

## **V s e b i n a**

Anton Grošelj

**MODERNIZACIJA ŽIČNE VALJARNE (DK 621.771) . . . 25**

Aleksander Rjazancev

**POSKUSNO TALJENJE BOBOVCA V VETRNI PEČI  
V STUDORJU (DK 669.9:930) . . . . . 30**

Aleksander Rjazancev

**BOBOVCI JULIJSKIH ALP (DK 553.3) . . . . . 41**

Ing. Miloš Gregorčič

**ŠKODLJIVOST DIMNIH PLINOV IN PRAHU  
V OZRAČJU (DK 613.6) . . . . . 54**

**NOVE KNJIGE V STROKOVNI KNJIZNICI . . . . . 56**

**Naslovna stran: Vetrna peč v Studorju**

# »ŽELEZAR«

## TEHNIČNA PRILOGA

Tehnična priloga Železarja — Glasilo DIT Jesenice — Odgovorni urednik ing. Stanko Čop. Člani uredniškega odbora: ing. Franc Babšek, ing. Marin Gabrovšek, ing. Miloš Gregorčič, Anton Grošelj, ing. Jože Kramar, ing. Pavle Sešek, ing. Slavica Sešek, Bratko Škrlič, Edo Žagar.  
Tisk: CP »Gorenjski tisk«, Kranj

LETO IV.

SEPTEMBER 1962

ST. 2

Anton Grošelj

DK 621.771

### Modernizacija žične valjarne

PROJEKT NICKELS & TODSEN, STOCKHOLM — ŠVEDSKA

Modernizacijo stare žične valjarne je poleg italijanskih projektantov »DANIELI« in »POMINI« predložilo Železarni Jesenice tudi švedsko podjetje »NICKELS & TODSEN« iz Stockholma. Prvi dve ponudbi smo že objavili v prejšnji številki »Tehnične priloge«. Tu pa posredujemo še švedsko ponudbo, da bi kolektiv dobil zaključen pregled nad pripravami za predvideno rekonstrukcijo. Kot smo že v prejšnjem sestavku omenili, ni predvidena popolna zamenjava stare naprave žične valjarne, temveč le delna tehnična dopolnitev, od katere zahtevamo izboljšanje pogojev za valjanje kvalitetne žice, povečanje dosedanje letne proizvodnje od 55.000 na 100.000 ton in mehanizacijo težkih delovnih postopkov.

Konstruktivna rešitev naših zahtev in shema valjanja za žico 5,5  $\phi$  se vidi iz slike 1.

Osnovne značilnosti projekta so:

#### I. Izboljšanje pogojev za valjanje kvalitetne žice:

a) Stara proga ima za končno dimenzijo žice 5,5  $\phi$ , valjano iz gredice 60  $\square$ , samo 16 prevlek. Po predlaganem novem načinu valjanja pa bi za isto dimenzijo žice imeli 26 prevlek, vendar iz gredic 90  $\square$ . Primerjava povprečnega koeficienta daljšanja na stari in novi kalibraciji pokaže občutne razlike, in sicer:

$$\lambda = \sqrt[n]{\frac{F_o}{F_n}} = \frac{F_o}{F_n}$$

$F_o$  = presek začetnega valjanca  
 $F_n$  = končni presek žice 5,5  $\phi$   
 $\lambda$  = povprečni koeficient daljšanja

$$\lambda = \sqrt[16]{\frac{60^2 \cdot 4}{5 \cdot 5^2 \cdot 3,14}} = 1,37$$

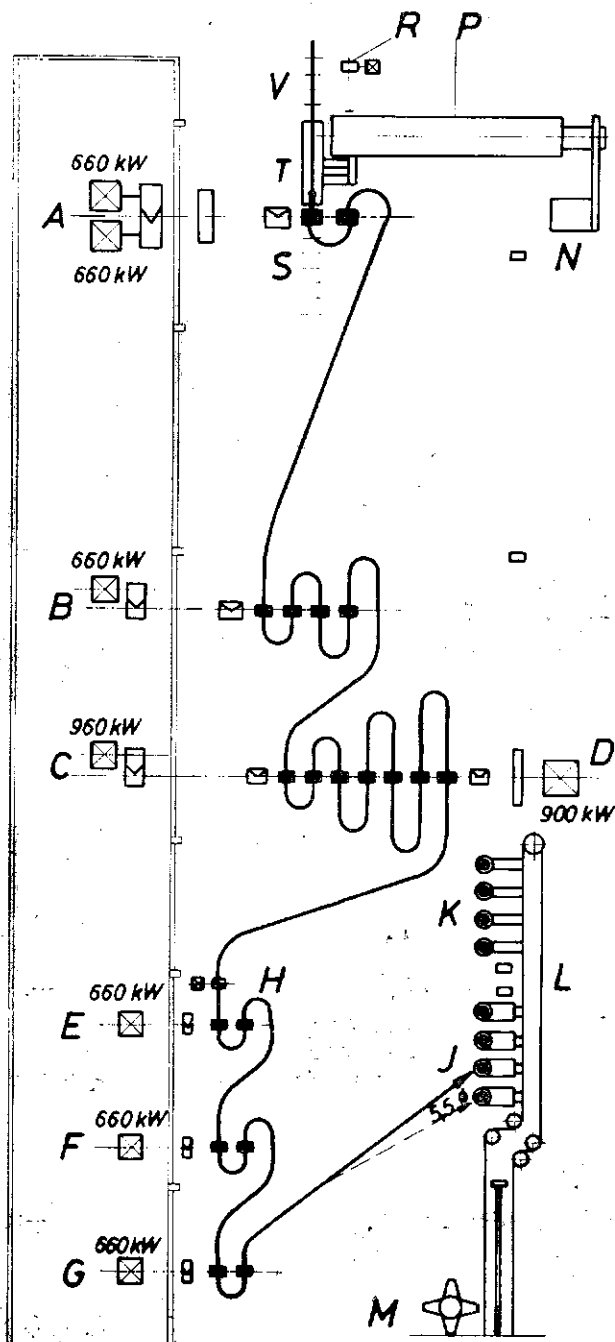
po stari kalibraciji

$$\lambda = \sqrt[26]{\frac{90^2 \cdot 4}{5 \cdot 5^2 \cdot 3,14}} = 1,25$$

po novi kalibraciji

Redukcije so v novem sistemu valjanja veliko ugodnejše kot jih imamo sedaj, ker so manjše in enakomernije. Ta osnovna prвина procesa bo imela bistven vpliv na izboljšanje dimenzijskih toleranc žice, obenem pa bo omogočila valjanje tako navadnih kot legiranih kvalitetnih jekel na isti kalibraciji, kar sedaj ni mogoče, ker je nevarnost, da bi žico zavaljali. Zadnji novi del končne proge bi valjal največ z 2—3 metriskimi zankami, ker se hitrost valjanja od vsakega para valjev povečuje, obenem pa so tudi premeri valjev, ki si sledijo, ustrezno povečani. Prednost kratkih zank je v manjši izgubi valjanca na temperaturi. To prednost bomo po predlaganem načinu valjanja lahko povsem izkoriščali le na zadnjih ogroddjih, ker v sklopu celotne naprave še vedno ostane sedem obstoječih valjčnih ogroddij proge 270  $\phi$  in njih pogoni s stalnimi hitrostmi valjanja za več ogroddij skupaj. To povzroča daljše zanke in prekomerno hlajenje valjanca. Poslednji nezaželeni pojav vpliva na poslabšanje dimenzijskih toleranc, ki imajo različno vrednost pri različnih temperaturnih pasovih istega valjanca.

Ostali vplivi na slabe tolerance proizvodnje, ki jih povzroča prožna deformacija zastarelih valjčnih ogroddij, tekstolitnih ležajev in valjev pri štirizilnem istočasnem valjanju na enem ogroddju,



Slika 1 — Švedski projekt

- A — Obstoječa proga 460  $\phi$
- B — Obstoječa proga 330  $\phi$  z novim pogonom
- C — 4 ogrodja obstoječe proge s pogonom
- D — 3 ogrodja obstoječe proge s pogonom
- E — Prvi par nove končne proge z novim pogonom
- F — Drugi par nove končne proge z novim pogonom
- G — Tretji par nove končne proge z novim pogonom
- H — Dvojne leteče škarje — nove
- I — Navijalci žice — novi
- K — Navijalci žice — stari
- L — Transportna žičnica — stara
- M — Razkladalni stroj za žico — nov

- N — Podajni podest za peč — nov
- P — Potisna peč — nova
- R — Izstisni stroj — nov
- S — Valjčnice — stare
- T — Dvižna miza — nova
- V — Valjčnice — stare

so z najmodernejšimi prednapetimi ogrodji in valji na kotalne ležaje praktično izločeni, posebno še, ker je predvideno valjanje samo na dve žili istočasno.

Posamezne konstrukcijske izvedbe švedskih valjčnih ogrodij so prikazane na slikah 2—4.

Vsa ogrodja so izvedena tako, da se gornji del pri menjavi valjev lahko odstrani. Vertikalna regulacija valjev se izvaja z električnim pogonom preko polževega prenosa za obe polovici ogrodja istočasno. Vrednost nastavitve se odčita na posebni merni napravi. Končna ogrodja nimajo električnega pogona za nastavljanje valjev, pač pa ročni način, s katerim se valji vertikalno regulirajo na obeh polovicah ogrodja istočasno. Od valjavskega pribora so novost njihova vodila za oval s kalibriranimi valjčki. Za razliko od našega sistema valjanja vodijo s krožnimi vodili oval vedno od zgoraj navzdol, pri menjalnem duo-sistemu proge. Krožna vodila za ovalni in kvadratni presek valjanca so opremljena s pnevmatskimi škarjami za rezanje poizkusnih ali slabih koncev valjanca med obratovanjem.

Ogrodja so pritrjena na posebne prizme z vijaki in jih je po potrebi možno zelo hitro demonstirati, odnosno zamenjati.

