja za polovico nižja. Literatura navaja, da je za tvorbo kvalitetnega zvara minimalna potrebna sila stiskanja 4 kp/mm². Pri nižjih silah kovanja se v zvaru hitro poveča prisotnost mnogih napak, kož, so pege ali neprevarjena mesta. Če je sila stiskanja višja od optimalne, se poraja bojazen, da »teksturine silnice« izstopijo na površino varjenca v okolici zvara, kar izrazito znižuje dinamično trdnost.

S silo stiskanja je možno tudi spreminjati širino cone, v kateri nastopa nezaželeno grobo zrno. Pri varjenju se dostikrat ne moremo izogniti večjemu predgrevanju in daljšem obžiganju, bodisi zaradi ka-

rakteristik stroja, bodisi zaradi dimenzij varjenca in kvalitete materiala ki se vari. V takšnem primeru imamo vedno zelo širok diapazon pregretega materiala in kot posledica tega tudi grobo zrno. Z večjo silo stiskanja je možno v tem primeru cono grobega zrna izrazito zožiti in sicer s tem, da širši predel materiala iztisnemo v žmulo, ali da priredimo hitrost stiskanja tako, da vključimo v proces varjenja še rekristalizacijo zvara in njegove okolice.

Ni namreč priporočljivo, da v trenutku izvedemo kovanje. Hitrost stiskanja, kot zelo važen varilni parameter, mora biti v začetku velika, da se omogoči istisnjenje še raztaljene oksidne mreže, v kasnejši fazi kovanja pa naj bo hitrost stiskanja manjša. Če bi celotno kovanje izvedli hipoma, potem bi se pod dejstvom visoke temperature v zvaru in okolici hitro izvedla rekristalizacija, oziroma bi zaradi še vedno visoke temperature po rekristalizaciji zrno zraslo. To pa je možno preprečiti, če je po začetnem sunkovitem stisku še prisotna potrebna deformacija, ki »drobi grobo zrno« in s tem ustvarja nove kali, potrebne za nadaljnjo rekristalizacijo.

S tem smo na kratko navedli nekatere osnovne prvine v zvezi s sočelnim obžiganjem varjenja. Mnoge zelo zanimive podatke iz literature smo izpustili, kajti njihovo navajanje potegne za seboj kompleksnejšo razlago.

4. VARILNI PREIZKUSI

Poskusi varjenja so bili izvedeni na osnovi mnogih literaturnih izsledkov, napotkov raznih mednarodnih varilskih organizacij (American Welding Society, IIW-IIS itd.) v zvezi z varilnimi parametri sicer jekel z nizko vsebnostjo ogljika, zapažanj na švicarskem avtomatskem stroju, ki je izdelek firme Schlatter in končno na osnovi dolgotrajnega, največkrat brezuspešnega varjenja na starem neprogramiranem stroju tipa TSO 40 — Varstroj.

Varilne parametre za okroglo betonsko jeklo kvalitete Č.0200 smo skušali prirediti po napotkih omenjenih organizacij, vendar smo glede na karakter stroja nemalokrat vnašali še dodatne elemente varjenja.

Pri varjenju rebrastega betonskega jekla domače ali tuje izvedbe smo glede na visoko vsebnost ogljika določili varilne parametre popolnoma izkustveno. Da bi odpravili preveliko ohlajenje v zvaru ali toplotno vplivani con, je bilo potrebno držati maksimalno še primerno razdaljo med vodno hlajenimi varilnimi čeljustmi. Varjenci so bili zrazito predgrevani, pot obžiganja pa je bila razmeroma dolga.

Cona pregretja je bila torej v vseh primerih široka. Osvojen je bil tako imenovani »mehki režim varjenja« (povzeto po ruskem »mjagki režim«). Po fazi kovanja so bili varjenci takoj izpeti, tako da je bilo omogočeno počasno ohlajene zvarov na zraku. Zvar ni bil dodatno ročno kovan (tudi pri Č.0200 ne), pač pa je bil grben zvara odstranjen s sekačem, oziroma pobrušen zaradi preiskave na upogib. Vsa varjenja so bila izvedena pri konstantni hitrosti obžiganja 0,37 milimetra na sekundo, kar je zelo ugodno za prakso, saj ni potrebno zav sako dimenzijo in kvaliteto posebej izbirati druge hitrosti obžiganja.

Posebno pozornost smo posvetili pripravi varjenecv na mestu, kjer so ti vpeti v čeljusti. Na okroglem betonskem jeklu smo posneli škajo in drugo nečista mesta (rja), pri rebrastem domačem jeklu dimenzije

Ø 32 in 36 mm pa smo enostransko popolnoma obrusili rebra zaradi boljšega električnega kontakta med varjenjem in čeljustmi. Pri vseh ostalih preizkušanjih smo z brušenjem le očistili rebra, nismo pa jih posneli. Obžigane površine so bile v vseh primerih odrezane ravno.

Da bi bilo možno natančno zasledovati bistvene varilne parametre, smo te posneli na registrirnem oscilografu — sl. 1. S tem je bila omogočena natančna primerjava varilnih parametrov med slabo in dobro zavarjenimi vzorci. Iz posnetih varilnih parametrov na diagramih in iz ostalih pripadajočih merjenj ter preiskav v zvezi s kvaliteto zvara (mehanska in metalografska raziskava) smo za izbrane kvalitete jekla in dimenzije določili v celotnem varilnem ciklusu še mnoge dodatne pokazatelje, kot so čas uporovnega predgrevanja, pot in čas obžiganja, celokupni čas varjenja, hitrost obžiganja, hitrost stiskanja (kovanja), specifični pritisk (sila kovanja na enoto površine prereza varjenca), specifični tok (tok na enoto površine prereza varjenca) itd. Na osnovi tega so bili izdelani diagrami, ki prikazujejo odvisnost med dimenzijo varjenca in začetnim razmikom čeljusti, potjo obžiganja (na kulisi), časom uporovnega predgrevanja ter stopnjo napetostnega pretikala.

4.1. Izbira osnovnega materiala in njegova varivost

Domače rebrasto betonsko jeklo ČBR 40 je naravno trdo jeklo, katerega povišana trdnost in meja plastičnosti sta odraz povišane vsebnosti ogljika in mangana. Kemična sestava za ČBR jeklo ni zajeta v predpisih, pač pa so definirane le minimalne trdnostne lastnosti. Glede na to, da pri nas ne obstaja še kakšen višji trdnostni razred, za to jeklo proizvajalec navzgor ni omejen z neko višjo kvaliteto niti po kemični sestavi, niti po mehanskih lastnostih. Posledica tega je, da srečamo pri teh jeklih vsebnost ogljika tudi do 0,67%. Naj dodamo, da je možno doseči zahtevane mehanske lastnosti tega jekla že z 0,30% C (vsebnost Mn je pri tem ca. 1,1%) in je vsako nadaljnje povišanje ogljika nepotrebno ter neugodno, ker izrazito poslabšuje varivost.

Varilni preizkusi so vključevali naslednje materiale:

| Kvaliteta | Dimenzija Ø mm | Kemična sestava v % | | Ekvivalent ogljika C _k |
|-------------------------|-------------------|------------------------|------|---|
| | | C | Mn | |
| ČBR 40 | 16 | 0,62 | 0,77 | 0,75 |
| ČBR 40 | 22 | 0,57 | 0,95 | 0,73 |
| ČBR 40 | 25 | 0,48 | 0,84 | 0,62 |
| Rebrasto b. j. Švica | 28 | 0,30 | 1,12 | 0,48 |
| ČBR 40 | 32 | 0,61 | 0,87 | 0,75 |
| ČBR 40 | 36 | 0,55 | 1,09 | 0,73 |
| Rebrasto b. j. Švica | 36 | 0,34 | 1,13 | 0,53 |

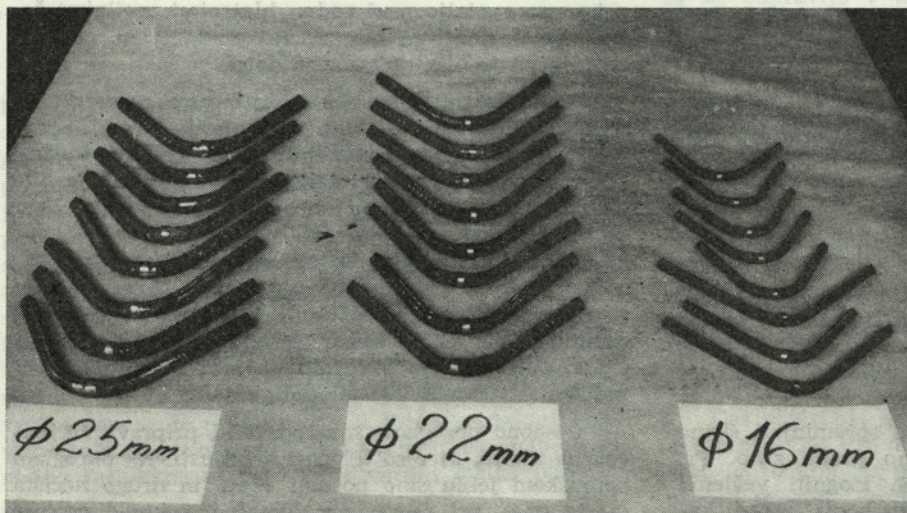
Ekvivalent ogljika je izračunan iz formule:

$$C_k = \% C + \frac{\% Mn}{6}$$

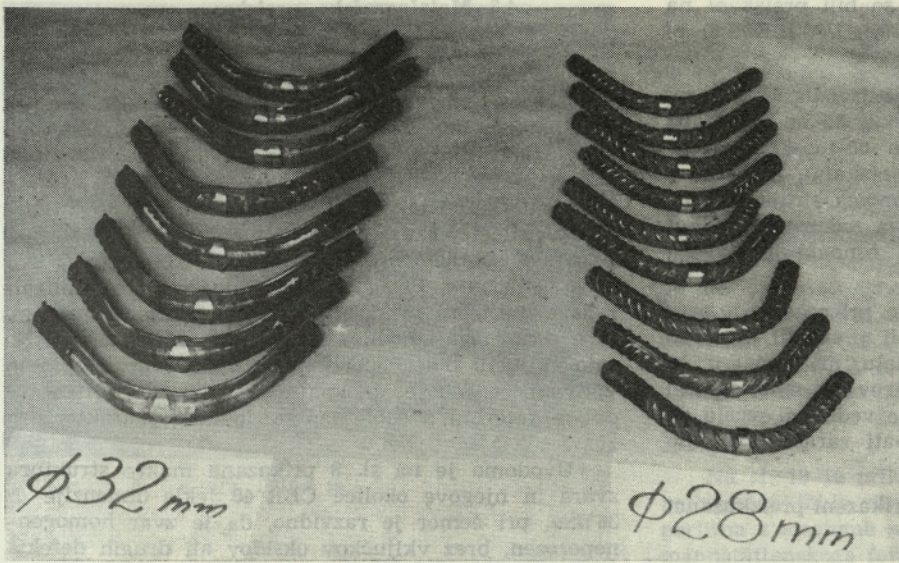
Iz vrednosti za C_k je razvidno, da je vse rebrasto betonsko jeklo le pogojno varivo. Izbrano okroglo betonsko jeklo je kot običajno zaradi nizke vsebnosti ogljika in mangana dobro varivo.

4.2. Mehanska preiskava zvarov

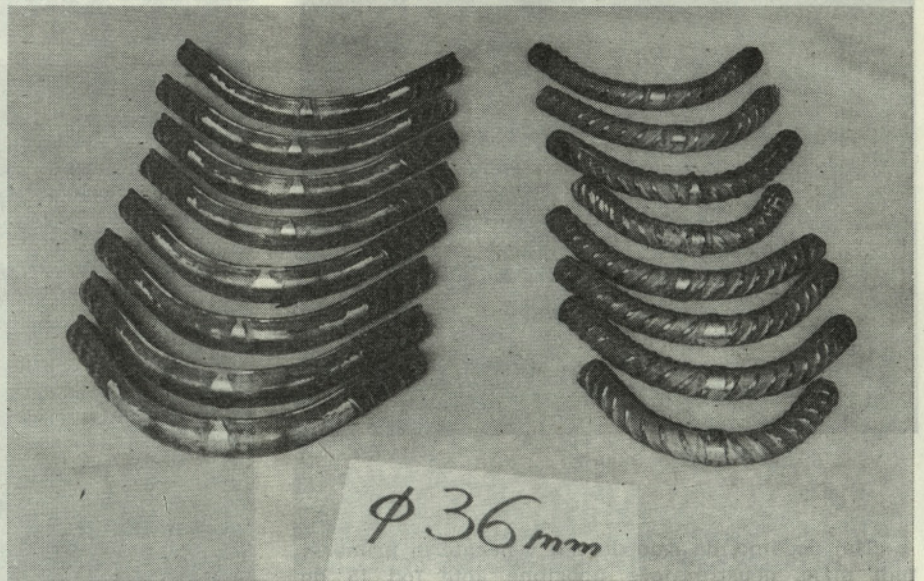
Kvaliteta zvarov se najbolje oceni z upogibnim preizkusom (zakaljeni zvari se lomijo pri kotih nekaj stopinj). Zvari rebrastega betonskega jekla so bili upogibani preko trna D = 5 x debelina varjenca. Pri tem bi moral zvar izdržati upogib do kota 60°. Te pogoje za preiskavo na upogib smo povzeli po najnovjših predpisih za uporabo rebrastega betonskega jekla, ki so šele v pripravi, vendar naj dodamo, da nemški predpis DIN 488 Blatt 1, tabela 1 predvideva za tovrstna jekla mnogo ugodnejše trne (za isti kot 60°) in sicer za dimenzije varjencev pod 12 mm trn D = 5a (a = debelina varjenca) od 13—18 mm D = 6a in za dimenzijo 20—28 mm D = 8a. Ker Nemci ne izdelujejo debelejšega rebrastega betonskega jekla, navzgor ne navajajo dimenzij trnov.