## II. Zmogljivosti rekonstruirane valjarne

Rentabilnost modernizacije je poleg ostalih elementov zelo odvisna od izboljšanja kvalitete proizvodnje, še bolj pa od povečanja njene količine. Teoretski izračun zmogljivosti valjarne po modernizaciji zadovoljuje naše zahteve za 100.000 ton žice letno in ga tule navajamo:

Končna hitrost valjanja bo približno 17 m/s pri valjanju na dve žili. Teoretska zmogljivost naprave pri enournem valjanju žice 5.5  $\phi$  na dve žili je:

$$T = V \cdot G \cdot t \quad \text{hitrost valjanja } V = 17 \text{ m/s}$$

$$T = 2(17 \cdot 0,18 \cdot 3600) \quad \text{teža 1 m žice}$$

$$5,5 \phi \quad G = 0,18 \text{ kg}$$

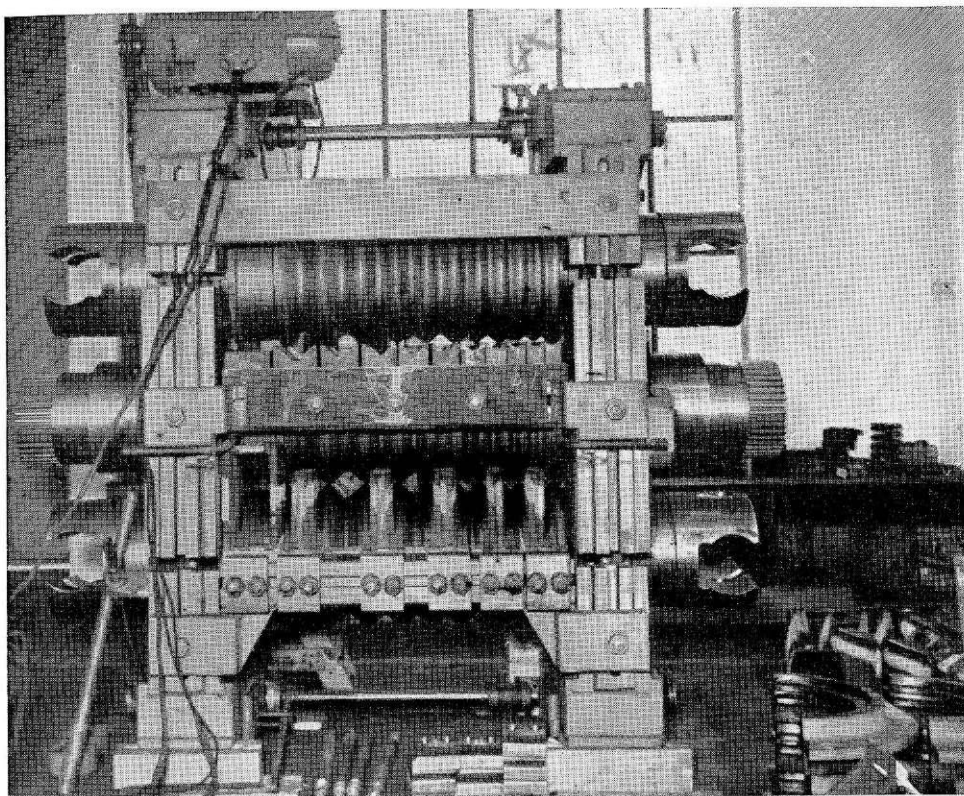
$$T = 22.032 \text{ kg na uro} \quad \text{štev. sek. na uro } t = 3600$$

$$\text{zmogljivost}$$

$$\text{na uro} \quad T = \text{kg}$$

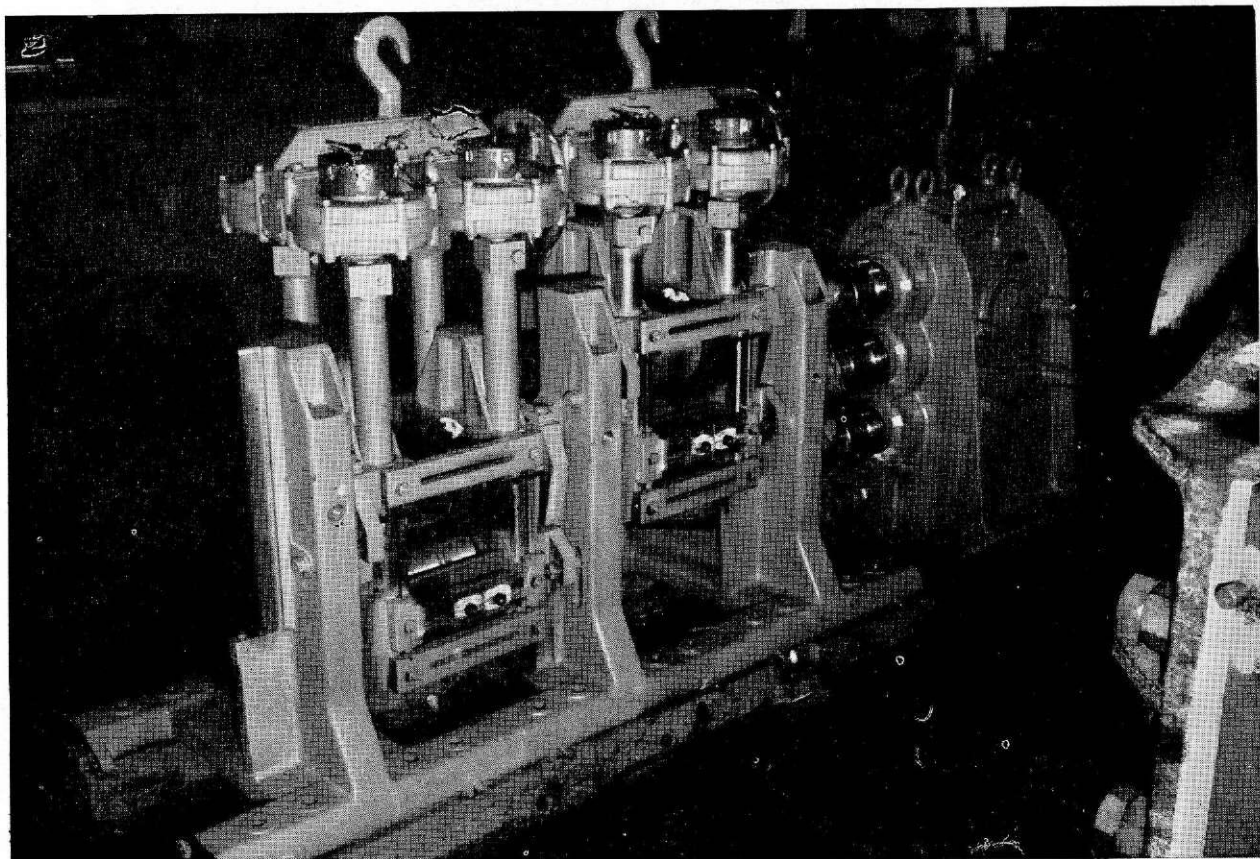
Praktična zmogljivost znaša po švedskih navedbah na njihovih progah 70 % od teoretične, kar bi v našem primeru pomenilo:  $22.032 \cdot 0,70 = 15.422 \text{ kg na uro}$  ali pri 6.960 urah obratovanja časa brez ozkih grl

15,4 t/h. 6960 — približno 107.000 ton žice letno.

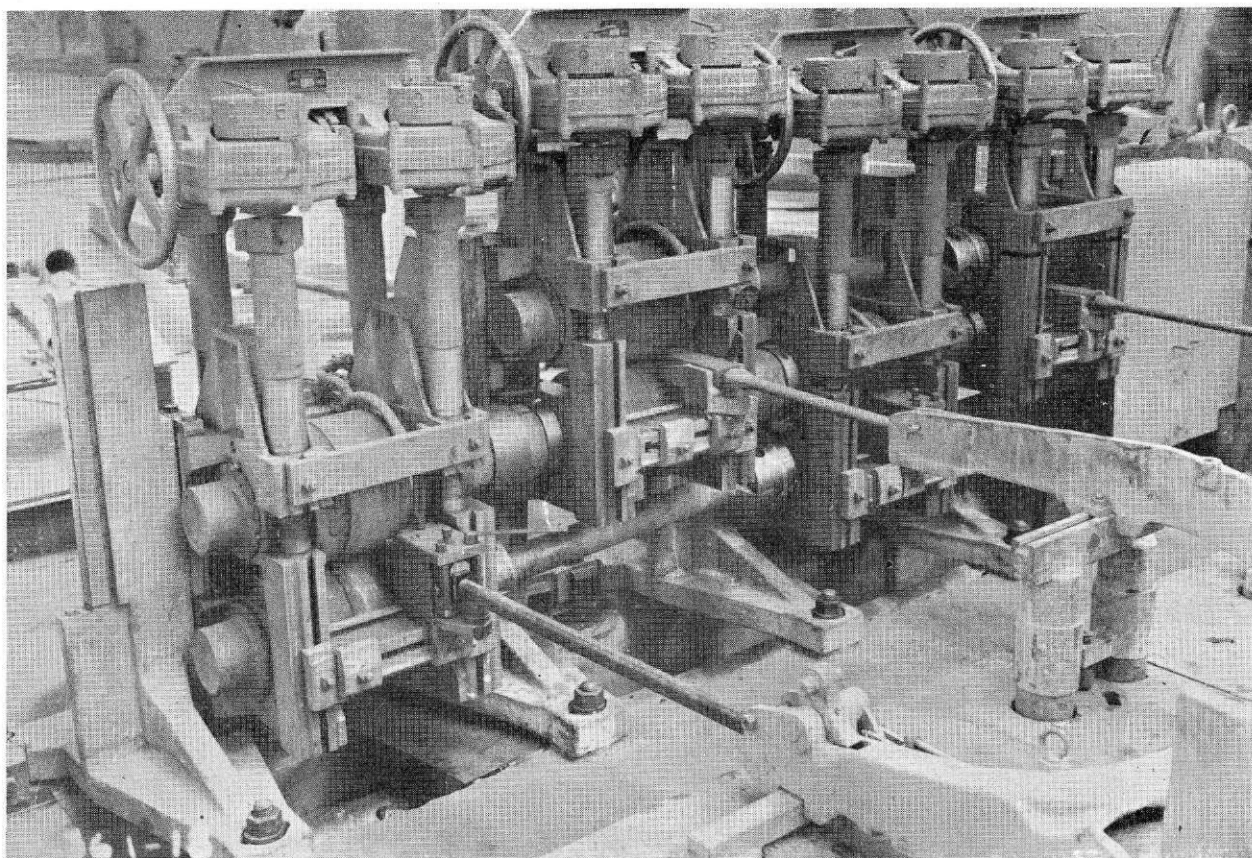


Slika 2 —  
Ogrodje predproge

Slika 3 — Končno ogrodje







Slika 4 — Končna proga z vodili

Sedanje ozko grlo proizvodnje na progi 330  $\varnothing$  je v projektu odstranjeno z novim pogonom, s katerim bo lahko prilagoditi hitrost te proge s progo 270  $\varnothing$ .

### III. Modernizacija procesa valjanja z novimi agregati

Bodoče valjanje žice na drugem ogrodju 460  $\varnothing$  je predvideno iz gredic 90  $\varnothing$ . Težko fizično delo, ki ga morajo valjavci danes opravljati pri valjanju žice iz gredic na tem ogrodju, prevzamejo krožna vodila in ustrezna dvižna miza. Po dosedanjih izračunih obstoječi pogon proge 460  $\varnothing$  ne bo zadoščal za novi sistem valjanja, ker bo istočasno več valjancev naenkrat v progi, dočim je sedaj samo eden.

Valjanje na stari progi 330  $\varnothing$  bo popolnoma mehanizirano s krožnimi vodili za valjance ovalnega in kvadratnega preseka. Na vsakem ogrodju je predvidena samo ena prevleka in ne dve oziroma tri, kakor sedaj. Vodno turbino zamenja nov motor 660 KW z reduktorjem in grebenjaki.

Končna proga 270  $\varnothing$  se zmanjša od 9 na 7 ogrodij. Od drugega na tretje ogrodje se predvideva krožno vodilo za oval na dve žili; ročno zankanje ostane še pri ostalih štirih ogrodjih stare proge

na dveh delovnih mestih. Električna pogona te proge ostaneta stara.

Rezanje prvih slabih koncev valjanca med valjanjem je predvideno avtomatično z novimi letječimi škarjami pred vstopom v novi del končne proge.

Novi del končne proge, ki obsega trikrat po dvoje ogrodij, je v celoti mehaniziran in to s krožnimi vodili za valjance kvadratnega in ovalnega preseka. Vsak par je gnan z motorjem 660 KW.

Zaradi velike končne hitrosti valjanja približno 17 m/s ne bodo odgovarjali stari navijalci žice. V projektu so predvideni štirje novi za hitrosti navijanja do 25 m/s. Stari navijalci bi ostali za navijanje žice od 8  $\varnothing$ —16  $\varnothing$ , nove, montirali bi jih v sosedno polje, pa bi uporabljali od 5.5—8  $\varnothing$ .

Mehanizirano valjarno bo posluževal valjavec, ki ne bo imel veliko skupnega z likom valjavca, kakršnega poznamo danes. Fizični napor postopoma izgublja svojo funkcijo, neprimerno več pa bo moral kvalificiran ali visokokvalificiran delavec vedeti o modernih pogonih valjavskih prog, regulacijah hitrosti valjanja, vlečnih aparatih, fotoceličnih sistemih za odrejanje dolžin odrezkov, dajanju impulzov za spremembe hitrosti valjanja, o novih konstrukcijah valjčnih ogrodij, z regulacijskim sistemom za spremembo položaja valjev,

novih tipih kardanskih sklopnih vreten ter zakonitosti kontinuiranega valjanja, ki se predvideva.

#### IV. Osnovni podatki modernizirane proge

| Zap. št.                                         | Karakteristika | mere Enota                   | Vrednost     |
|--------------------------------------------------|----------------|------------------------------|--------------|
| 1. Začetni profili                               |                | mm                           | 90 $\square$ |
| 2. Teža vložka                                   |                | kg                           | 150          |
| 3. Teža kolobarja žice                           |                | kg                           | 135          |
| 4. Štev. žil na konč. ogrodju                    |                | število                      | 2            |
| 5. Začet. hitrost valjanja                       |                | m/s                          | 3,25         |
| 6. Končna hitrost valjanja                       |                | m/s                          | 17           |
| 7. Teoretična storitev na uro                    |                | ton/h                        | 22           |
| 8. Praktična storitev na uro                     |                | ton/h                        | 15,4         |
| 9. Praktična letna kapaciteta                    |                | ton                          | 107.000      |
| 10. Število valjčnih ogrodij                     |                | kos.                         | 19           |
| 11. Moč glavnih pogonov                          |                | KW                           | 5.820        |
| 12. Regulacija obratov                           |                | istosmer. mot.               |              |
| 13. Način pogona                                 |                | skupinski                    |              |
| 14. $\varnothing$ valjev proge 460 $\varnothing$ | mm             | 415—480 $\varnothing$        |              |
| 15. $\varnothing$ valjev proge 330 $\varnothing$ | mm             | 310—350 $\varnothing$        |              |
| 16. $\varnothing$ valjev proge 270 $\varnothing$ | mm             | 250—290 $\varnothing$        |              |
| 17. $\varnothing$ valjev nove končne proge       | mm             | 250—300 $\varnothing$        |              |
| 18. Vrsta sklopnih vreten                        |                | kardanska                    |              |
| 19. Vrsta ležajev valjev                         |                | kotalni                      |              |
| 20. Toleranca žice                               | mm             | $\pm 0,15$                   |              |
| 21. Program valjanja — žica $\varnothing$        | mm             | 5,5—16 $\varnothing$         |              |
| 22. Program valjanja — žica $\square$            | mm             | $4,2 \times 4,8—5 \times 11$ |              |
| 23. Štev. zaposlenih na 3 izmene                 | št.            | cca 85                       |              |

#### V. Zaključek

Iz projektov rekonstrukcije, ki so nam bili dostavljeni in z avtorji tehnično kolavdirani, moramo sedaj izbrati najbolj primerne za našo železarno.

Odločitev bi bila neprimerno lažja, če bi imeli nalogo predlagati za valjanje žice tehnično najbolj dovršen tip naprave, delikatna pa je, ker pri izbiri posameznih agregatov ne odloča stopnja dosežene tehnike na tem področju, temveč omejena finančna sredstva, na katera lahko železarna realno računa.

Analogno prejšnji osnovni ugotovitvi lahko pričakujemo potem od rekonstrukcije le občutno izboljšanje sedanjega stanja. To bo osnovno merilo za presojo predloženih projektov rekonstrukcije »DANIELI«, »POMINI« - Italija in NICKELS & TODSEN« - Švedska, od katerih lahko izberemo vsaj relativno najboljšega z ustrežno primerjavo po kriterijih, ki so bistveni za proces valjanja in za presojo projektiranih naprav.

## Poskusno taljenje bobovca v vetrni peči v Studorju

Redki so kraji na Gorenjskem, kjer bi se zgodovina človeka povezovala v takem zaporedju kot v Bohinju, saj so prav tu lepo zaznavni ostanki kamene, bronaste in železne dobe. Po starosti železarstva Bohinj ne zaostaja za drugimi najstarejšimi železarskimi središči v Evropi. Železarstvo se tod pričinja že v pradavnini s Karni — ilirskega rodu, tedanjimi prebivavci Bohinja, in se konča s smrtnim udarcem — po več kot 2500-letnem obdobju — s požarom najpomembnejšega bohinjskega železarskega obrata v Bohinjski Bistrici — dne 18. 10. 1890.

Spodnja kot zgornja bohinjska dolina, ki ju loči zajeten hrib, je že od nekdaj slovela po noriškem železu, ki so ga tu pridobivali iz lahko taljive železne rude bobovca. Višje in nižje gore, ki obdajajo bohinjski dolini, pa so vse polne ostankov kopišč, ajdovskih rudišč in tovarniških poti, po katerih se je v pradavnini in tudi v važnejših obdobjih za časa Karnov, Rimljanov in Slovanov tovorila ruda in železo. Glede na bronaste najdbe je treba omeniti tudi planino Lipanco.

Dolgo je bila zgodovina Bohinja javnosti in znanosti neznana. Pisana zgodovina železarskega Bohinja se pričinja šele v 17. stoletju, za kar gre hvala Valvasorju, v 18. stoletju pa znamenitemu Francozu Hacquetu. Devetnajsto stoletje pa je morda najpomembnejše, tako za zgodovinarje, kot tudi za tiste metalurge, ki proučujejo razvojno tehniko železarstva pri nas. To stoletje je prineslo velika odkritja, tako npr. Ajdovski gradec, ki ga smatramo danes za zibelko in spomenik gorenjskega železarstva. Prvič omenja Ajdovski gradec zgodovinar Richter 1821. leta v prispevku »Die Wochein«, ki ga je objavil v Illyrisches Blatt (Ilirski list). Zaradi poznejšega »Costovega potopisa«, v katerem avtor razpravlja o najdbah na Ajdovskem gradu, ki sta jih izkopala bistriški učitelj Jakob Mencinger in kaplan Janez Brencce, je postal Ajdovski gradec še bolj pomemben. Te vesti so privabile z Dunaja znamenitega geologa A. plem. Morlota. S pomočjo Bistričanov in ob strokovnem sodelovanju Franceta Sprunga (upravitelja Zoisovih fužin v Bohinju), je Morlotu uspelo



Slika 1 — Ajdovski gradec



odkriti temelje bohinjskega železarstva. Lotili so se obsežnih izkopavanj in proučili tehniko prve bohinjske železarske industrije. Franc Sprung, kasnejši profesor na Montanistični visoki šoli v Leobnu, je skrbno proučil delo starih bohinjskih železarjev in dal znanosti važne zaključke.

Morlot in Sprung sta ugotovila, da je bil Ajdovski gradec železarska postojanka Karnov in pozneje rimska železarna. Dolgo časa je bil Ajdovski gradec močno utrjena vojaška postojanka in varuh trgovske poti, ki je vodila čez dvojce sedel — Bačo in Suho proti Tolminu in Ogleju v Lombardiji.

Leta 1888. in 1889. so v zgornji bohinjski dolini na griču Dunaj pri Jereki našli bronaste in železne predmete. Važno odkritje je bila železna žlindra, kar je dalo slutiti, da so bila na griču Dunaju in Trebežu tudi prastara železarska topilna ognjišča.

Od izkopavanj, ki sta jih v Bohinju izvedla Morlot in Windischgratz, je na področju raziskovanj minilo daljše obdobje. Šele 1937. leta je ponovno začel raziskovati arheološka tla — Ajdovski gradec in Bitenjsko polje naš rojak (doma iz okolice Kranja), znameniti arheolog dr. Valter Šmid. Njegova odkritja so obogatila zgodovino Bohinja, saj mu je uspelo odgrniti zaveso nad 2500-letnim železarstvom in s tem uvrstiti Bohinj med najstarejše železarske postojanke v Evropi.