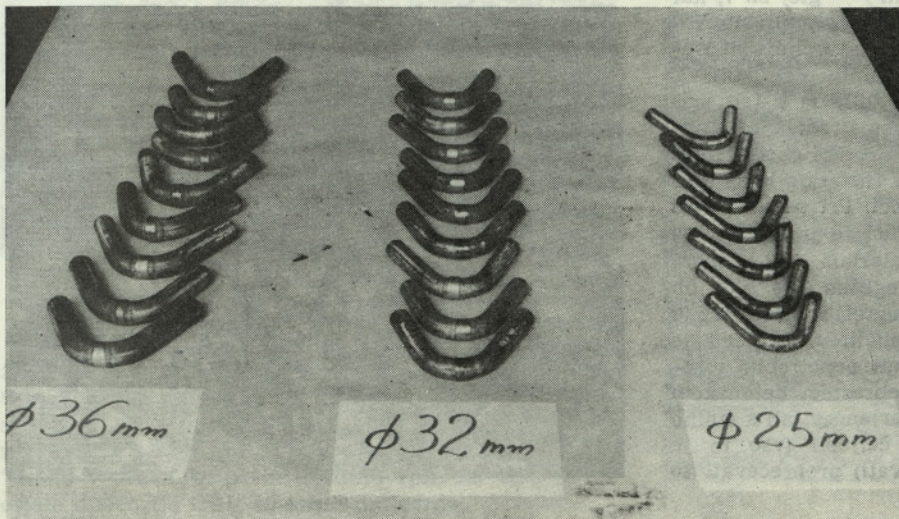
Slika 3



Slika 4



Slika 5



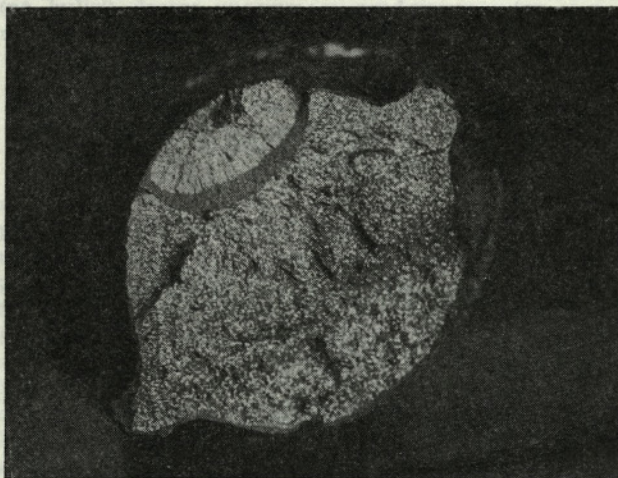
Slika 6

Varjenci iz Č.0200 materiala so bili preiskani na upogib preko $D = 2a$. P_0 zahtevah JUS C.K6.020 bi morali izdržati min. 60° .

Dodatno smo za obe kvaliteti izvedli še natezni preizkus. Za rebrasto jeklo dimenzij 32 in 36 mm pa zvar ni bilo možno pretrgati na 60-tonskem stroju (večji trgalni stroj v Sloveniji ne obstaja). Z obremenjevanjem zvara do zgornjega območja stroja pa smo kljub temu dokazali, da je njegova trdnost višja, kot je minimalno dovoljena trdnost osnovnega materiala.

Sumarno lahko zaključimo, da pri nateznem preizkusu vzorcev, ki smo jih uspeli pretrgati, nastopa pretrg vedno v osnovnem materialu, pri upogibu, ki je bolj merodajen, za oceno zvarov pa smo dosegli kote od $110-140^\circ$, pri čemer pa še vedno ni prišlo do zloma (višje nismo mogli upogibati zaradi upogibne naprave).

Na slikah št. 3, 4, 5 in 6 so prikazani preizkušanci po upogibnem preizkusu.