Valter Šmid je dopolnil delo Morlota in Sprunga ter Windischgratza in raziskal še druga področja v Bohinju. Velike uspehe je imel poleg Ajdovskega gradca še na Bitnjah, Dunaju pri Jereki, Srednji vasi, na Žlanu ter Koritih pri Nomenju.

Dvaindvajset let po Šmidu sta arheologa Valič iz Kranja in Gabrovec iz Ljubljane ponovno raziskovala na Dunaju pri Jereki in Srednji vasi. Na Dunaju in Trebežu pri najdbah ni bilo dosti uspeha. Pri sondiranju so našli le osem rimskih nov-

cev, ki spadajo v dobo od nastopa Valentiniana I. leta 364 pa do smrti Teodozija I. v letu 395. n. e.

Pomembnejši sta najdeni železni noževi konici, izkopani iz grobov v Srednji vasi. Čeprav ju ni mogoče časovno opredeliti, sta glede na kvaliteto in obdelavo pomembni najdbi. Predvsem je zanimiva konica z oznako sonda 1. Kemična analiza se glasi:

C 1,72 Si 0,01 Mn 0,12 P 0,003 S 0,007

Rezilo je izdelano iz visokoogljičnega jekla s heterogeno strukturo. Sama rezina ima strukturo lamelnega perlita z izločenim cementitom v obliki mreže. Zaradi hitrega ohlajevanja se je izločil cementit v kristalih, ki imajo Widmannstaetenske oblike. Nasprotna stran rezila pa kaže v strukturi še delni vpliv toplotne obdelave. Zaradi žarenja pri temperaturi 750° C je prišlo do kaogulacije cementita.

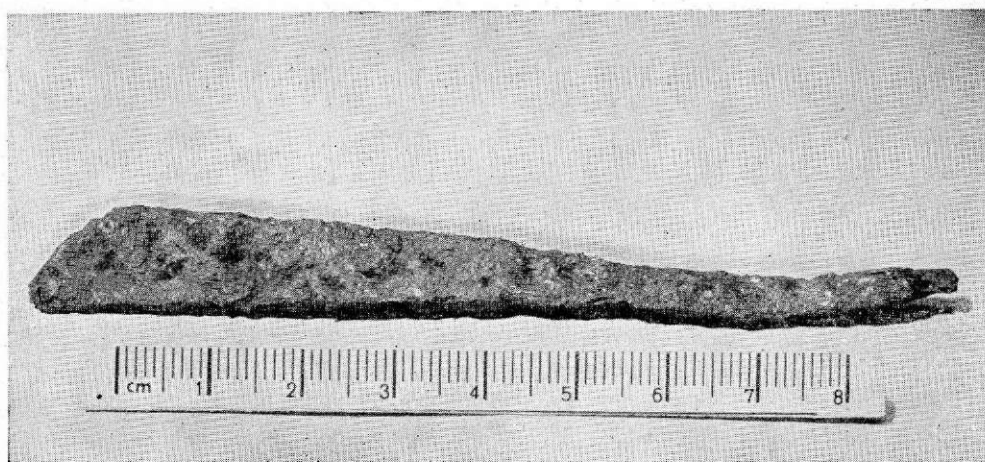
Iz navedenega sledi, da je bil nož skovan iz mehko žarjenega visokoogljičnega jekla, rezilo pa je bilo namenoma ohlajeno, da je bila dosežena večja trdota in s tem rezilnost noža.

Od Karnov do naselitve Slovanov v Bohinju se je ohranilo razmeroma malo železnih predmetov. Zob časa je skoraj vse uničil. Na železarskih tleh pa je ostala žlindra, iz katere se danes učimo in sklepamo o kakovosti železa, ki je bilo znano daleč onstran bohinjskih gora v italjskih deželah.

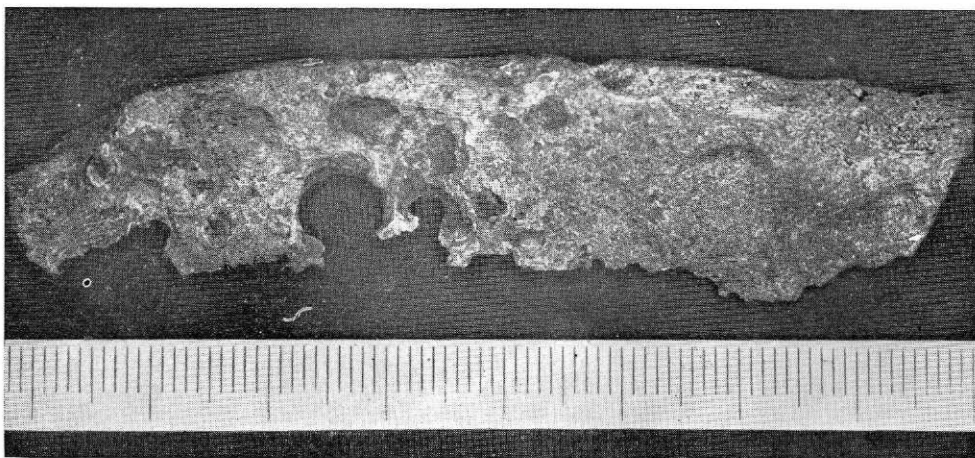
#### **PRISPEVEK TEHNIŠKEGA ŽELEZARSKEGA MUZEJA ŽJ K ŽELEZARSKI ZGODOVINI BOHINJA**

Tehniški železarski muzej je s pomočjo svojih sodelavcev večkrat proučeval staro železarsko in rudarsko dejavnost Bohinja. Sodelavci so zbirali gradivo in študirali objavljena dela starejših raziskovalcev.

Po prizadevnem raziskovanju je bila 4. 1. 1959 odkrita do tedaj nepoznana prazgodovinska železarska postojanka Studor v zgornji bohinjski do-



Slika 2 — Železno dleto z Ajdovskega gradca — (V. Šmid)



Slika 3 — Rezilo — sonda 1

lini. S tem je bil sklenjen trikot najstarejših železarskih krajev v Bohinju, ki so začeli propadati ob zatonu rimskega imperija. Od leta 1959 do danes smo v Studorju odkrili mnogo pomembnih reči, ki v marsičem dopolnjujejo zgodovino bohinskega železarstva.

Pod hribom Studor smo z dijaki TSŠ Železarne Jesenice na obsežnem kamenitem plazju našli gosto, težko, črno železno žlindro, ostanke pečnih oblog, neobdelano železo in bobovec. Najdišča z žlindro smo opazili tudi nad samo vasjo Studor v smeri proti Srednji vasi.

Zaradi številnih najdišč žlindre smo sklepali, da je bila železarska dejavnost izredno močna. Ko smo raziskali teren, na katerem ni vodne sile, smo prišli do zaključkov, da je bilo železarstvo na stopnji vetrnih peči, brez mehov. Teren je bil za tak tip peči izredno primeren, saj piha v jeseni in pozimi močan veter od Bohinskega jezera ali pa od Jereke.

Po terenskih in laboratorijskih raziskavah smo prišli do zaključka, da je v Studorju topilništvo prenehalo s pečjo na veter prav v tistih časih kot na Dunaju pri Jereki.

Žlindre v Studorju so črne, težko tekočega izgleda, z visoko vsebnostjo zaostalega, nezreduciranega železa. Visoka vsebnost železa je tipičen primer, ki potrjuje starost topilništva in primitivno tehniko pridobivanja železa. V primerjavi z žlindrami z Ajdovskega gradca in Dunaja pri Jereki ni razlik, tako da jih lahko uvrstimo v isto obdobje, če ne še v starejše.

Pečne obloge so po barvi in izgledu dvojne: rdečkaste in sive, enake kot na Ajdovskem gradcu in Dunaju pri Jereki. Nezgorelo in zaostalo oglje v žlindrah kaže strukturo bukovega lesa.

Neobdelano železo, ki smo ga našli pri eni izmed takšnih vetrnih peči s Studorja, je bilo

metalografsko preiskano in je kazalo zelo heterogeno strukturo. Na enem delu lahko opazimo mala zrna nizkoogljičnega železa s popolnoma feritno strukturo, neenakomerno posejana med oksidno žlindro. V drugem delu vzorca pa lahko opazimo bolj groba zrna železa z višjim ogljikom z Widmannstaettensko porazdelitvijo ferita in perlita, ker reakcija med žlindro in ogljikom zaradi grobozrnatosti še ni bila popolnoma dokončana.

#### Akcija Tehniškega muzeja ŽJ v Studorju

Člane Tehniškega muzeja ŽJ je že dalj časa zanimalo, kako so v antičnih topilnicah pridobivali železo. Odločili smo se za gradnjo vetrne peči v Studorju, na mestu, kjer smo našli največ žlindre. Preštudirali smo domače in tuje prispevke, ki govorijo o načinu pridobivanja železa iz lahko taljivih limonitnih bobovcev. Najtežje smo se odločili za to, kakšne dimenzije naj bi imela naša peč, ker smo se hoteli prilagoditi topilništvu naših krajev in malim količinam bobovca, ki smo ga imeli na razpolago.

Navzlic številnim najdbam in skrbno zbranim eksponatom smo se zavedali, da o delovanju vetrne peči praktično še ničesar ne vemo. Tudi izreka grškega pesnika Homerja nismo prezrli, ki je dejal: »Železo je s trdom pridobljena kovina.«

Dne 19. 7. 1961 je 7-članska ekipa pričela s terenskimi deli na kamnitem plazju pod hribom Studor. Na mestu, ki je približno 10 m pod bivšo rudarsko stezo, smo posekali grmičevje in uredili prostor za gradnjo in posluževanje vetrne peči.

V zemlji med dvema skalama smo izkopali temelj, ki je bil predviden za ognjišče in dovod zraka. Pri gradnji peči smo uporabljali kamenje izpod sten Studorja, ilovico smo dobili iz Zalaz, onstran potoka Ribnica, zemljo za toplotno izolacijo pa z vrha studorskega pašnika ob poti, ki vodi k Blatcam.

Surovine za vetrno peč so imele naslednjo kemično sestavo:

|                                | Dolomitno kamenje | Ilovica | Zemlja za toplotno izolacijo |
|--------------------------------|-------------------|---------|------------------------------|
| SiO <sub>2</sub>               | 0,80              | 30,10   | 42,22                        |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 1,30              | 7,79    | 17,22                        |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 2,10              | 3,36    | 2,95                         |
| Mn <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | —                 | —       | 0,73                         |
| CaO                            | 39,08             | 27,04   | 4,37                         |
| MgO                            | 15,20             | 4,32    | 2,00                         |
| P <sub>2</sub> O <sub>3</sub>  | —                 | 0,05    | 0,55                         |
| SO <sub>3</sub>                | 0,05              | 0,20    | 0,40                         |
| žaroizguba                     | 40,98             | 26,22   | 28,82                        |

Tališče, termične spremembe pri ilovici in zemlji za toplotno izolacijo:

ilovica SK + 0,2a = 1070° C

zemlja za toplotno izolacijo: SK 1a = 1100° C

Dimenzije vetrne peči:

višina peči: 1400 mm

premeri po dolžini od vrha do tal: 190, 200, 250 mm

debelina stene iz ilovice: 40 mm

(dno in gnezdo ojačeno)

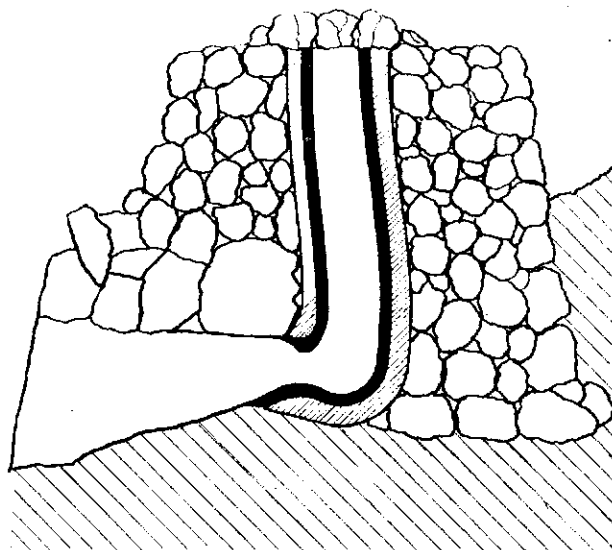
debelina toplotne izolacije: 80 mm

Volumen peči je bil razmeroma manjši od drugih peči, najdenih na Dolcnjskem in po raznih drugih krajih v Evropi, ki jih omenjajo tuji avtorji. To smo napravili iz dveh razlogov. En razlog je bil ta, da smo imeli na razpolago zelo malo bobovca, ker so nam bogata ležišča pravega bobovca neznana. Drug razlog je bil pa ta, da smo se delno oslanjali na volka antične topilnice iz savskih jam (Karlov rov), ki je imel premer 10 cm in višino 5 cm. To se pravi, da je bila peč še manjših dimenzij.

Za predkurjenje, to je sušenje peči, in ogrevanje zraka smo uporabljali dračje, bukovce in gabrove veje. Za redukcijsko gorivo pa nam je služilo bukovno lesno oglje s kalorično vrednostjo preko 7000 kalorij za kg.

Bukovo oglje:

| C     | H    | S cel. | S gorlj. | O + N | pepel |
|-------|------|--------|----------|-------|-------|
| 88,52 | 1,94 | 0,08   | 0,05     | 6,03  | 3,46  |



Slika 4 — Prerez vetrne peči v Studorju

Analiza pepela oglja:

| SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Mn <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | CaO   | MgO   | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | SO <sub>3</sub> |
|------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------|-------|-------------------------------|-----------------|
| 10,28            | 0,80                           | 8,24                           | 0,80                           | 33,74 | 28,28 | 3,06                          | 2,90            |

Pri zakladanju vetrne peči smo se posluževali šestih vrst limonitne železne rude, to je bobovca in nebobovca. Za nebobovec smo smatrali tisto vrsto rude, ki je sicer kemično prav tako limonit, vendar nima tistih fizikalnih lastnosti kot bobovec. Pri fizikalnih lastnostih sta mišljeni sarňo oblika in izgled površine.

Uporabljene limonitne rude:

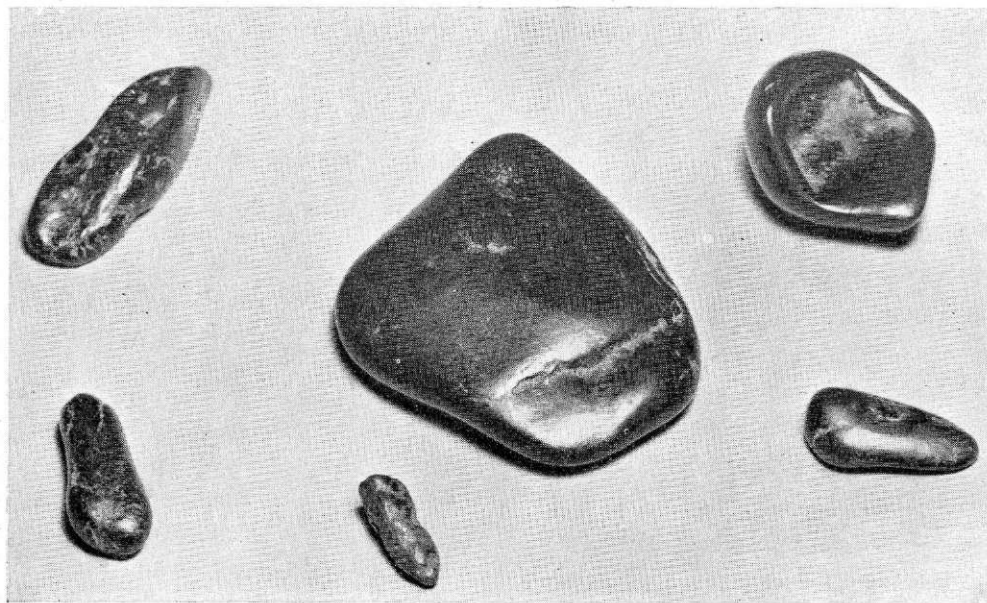
|                                    | Dedno polje deb. bobovec | Dedno polje drob. bobovec | Rudno polje bobovec | Rudno polje limonit, ne bobovec | Sp. Gorjuše bobovec | Sp. Gorjuše limonit, ne bobovec |
|------------------------------------|--------------------------|---------------------------|---------------------|---------------------------------|---------------------|---------------------------------|
| SiO <sub>2</sub>                   | 1,70                     | 1,80                      | 1,10                | 2,40                            | 2,06                | 5,68                            |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>     | 0,18                     | 0,65                      | sled.               | 0,30                            | 0,84                | 0,32                            |
| FeO                                | 83,35                    | 83,35                     | 84,54               | 83,05                           | 78,73               | 76,77                           |
| Mn <sub>2</sub> O <sub>3</sub>     | 0,36                     | 0,36                      | 0,57                | 0,20                            | 0,18                | 0,73                            |
| CaO                                | 0,90                     | 0,70                      | —                   | 1,26                            | 1,90                | 0,90                            |
| MgO                                | 0,16                     | 0,25                      | sled.               | 0,72                            | —                   | 0,56                            |
| P <sub>2</sub> O <sub>3</sub>      | 0,14                     | 0,15                      | 0,3                 | 0,37                            | 0,37                | 0,62                            |
| SO <sub>3</sub>                    | 0,10                     | 0,10                      | 0,20                | 0,07                            | 0,07                | 0,12                            |
| CO <sub>2</sub> + H <sub>2</sub> O | 11,34                    | 10,76                     | 10,8                | 11,28                           | 11,84               | 11,34                           |

Ruda z Dednega polja je bila čist bobovec, pomešan z drobnimi zrni apnenca in kremenca. Dimenzija bobovca je bila neenakomerna: od 1 mm do 1 cm. Največ je bilo drobiža. Za poskus smo uporabili prebrano rudo.

Zaradi nezadostnih količin bobovca smo iskali rudo še v Spodnjih Gorjušah pri starih jamah (Brezno). Tam smo ga našli le manjše količine, precej več pa nebobovca. Nebobovec se je razlikoval od bobovca tudi po tem, da je bil revnejši na železu. Bobovec smo iskali tudi na Rudnem polju v smeri proti Lipanjski planini, dobili pa smo le manjše količine, tako da za poskus ni prišel v poštev. Nabrali smo le nebobovec.

Na razžarjeno oglje smo dali ponovno rudo ali ostanke od prejšnjega zalaganja. Ko pa nismo dodali več rude, smo peč založili čez noč do vrha z ogljem. Celoten proces je trajal od jutra do naslednjega jutra.

V času poskusov smo izvedli šest polnitev z različno rudo. Uporabili smo surovo in takšno, ki je padla skozi peč, ne da bi se izvršila popolna redukcija. Delo in rezultati so nam pokazali, da je v peči preizkušena temperatura in da se pri poskusih najbolj obnese debel bobovec, medtem ko sta drobni bobovec in nebobova ruda padla skozi. Drobni bobovec, pobran iz peči, smo pri drugi polnitvi ponovno uporabili in dobili namesto že-



Slika 5 — Bohinjski bobovec

Mnenje strokovnjakov-metalurgov je, da je pridobivanje železa iz limonitov, predvsem iz bobovca, enostavno. Trdijo pa tudi, da pri vetrnih pečeh niso delali z visokimi temperaturami, zato smo tudi mi upali na uspeh.

Že v začetku nas je motilo to, da za poskuse ni bil izbran pravi letni čas. Poskušati bi morali pozno v jeseni, ko v Studorju piha močan veter. Mi vetra praktično skoraj nismo imeli, le kakšno uro je pihal (okrog 11. ure dopoldne).

Ko smo peč gradili, smo imeli slabo vreme z dežjem. V času taljenja rude pa vse dni lepo vreme.

V predkurišču, to je dovodni prostor za zrak, smo zakurili ogenj, da bi segreli peč. Ko je bila peč močno segreta, smo jo založili z ogljem, ki se je čez čas samo vžgalo. Oglja smo naložili do polovice peči in čakali, da je prišel ogenj do vrha. V močno razžarjeno peč, ki je imela v talilniku temperaturo 800° C, smo založili rudo in nato nasuli oglja. Temperatura v peči je padla na 650° C, ko pa je ogenj prodril skozi plast naloženega oglja, je znašala temperatura 710° C.

leza sinter, ki smo ga zopet uporabili. Šele v tretjem slučaju se je izvedla redukcija. Z ostalo rudo z Rudnega polja je bilo še slabše. Do končne redukcije ni prišla nikoli. Do katere stopnje so se zreducirale železne rude, je razvidno iz analiz.