Slika 7

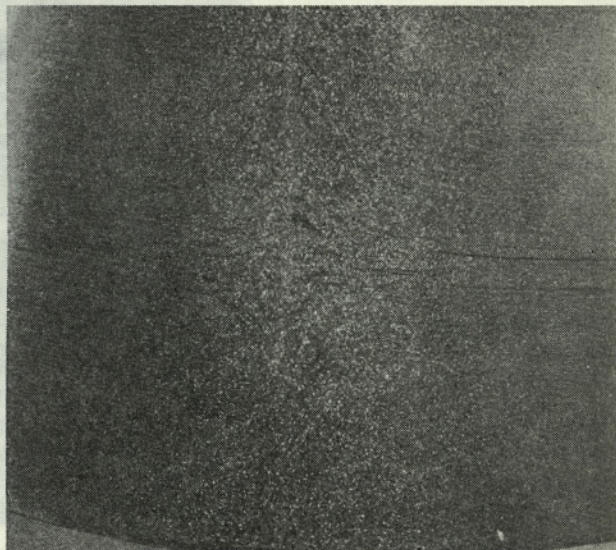
Naj dodamo, da smo dosegli v nekaterih primerih tudi nižje, neustrezajoče upogibne kote (od 15 do 57°) za kvaliteto ČBR 40 in sicer za dimenzije večje od $\phi 22$ mm. To se je dogajalo v primerih, ko je prišlo do lokalne zakalitve materiala v varilnih čeljustih (površina zakaljene cone $10-18$ mm²) — glej sl. 7, kar je izven območja zvara, oziroma toplotno vplivane cone. Vzrok lokalne zakalitve je bilo največkrat nepravilno nalaganje varjencev v varilnih čeljustih. Z metalografsko preiskavo smo ugotovili, da v teh primerih nastopa v lokalno zakaljenem predelu mertanzitna struktura s trdnostjo ca. 63 HCR. Pri obremenitvi ta trda krhka cona ne more slediti raztezkju, ki poteka v ostalem delu preseka, temveč počni. Pri tem se tvori ostra zareza, zaradi katere se poruši že pri majhnem upogibnem kotu še ostali del materiala. Pri švicarskem jeklu, ki je imel vsebnost ogljika $0,34\%$ kljub istemu lokalnemu-točkovnemu pregretju materiala v nobenem primeru ni nastopila zakalitev. Iz tega je možno zaključiti, da je boljše znižati nepotrebno visoko vsebnost ogljika v domačem rebrastem betonskem jeklu, kot pa z idealno pripravo varjencev, ali s stalno brezhlebnimi površinami varilnih čeljusti (vse to je praktično nemogoče stalno vzdrževati) preprečevati to lokalno zakalitve.

4.3. Metalografska preiskava zvarov

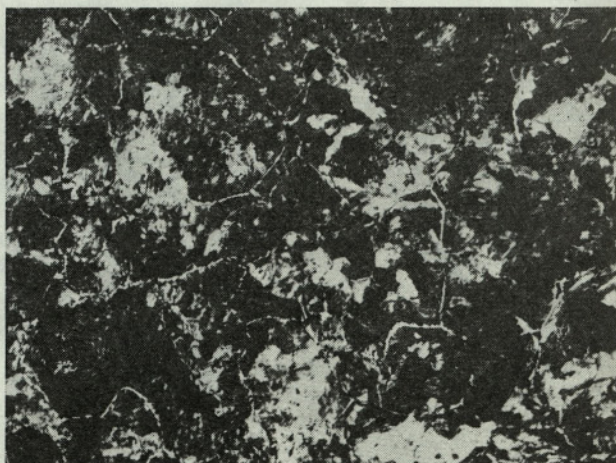
Z metalografsko preiskavo zvarov smo poskušali potrditi rezultate mehanske preiskave, ki so pokazali, da so zvari razmeroma žilavi (visoki upogibni koti). Preiskava je bila izvedena na po enem vzorcu od vsake varjene dimenzije in kvalitete. Zaradi prisotnosti istih struktur bodisi pri ČBR 40 jeklu, bodisi švicarskem ali Č.0200 jeklu različnih dimenzij, smo na slikah v prilogi prikazali le strukture za ČBR $\phi 36$ mm, švicarsko rebrasto betonsko jeklo $\phi 36$ mm in Č.0200 jeklo $\phi 36$ mm. Poleg strukture, ki nastopa v bližini zvarne linije, so prikazane za te primere tudi strukture osnovnega-izhodnega materiala. V metalografijo smo vključili poleg ocene strukture v zvaru, toplotno vplivani coni in osnovnem materialu še meritve trdot, s katerimi se običajno še dodatno okarakterizira zvar.

Uvodoma je na sl. 8 prikazana makro struktura zvara in njegove okolice ČBR 40 jekla dimenzije $\phi 36$ mm, pri čemer je razvidno, da je zvar homogeneporozen, brez vključkov oksidov ali drugih defektnih mest. Enaki so tudi ostali zvari, ki smo jih metalografsko preiskovali.

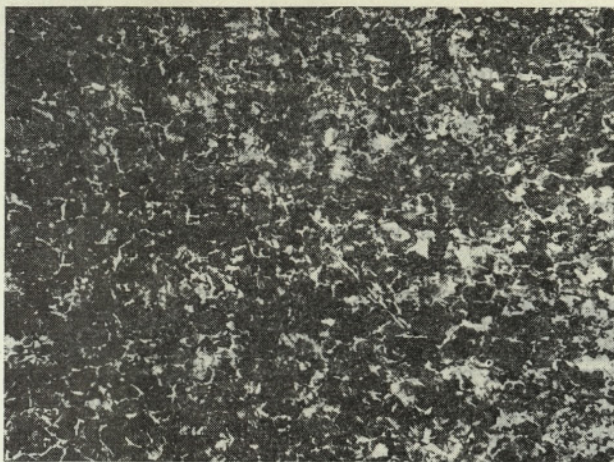
Na sl. 9 je pri pov. $100\times$ prikazana struktura zvara ČBR 40 jekla dimenzije $\phi 36$ mm. Prisotna je