Za poskuse smo uporabili: za enkratno zalaganje v treh primerih povprečno 12 do 14 kg lesnega oglja, v dveh primerih pa 20 kg oglja in 6 kg surove rude ali mešanice in povratka. V 5 primerih smo dobili železo v različnih količinah. Največ železa smo dobili v prvem in četrtem primeru, kot je razvidno iz tabele:

- |                                            |       |
|--------------------------------------------|-------|
| 1. zakladanje:                             |       |
| bobovec, Dedno polje                       | 388 g |
| 2. zakladanje:                             |       |
| bobovec, Spodnje Gorjuše                   |       |
| nebobovec, Spodnje Gorjuše                 |       |
| povratek bobovca, Dedno polje              | 34 g  |
| 3. zakladanje:                             |       |
| drobni bobovec, Dedno polje                |       |
| nebobovec, Spodnje Gorjuše                 |       |
| povratek - mešanica od 1. in 2. zakladanja | 5 g   |



#### 4. zakladanje:

drobni bobovec, Dedno polje  
povratek nebobovca, Spodnje Gorjuše  
povratek drobnega bobovca, Dedno polje 121,5 g

#### 5. zakladanje:

drobni bobovec, Dedno polje  
nebobovec, Rudno polje — g

#### 6. zakladanje:

nebobovec, Rudno polje  
bobovec, Rudno polje  
povratek drobnega bobovca, Dedno polje 46 g

V prvem primeru nismo dobili nobene žlindre, pri drugem zakladanju pa smo dobili dvoje vrst žlinder, ki pa nista imeli izrazitega videza.

Žlindri — drugo zakladanje:

| SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | FeO   | Mn <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | CaO  | MgO  | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | SO <sub>3</sub> |
|------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------|--------------------------------|------|------|-------------------------------|-----------------|
| 69,70            | 11,68                          | 10,96                          | 1,03  | sled.                          | 3,69 | 1,60 | 0,46                          | 0,08            |
| 39,34            | 25,42                          | 20,07                          | 10,06 | sled.                          | 1,45 | 1,04 | 0,55                          | 0,08            |

Tudi v tretjem, četrtem in petem primeru smo dobili žlindri podobno snov:

Tretje zakladanje

| SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | FeO  | Mn <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | CaO   | MgO  | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | SO <sub>3</sub> |
|------------------|--------------------------------|--------------------------------|------|--------------------------------|-------|------|-------------------------------|-----------------|
| 34,1             | 10,93                          | 20,64                          | 3,19 | sled.                          | 24,86 | 5,68 | 0,54                          | 0,08            |

Četrto zakladanje

|      |      |       |       |      |      |      |      |      |
|------|------|-------|-------|------|------|------|------|------|
| 6,34 | 0,42 | 48,00 | 35,42 | 0,12 | 3,36 | 0,88 | 0,64 | 0,12 |
|------|------|-------|-------|------|------|------|------|------|

Peto zakladanje

|       |      |       |   |   |       |      |      |      |
|-------|------|-------|---|---|-------|------|------|------|
| 43,58 | 6,84 | 13,92 | — | — | 27,44 | 3,76 | 0,34 | 0,04 |
|-------|------|-------|---|---|-------|------|------|------|

Iz podatkov kemičnih analiz smo ugotovili tudi spremembe, ki so nastale pri limonitnih rudah, ki niso bile vključene v topilniški proces, to je, da se iz njih ni izločilo železo. Tako npr. spremembe bobovca:

| SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | FeO   | Mn <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | CaO  | MgO  | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | SO <sub>3</sub> |
|------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------|--------------------------------|------|------|-------------------------------|-----------------|
| 2,20             | 0,90                           | 75,31                          | 20,33 | 0,72                           | 0,09 | 0,03 | 0,10                          | 0,07            |



Slika 6 — Zunanji izgled vetrne peči

Od prvotnega surovega bobovca se je zvečalo železo od 59,59 % na 68,41 % in mangan od 0,26 % na 0,51 %.

Spremembe so bile opazne tudi pri drobnem bobovcu, tako da je količina železa od prvotnih 59,59 % narasla na 68,72 %.

Tudi nebobove rude so se spremenile v hematitno obliko. Zvišanje železa in ostalih komponent gre na račun razpada karbonatov in odstranitve kristalne vode. Debeli kosi nebobove rude pa tudi debelejšega bobovca so močno razpokani in porozni.

Železo, ki smo ga dobili iz bobovca, je v vseh primerih siva litina; vzrok temu so nizke temperature. V prvem primeru smo dobili štiri kose železa različne kemične sestave, medtem ko smo pri vseh ostalih dobili samo po en kos.

|                  | C    | C graf. | Si   | Mn   | P     | S     |
|------------------|------|---------|------|------|-------|-------|
| 1. zakladanje a) | 3,53 | 3,18    | 2,65 | 0,86 | 0,312 | 0,083 |
| b)               | 3,70 | 3,62    | 3,45 | 1,03 | 0,38  | 0,032 |
| c)               | 2,28 | 1,72    | 2,05 | 0,74 | 0,172 | 0,072 |
| č)               | 2,92 | 1,88    | 1,50 | 0,80 | 0,104 | 0,078 |
| 2. zakladanje    | 2,75 | 1,83    | 0,88 | 1,44 | 0,096 | 0,512 |
| 3. zakladanje    | 1,20 | 1,17    | 0,82 | 0,47 | 0,120 | 0,125 |
| 4. zakladanje    | 3,49 | 3,11    | 2,59 | 0,92 | 0,292 | 0,106 |
| 6. zakladanje    | 3,00 | 2,26    | 2,21 | 0,81 | 0,100 | 0,072 |



Slika 6a — Vetrna peč s prednje strani

## Splošne pripombe k preiskavi vzorcev železa:

Metalografsko smo preiskali več vzorcev pozidanih šarž železa, izdelanih v jaškasti peči v Bohinju. Če primerjamo strukture posameznih vzorcev med seboj, lahko ugotovimo, da je struktura vzorcev zelo neheterogena. Na nekaterih vzorcih lahko ugotovimo popolnoma normalno strukturo sive litine, na drugih vzorcih iste šarže pa ugotavljamo tudi večja ali manjša feritna področja. Poleg navedenega vidimo, da obstaja med vzorci iste šarže tudi razlika v obliki kristalizacije grafitu. Mestoma opazimo grobo lističast grafit, mestoma je pa izkristaliziran v evtektski obliki. Nekateri vzorci kažejo popolno razogljčenje, to je strukturo grafitnih lističev na feritni osnovi; v strukturi zasledimo tudi tvorbo fosfidnega evtektika.

Na osnovi vseh vzorcev lahko rečemo, da je bil postopek taljenja rude v peči nekontroliran, kar je imelo za posledico neenakomerno koncentracijsko porazdelitev ogljika, mangana in drugih komponent in tvorbo heterogene strukture. Metalografska preiskava je pokazala, da se je proizvajalo v peči sivo surovo železo. To je popolnoma normalen pojav zaradi visokega odstotka silicija v litini in počasnega ohlajevanja dobljene taline. Da je predpostavka o počasnem ohlajevanju pravilna, potrjujejo tudi vzorci, ki kažejo močno razogljčenje kot posledico dolgotrajnega žarenja pri temperaturah nad 700° C. Vsi vzorci so imeli prvotno v glavnem isto metalografsko strukturo, ki se je pa spremenila pri nekaterih vzorcih zaradi počasnega ohlajevanja oziroma žarenja, pri katerem se je litina razogljčila. Da je ta predpostavka pravilna, kažejo vzorci, na katerih ugotavljamo feritno strukturo z grafitom in pri tem še ohranjen fosfidni evtektik v neizpremenjeni obliki.

Ves proces v jaškasti peči je bil tak, da se je proizvajalo sivo surovo železo, kar je, z ozirom na sestavo (visok odstotek silicija) in relativno nizko temperaturo v peči, popolnoma normalno.

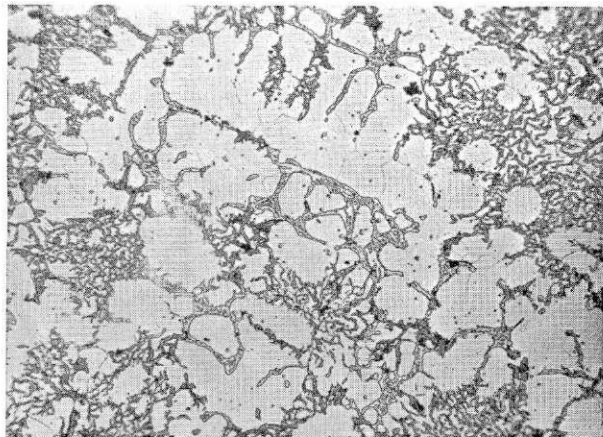
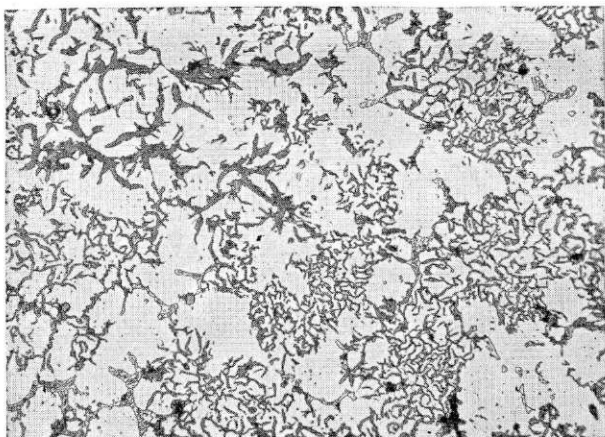
## Metalografske preiskave vzorcev:

### 1. zakladanje:

Vzorec je imel v prvi fazi strukturo sive litine s fosfidnim evtektikom. Grafit je izločen delno v evtektski obliki, delno v podeltektski.

Zaradi pogojev žarenja je bilo doseženo v vzorcu totalno razogljčenje tako, da ima izkristalizirano grafitno fazo na feritni osnovi (Slika 7 — 200 x).

Dejstvo, da imamo med feritom in grafitom v strukturi ohranjeno še področje fosfidnega evtektika (slika 8 — 200 x), potrjuje predpostavko, da je imel vzorec prvotno normalno strukturo sive litine.