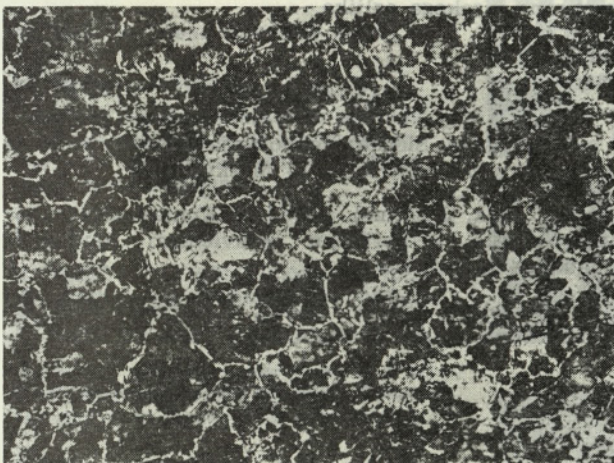
Slika 8



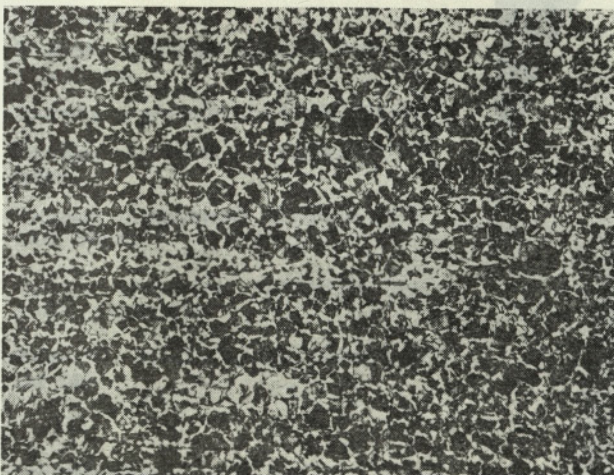
Slika 9



Slika 10



Slika 11



Slika 12

žilava, perlitno-sorbitna struktura + ferit, ki ima trdoto 267 HV. V toplotno vplivani coni nastopa ista struktura s trdoto 272 HV. Struktura osnovnega-izhodnega materiala je perlitna s sledovi ferita — sl. 10. Trdote v zvaru, oziroma toplotno vplivani coni so za ostale dimenzije ČBR 40 jekla naslednje:

Ø 16 zvar = 265 HV t. v. c. = 290 HV

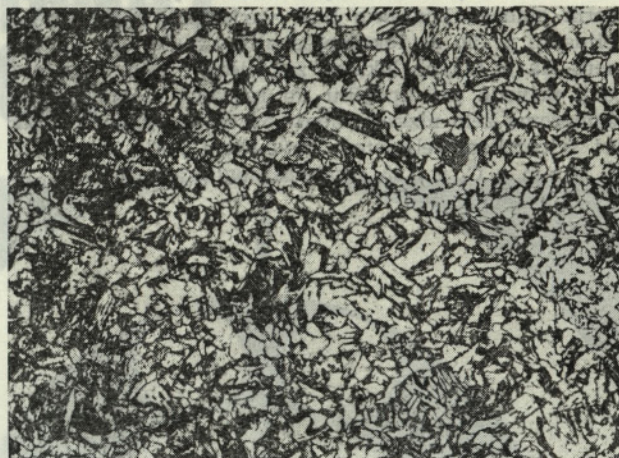
Ø 22 zvar = 228 HV t. v. c. = 254 HV

Ø 25 zvar = 206 HV t. v. c. = 211 HV

Ø 32 zvar = 270 HV t. v. c. = 278 HV

Na sl. 11 je prikazana struktura zvara za švicarsko betonsko jeklo Ø 36 mm, ki je perlitno-sorbitna s prisotnim feritom, vendar z manjšim zrnom, kot pri ČBR 40 iste dimenzije. Trdota zvara je 224 HV, toplotno vplivane cone, ki ima podobno strukturo pa 234 HV. Struktura osnovnega toplotnega nevplivnega materiala — sl. 12 je perlitna z večjo vsebnostjo ferita, kot pri ČBR 40 Ø 36 mm, ki ima višjo vsebnost ogljika. Trdota, ki smo jo določili v zvaru in t. v. c. švicarskega jekla dimenzije Ø 28 mm, je 234 HV in 263 HV.

Na sl. 13 je prikazana struktura zvara okroglega betonskega jekla dimenzije Ø 36 mm, ki je feritno-perlitna z mestoma nakazano tendenco izločanja Widmannstättenskega ferita, kar ni najbolj ugodno. Struktura osnovnega materiala, ki je prikazana na sl. 14, je feritno-perlitna. Trdote na varjencih iz Č.0200 jekla nismo merili, ker je že iz struktur in kemične analize razvidno, da material pri navedenih varilnih parametrih ne more kaliti.



Slika 13



Slika 14

5. ZAKLJUČEK

Na osnovi izvršenih preiskav v zvezi s tehnologijo varjenja betonskih jekel na novem, domačem avtomatskem programiranem stroju tipa TSO 40-A, ki služi za uporovno, sočelno obžigalno varjenje okroglega in rebrastega betonskega jekla, ter drugih jeklenih profilov, zaključujemo naslednje:

— Rezultati mehanske preiskave rebrastega ali okroglega betonskega jekla kažejo, da je trdnost zvarov višja kot je minimalno predpisana trdnost osnovnega materiala.

Pri upogibnih preizkusih, ki so glavno merilo za kvaliteto zvara, smo dosegli, ne glede na vrsto jekla, ekvivalent ogljika in dimenzijo, upogibne kote, ki so večji od 110° . To je mnogo višje, kot se sicer zahteva po domačih ali tujih predpisih.

— Metalografska preiskava zvarov rebrastega betonskega jekla, kaže, da v zvaru oz. v toplotno vplivani coni ne nastopa zakaljena struktura, pač pa vmesna, perlitno-sorbitna struktura + ferit. Pri okroglem betonskem jeklu je struktura zvara in okolice perlitno-feritna. Pri večjih dimenzijah ČBR 40 jekla nastopa v zvaru zaradi izrazitega predgrevanja nezazeleno grobo zrno, pri Č.0200 jeklu pa zaradi istega razloga tendenca nastopanja Widmannstättenske strukture.

— Pri večjih dimenzijah ČBR 40 jekla je v primerih slabega kontakta med varjencem in varilnimi čeljustmi prišlo do lokalne zakalitve materiala. V primeru, da je takšno lokalno zakaljeno mesto v natezni coni, privede pri upogibu do krhkega zloma že pri razmeroma zelo nizkem, neustreznem upogibnem kotu. Pri švicarskem rebrastem betonskem jeklu dimenzije ϕ 36 mm z $C_k = 0,53$ (vsebnost ogljika je 0,34 %) in

mehanskimi lastnostmi, ki ustrezajo ČBR 40 jeklu, pa kljub lokalnemu pregretju v čeljustih ne nastopa zakalitev. Iz tega sledi, da je vzrok za lokalno zakalitev potrebo iskati predvsem v materialu, ki ima preveč visoko vsebnost ogljika. Takšno stanje je pri nas možno, ker ni poleg kvalitete ČBR 40 še neka višja kvaliteta rebrastega betonskega jekla, s katero bi bilo možno omejiti vsebnost ogljika oziroma ker za vrsto ČBR 40 meje za vsebnost ogljika in mangana niso predpisane.

Posledica vsega je, da si zaradi tega izmišljamo komplicirane tehnologije varjenja z izrazitimi predgrevanji in naknadnimi žarjenji. Pri ustrezno nižjem ogljiku oz. C_k bi nedvomno lahko izbrali ugodnejši režim varjenja, ki bi nudil ugodnejšo strukturo v zvaru in toplotno vplivani coni.

Sumarno pa lahko glede uporabnosti oziroma funkcionalnosti stroja trdimo, da je povsem primeren za uporovno, sočelno obžigalno varjenje gradbeniških jekel kvalitete ČBR 40 ali Č 0200, kolikor to jeklo nima pretirano visokega ogljika.

Literatura:

1. Kabanov, Slepak: Tehnologija stikovej kontaktnoj svarki Mašinostroetine — Moskva 1970
2. Kučuk, Jaščenko, Lebedov: Kontaktnaja stikovaja svarka neprerivnim oplavljeniem. Naukovaja dumka — Kijev 1965
3. Akselrod, Zaicev, Zlobin, Kočergin, Nekrasov: Kontaktnaja svarka Proftehizdat — Moskva 1962

Leopold Vehovar, dipl. inž. metalurgije

GRADBENIKI, PROJEKTANTI, INVESTITORJI

Uporabljajte gradbene armature iz RMK-Zenica, ker vam zagotavljajo prihranke v količini, času, delovni sili in olajšujejo transport.

Program proizvodnje gradbenih armatur: obsega:

I. ZAVARJENE ARMATURNE MREŽE

- a) Tipske zavarjene armaturne mreže, in
- b) mreže po naročilu.

Zavarjene armaturne mreže so pakirane v paketih po 10, 20 in 30 kosov. Dimenzije mrež so: maks. dolžina 6500 mm, maks. širina 2700 mm.

II. REŠETKASTI ARMATURNI NOSILCI tipa »Bihać« se proizvajajo po licenci OMNIA.

Rešetkasti armaturni nosilci Bihać I in II so osnovni elementi za polne betonske plošče in medstropne konstrukcije.