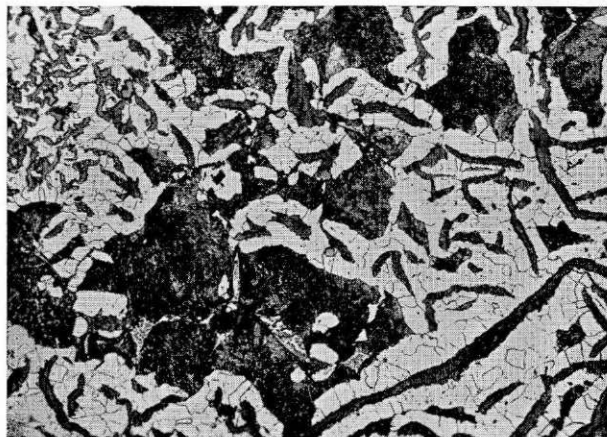
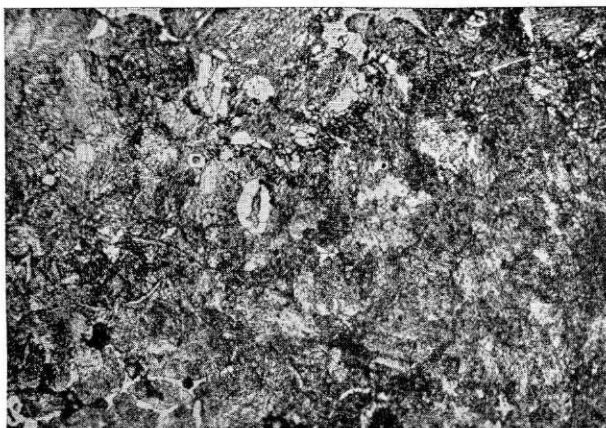


Slika 7 in 8 — Struktura vzorca pri 1. zakladanju

#### 1. zakladanje:

Drugi vzorec prve šarže ima heterogeno strukturo. Med normalno perlitno strukturo s fosfidnim evtektikom opazamo normalno mala področja ferita, ki obkrožajo grafitne lističe (slika 9 —

200 x in slika 10 — 200 x). Feritna področja so neenakomerno porazdeljena po vsem preseku vzorca tako, da bi lahko bilo razogljičenje posledica daljšega žarenja pri temperaturi nad 650° C.



Slika 9 in 10 — Struktura vzorca pri 1. zakladanju

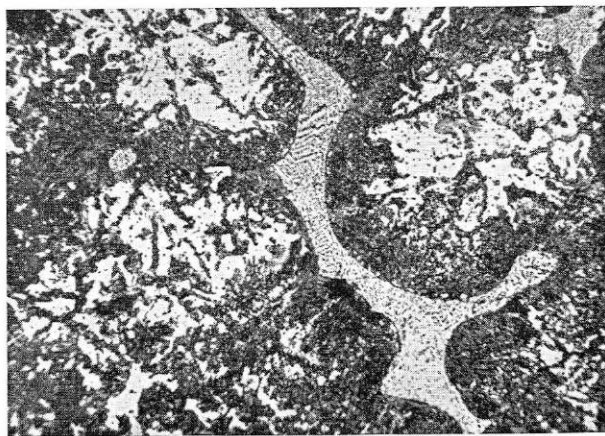
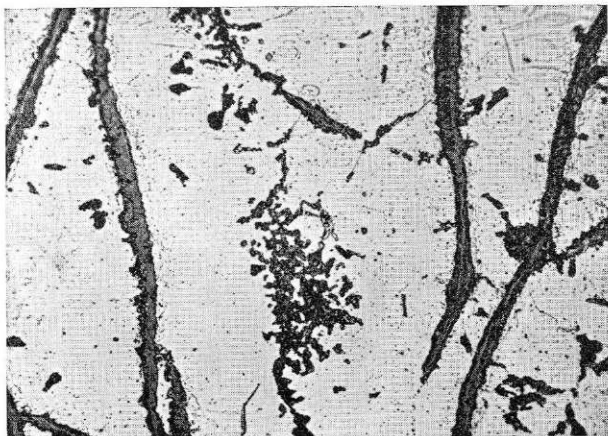
#### 1. zakladanje:

Vzorec ima heterogeno strukturo, kar je posledica žarenja. Mestoma opazamo grobe grafitne lističe, izločene na feritni osnovi (slika 11 — 200 x).

Na drugih mestih zasledimo grafitne lističe v bolj fino zrnati obliki in precejšnje količine fosfidnega evtektika (slika 12 — 200 x).

Področja fosfidnega evtektika so precej razsežna in je obstajala možnost, da se nahaja v strukturi sive litine tudi heterogeno področje bele litine evtektiske sestave. Potrebne metalografske preiskave te domneve niso potrdile.





Slika 11 in 12 — Struktura vzorca pri 1. zakladanju

#### 1. zakladanje:

Vzorec št. 4 ima normalno strukturo sive litine. Na perlitni osnovi so izločeni grafitni lističi (slika 13 — 200 x). Litina je podevtekske sestave.

Mestoma se opazi tudi ostanek fosfidnega evtektika (slika 14 — 200 x).



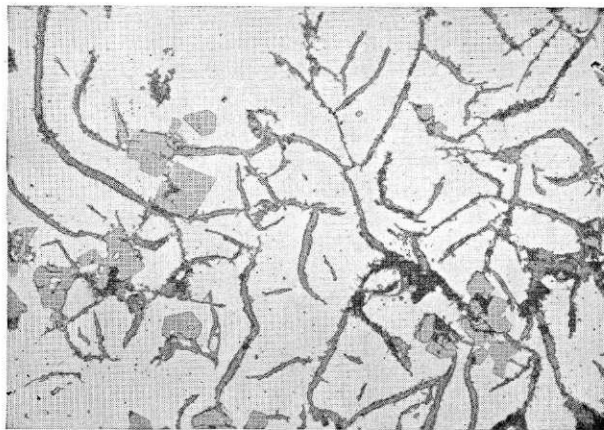
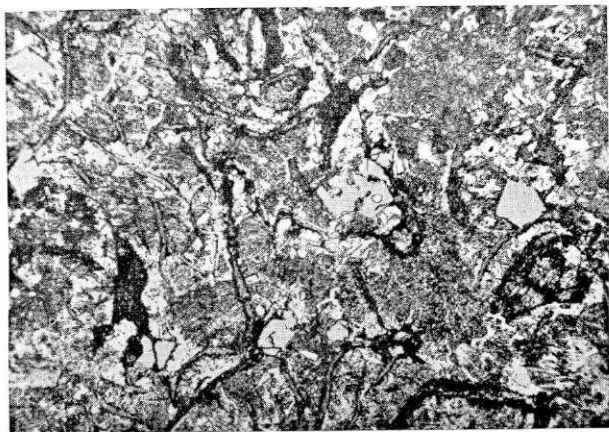
Slika 13 in 14 — Struktura vzorca pri 1. zakladanju

#### 2. zakladanje:

Vzorec ima strukturo sive litine, to je: relativno fine grafitne lističe na perlitni osnovi. Mestoma opazimo grobe vključke manganovega sul-

fida (slika 15 — 200 x). Struktura je heterogena in opazimo mestoma popolnoma razogljčena področja grafitnih lističev na feritni osnovi (slika 16 — 200 x).





Slika 15 in 16 — Slika vzorca pri 2. zakladanju

### 3. zakladanje:

Vzorec ima strukturo sive litine. Fino zrnati grafitni lističi na perlitni osnovi. Tu in tam so v strukturi večja področja fosfidnega eutektika. (Slika 17 — 200 x.)

Mestoma kaže vzorec popolno razogljčenje (slika 18 — 200 x).



Slika 17 in 18 — Struktura vzorca pri 3. zakladanju

### Spremembe na oblogi vetrne peči.

Pri poskusih smo ugotovili, da smo peč prehitro ogreli, zato so na nekaterih mestih nastale razpoke, skozi katere je prihajal mrzel zrak. Posebnih deformacij ni bilo opaziti, razen na višini 350 mm, kjer se je obloga spremenila v gosto gmo-to, podobno žlindri. Pri analizi smo ugotovili naslednje:

| SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | FeO | Mn <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | CaO   | MgO  | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | SO <sub>3</sub> |
|------------------|--------------------------------|--------------------------------|-----|--------------------------------|-------|------|-------------------------------|-----------------|
| 42,4             | 6,96                           | 5,9                            | —   | —                              | 33,82 | 3,76 | 0,34                          | 0,04            |

Primerjalna analiza surove ilovice je našo domnevo potrdila.

Pregledali smo tudi oblogo talilnika (gorišča) in vrha peči. Opaziti ni bilo nobenih sprememb. Iz rezultatov kemične analize pa je razvidno, da je še velik odstotek žaroizgube, kar pomeni, da še ni prišlo do popolne dehidracije. Preiskan je bil tudi pepel po končanem taljenju železa. Kemična preiskava kaže delne spremembe komponent in to zaradi snovi, ki so se pridružile pepelu, predvsem prah obloge.

Po šestih poskusih (šaržih) smo z delom prenehali. Ti poskusi so nam dali bogate izkušnje.

spremljale pa so nas iste težave kot stare mojstre - železarje. Staremu načinu pridobivanja kovnega železa nismo bili kos, pa tudi razno najdeno železo izpričuje neuspehe nekdanjih železarjev.

A. Müllner poroča na strani 85 v svoji knjigi »Geschichte des Eisens in Krain, Görz und Istrien« — Wien 1909. leta takole: »Tam, kjer so se našli ostanki antičnih topilnic npr. Podzemel, Sv. Mihael itd., so se našle litoželezne svinje, ki so bile zavržene. Iz oblik je bilo mogoče sklepati na velikost peči.« Ali pa Morlot (I. c. p. 208): »Na Ajdovskem gradcu so dobili tudi surovo železo.«

Iz našega primera in citatov obeh avtorjev moramo zaključiti, da je pot do pravega kovnega železa težka stvar. Pri naših poskusih smo dalje tudi ugotovili, da morajo biti izpolnjeni tile pogoji:

1. Dober ognjevzdržni material.
2. Prilagojen tip topilnega ognjišča oziroma vetrne peči.
3. Ruda mora biti bobovec — »podrušnica«.
4. Izbira letnega časa, ki je zaradi vetra najugodnejši.

Dne 11. septembra 1961 smo peč ponovno zakurili, da bi potek v vetrni peči naslednjega dne prikazali najavljenim delegatom Tehniškega muzeja Slovenije, pod vodstvom ravnatelja Tehniških muzejev Slovenije, prof. Franca Baša.