Detajlne podatke lahko dobite v naših prosektnih materialih!

Proizvajalec:

Rudarsko-metalurški kombinat RMK-Zenica Zenica,

Tvornica za prerađu žice BIHAĆ, Bihać.

Tvornica za prerađu žice BIJELJINA, Bijeljina.

Tvornica građevinskih armatura STOLAC, Stolac.

Telefon: 072/21-244; 077/22-226; 076/81-337; 088/87-218.

Telex: YU RMKZE 43-129, poštni predal 141.

Predstavništva:

Beograd, Topličin Venac 3/II, telex 11-395 YU RMKPBG

Zagreb, 8. maja 44/I, telex: 21-739 YU RMKPZG

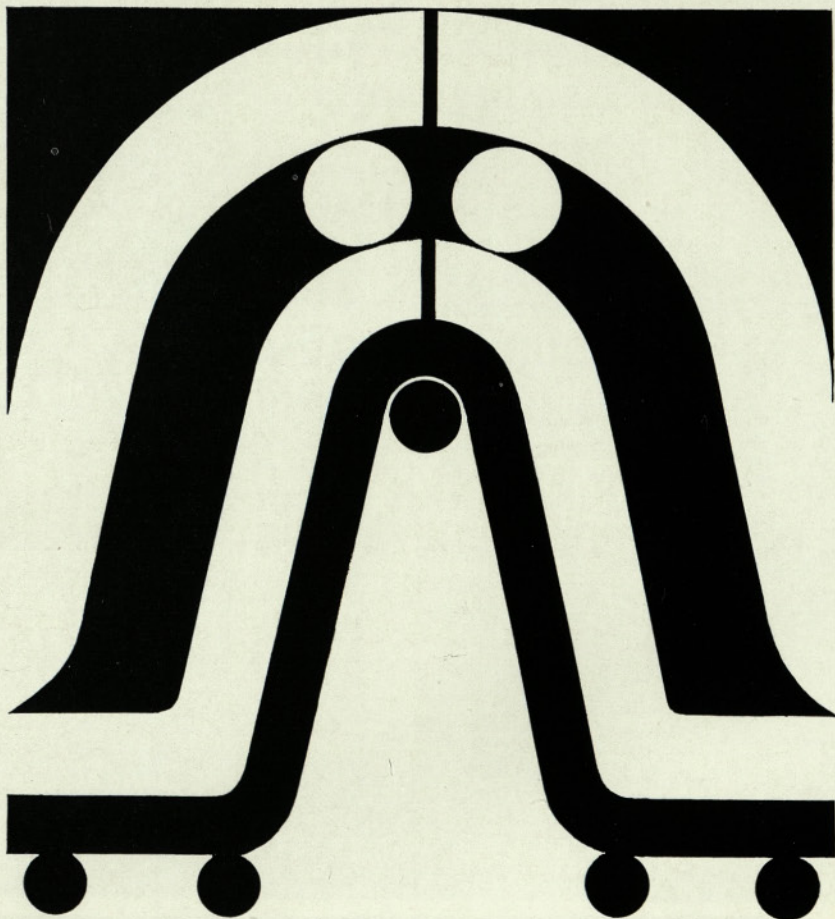
Ljubljana, Žibertova 1

Ploče-Luka Ploče

Progres-Beograd-generalni zastopnik za zunanjo trgovino RMK-Zenica.



RUDARSKO METALURŠKI KOMBINAT ZENICA



ZAVOD ZA RAZISKAVO MATERIALA IN KONSTRUKCIJ LJUBLJANA

TOZD INŠTITUT ZA MATERIALE

nudi pomoč in instruktažo za vse materialno-tehnične probleme gradbeništva in industrije gradbenih materialov.

V lastnem poizkusnem obratu v Gameljnah pripravlja in dobavlja posebne materiale in konstrukcije, kot so:

SUHI BETONI

raznih garantiranih mark in raznih kvalitet, tako normalno težki konstruktivni betoni, lahki izolacijski betoni, proti obrabi odporni betoni z eruptivnim agregatom itd.

SUHE MALTE

raznih lastnosti kot so: hitro vezoče, nabrekajoče, malte za preprečitev žarčenja, malte za injiciranje zidov, poškodovanih po potresu itd.

SUHI MONTAŽNI TOPLI TLAKI

takoj pohodni z možnostjo vstavitve vsakovrstnih instalacij debeline 5 cm z dobro zvočno izolativnostjo.

SUHE TANKE 10 cm DEBELE PREDELNE STENE

z odličnimi zvočno izolacijskimi lastnostmi, z možnostjo vstavitve vodov elektrike, telefona itd., odporne za suho in mokro okolje v stabilni ali montažni izvedbi.

Vse informacije na gornjem naslovu, Ljubljana, Dimičeva 12
tel. 344 070 ali poizkusni obrat Gameljne, tel. 51 092.