Peč smo najprej zakurili v predkurišču, da se je posušila, ker smo predhodno jašek premazali s kvalitetnejšo ilovico. Ko je bila peč suha in zadosti segreta, smo jo založili s prebranim ogljem brez lubja, da bi s tem znižali vsebino fosforja v železu. Z ogljem smo kurili vso noč do drugega dne. V peč smo založili bobovec z Rudnega polja, kjer smo ga že prej ponovno nabrali za eno šaržo. Zaradi ugodnega vetra smo dosegli višje temperature, tako da se nam je obloga nad goriščem deformirala. Rudi smo tokrat dodali drobnega apnenca, da bi znižali silicij v talini. Pri taljenju smo ugotovili, da dosežemo višjo temperaturo tudi s tem, če imamo v predkurišču le žerjavico, preko katere piha vlečni zrak, in ne močan ogenj, dobljen z obilice drv. Iz peči smo dobili tri koščke železa s skupno težo okoli 110 g. Dva koščka sta bila siva litina, tretji — zadnji pa je bil kovno železo, kot je razvidno iz kemične analize.

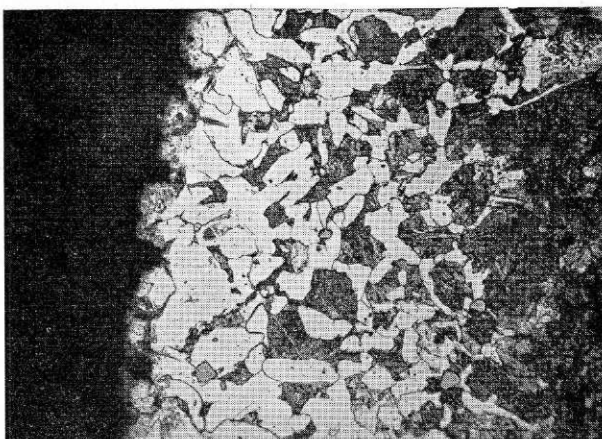
|              | C    | C graf. | Si   | Mn   | P     | S     |
|--------------|------|---------|------|------|-------|-------|
| siva litina  | 2,94 | 2,35    | 1,41 | 0,68 | 0,062 | 0,088 |
| siva litina  | 2,80 | 2,02    | 1,60 | 0,58 | 0,114 | 0,118 |
| kovno železo | 0,80 | —       | 0,30 | 0,14 | 0,058 | 0,039 |

Koliko železa in žlindre je ostalo v razpokah, ni bilo mogoče ugotoviti, ker peči nismo razdrli.

Dobljeno kovno železo smo dali v metalografsko preiskavo, iz katere je razvidno naslednje:

Vzorec predstavlja primer visokoogljičnega jekla nadevtektoidne sestave. Metalografska slika 19

kaže pri 200 x povečavi strukturo vzorca v sredini. Na meji perifernih kristalov imamo izločen sekundarni cementit v obliki mreže, na kristalih samih pa je izločen sekundarni cementit v Widmannstaettenski porazdelitvi.



Slika 19 in 20 — Struktura vzorca pri zadnjem poizkusu

Površina vzorca je precej razogljivena in kaže podevtektično feritno-perlitno strukturo (slika 20 — 200 x). Z ozirom na kristalno strukturo je jeklo kovno.

Dne 12. septembra 1961 so si vetrno peč ogledali muzejski sodelavci iz Ljubljane, Kroke, Tržiča, Idrije in Jesenic. Po ogledu vetrne peči je bil v hotelu Bellevue študijski sestanek in razprava o delovanju vetrne peči v Studorju.

Košček kovnega železa, ki je bil pridobljen v vetrni peči, še ne pomeni končnega uspeha. Delo in študij sta še nedokončana. Sodelavci Tehniškega muzeja pri Železarni Jesenice se bodo še vnaprej trudili, da bo delo te ustanove kar najbolj uspešno in strokovno.

Vsa zahvala za izvedbo tega programa gre delavskemu svetu, upravnemu odboru, vodstvu Železarne, direktorju Tehniškega muzeja tov. Magoliču, sodelavcem tov. F. Ravniku, F. Torkarju, PiBerniku, ing. Gabrovšku in moji ekipi: tov. Urbanu, Dolencu ter dijakom TŠŠ — Iskru, Lagoji, Praprotniku in Podlipniku.

## Bobovci Julijskih Alp

Železna ruda bobovec ali »podružnica«, kakor so jo imenovali rudarji na območju Julijskih Alp, je v mineralogiji glede na njen nastanek in obliko še danes odprto vprašanje. Bobovec pa ni zanimiv le za geologe in mineraloge, temveč je tudi predmet razprav, kako naj bi železarji uspeli iz njega pridobivati železo.

S proučevanjem rud, žlinder, železa in drugih najdb iz železarskih krajev, moremo danes z gotovostjo povedati le to, da je bil nastanek prvih topilnih ognjišč mogoč v Julijskih Alpah ne pa v Karavankah. Razlog za to so prav bobovci, kislalimonitna ruda, ki se je nahajala izključno na območju Julijskih Alp, medtem ko je v Karavankah ni bilo.

Kako pomembni so bili bobovci in njegova uporabnost za pridobivanje železa prav do konca 19. stoletja, nam pričajo ostanki bohinskih antičnih železarskih topilnic. Ajdovski gradec, Dunaj pri Jereki in Studor so bili prvi železarski trias ne le v Bohinju, ampak na celotnem področju tedanjega Norika. Iz teh treh antičnih topilnic se je mnogo pozneje razvila pomembna, tisočletja trajajoča železarska obrt, ki ji je zadal konec požar bistriške fužine 1890. leta in koncentracija železarske industrije na Jesenicah.

Severo-zapadni del Gorenjske ima na svojem področju prastare rudarske in železarske kraje v Julijskih Alpah in Karavankah. Prav zaradi lastnosti in vrste železnih rud moremo železarsko zgodovino časovno in tehnično deliti v dve skupini: alpsko in karavanško. Alpsko železarstvo je imelo v vseh dobah rudno bazo v bobovcih in glinastih železovcih, medtem ko je karavanško železarstvo slonelo na svojstvenih limonitih in navadnih ter manganskih sideritih.

Bohinj je bil zibelka gorenjskega železarstva, ki je tedaj etično že spadal v področje ilirskih Karnov v Soški dolini z isto kulturo kot pri Sv. Luciji. Karni so bili prvi železarji, ki jim je uspelo pridobivati železo že v prvem tisočletju pred našim štetjem, medtem ko so po drugih krajih Gorenjske bili še na stopnji bakrene in bronaste dobe.

Bohinjsko (južno-noriško) železo je bilo znano po vsem Noriku in italjskih deželah. Bohinju so po dolgem obdobju v Alpskem svetu sledili nekateri kraji okrog Železnikov, kjer so železarili tudi Rimljani. Mnogo pozneje pa so nastali železarski kraji z izpopolnjeno tehniko železarstva kot npr.: Železniki, Kropa, Kamna gorica, Kolnica, Spodnja Radovna, Mojstrana in Trenta. V vseh omenjenih železarnah so izkoriščali izključno bobovec. Vsi

našteti železarski kraji niso nastali naenkrat, temveč postopoma z razvojem tehnike topilništva, trgovine in potreb po železu.

Prvotne topilnice so bile po gozdovih Jelovice in obronkih bohinskih gora. V času, ko so se peči povečale, naravni vlek vetra pa so zamenjali mehovi, se je železarstvo preselilo v dolino k vodam. Ob vodah se je železarska dejavnost znatno povečala in v stoletnem razvoju dosegla velike uspehe, ki nam jih danes odkriva železarska zgodovina.

Kako obsežno je bilo alpsko železarstvo, nam še danes pričajo ostanki tisočletih ajdovskih jam, rudnih kotlov, jaškov in breznov na Pokljuki in Jelovici, kjer so pridobivali bobovec in glinasti železovec.

### Rudarstvo v Julijskih Alpah

V prvem tisočletju pred našim štetjem so alpski prebivalci pričeli pridobivati železo na način, kakršen je bil v rabi pri narodih ob Sredozemskem morju. Rudarstvo v Julijskih Alpah je bilo v začetku razmeroma skromno. Le tu in tam je katera družina v poletnih mesecih nabirala rudo in kuhala oglje. V poznem jesenskem času in zgodaj spomladi pa so pridobivali železo. Železo je imelo veliko prednost pred lesenimi, bakrenimi in bronastimi predmeti, zato je bilo cenjeno in je predstavljalo veliko premoženje.

Prvotna rudna polja za bohinske vetrne peči so bila na obronkih Jelovice, Babne gore in Pokljuke. Rudo bobovec so nabirali na površini brez posebnega truda. Vseh železnih rud niso uporabljali naenkrat, čeprav jih je bilo morda več kot bobovcev.

Da so stari železarji uporabljali samo oolitno železno rudo, nam pričajo preostale rudne zaloge pri starih antičnih topilnicah. Nikjer ni bilo mogoče zaslediti glinastih železovcev, edino na Ajdovskem gradu in Dunaju pri Jereki so bili poleg limonitnih bobovcev najdeni tudi bobovci, ki sličejo na hematit.

Prvo obdobje rudarstva in železarstva je prenehalo v Bohinju koncem četrtega stoletja po našem štetju, v času, ko je bil rimski imperij v razsulu. Podatkov, kdaj se je železarska in rudarska dejavnost ponovno pričela, nimamo. Po razpadu rimske države je v alpskih deželah (tudi v Bohinju) postalo življenje nemirno, pričelo se je preseljevanje narodov. Po vsej verjetnosti so prvo železarno na Ajdovskem gradu uničili Avari na svojem pohodu skozi Bohinj. Tudi o Slovanih, ki so se za Avari — v sedmem stoletju — za stalno





Slika 1 — Freska »gorski škrat« na cerkvi sv. Janeza — Bohinjsko jezero, nastala okoli 1350. leta in predstavlja varuha rudnega bogastva pod Triglavom



Slika 2 — Limonitni bobovci — najdeni na Ajdovskem gradcu (Šmidova zbirka)



naselili, nimamo o pričetku rudarstva in železarstva nobenih podatkov. Kaže, da je železarstvo in rudarstvo mirovalo vsaj 500 let. Ponovno so začeli železo pridobivati v Stari Fužini, ki jo leta 1004. omenjajo kot »Staro kladvo«.

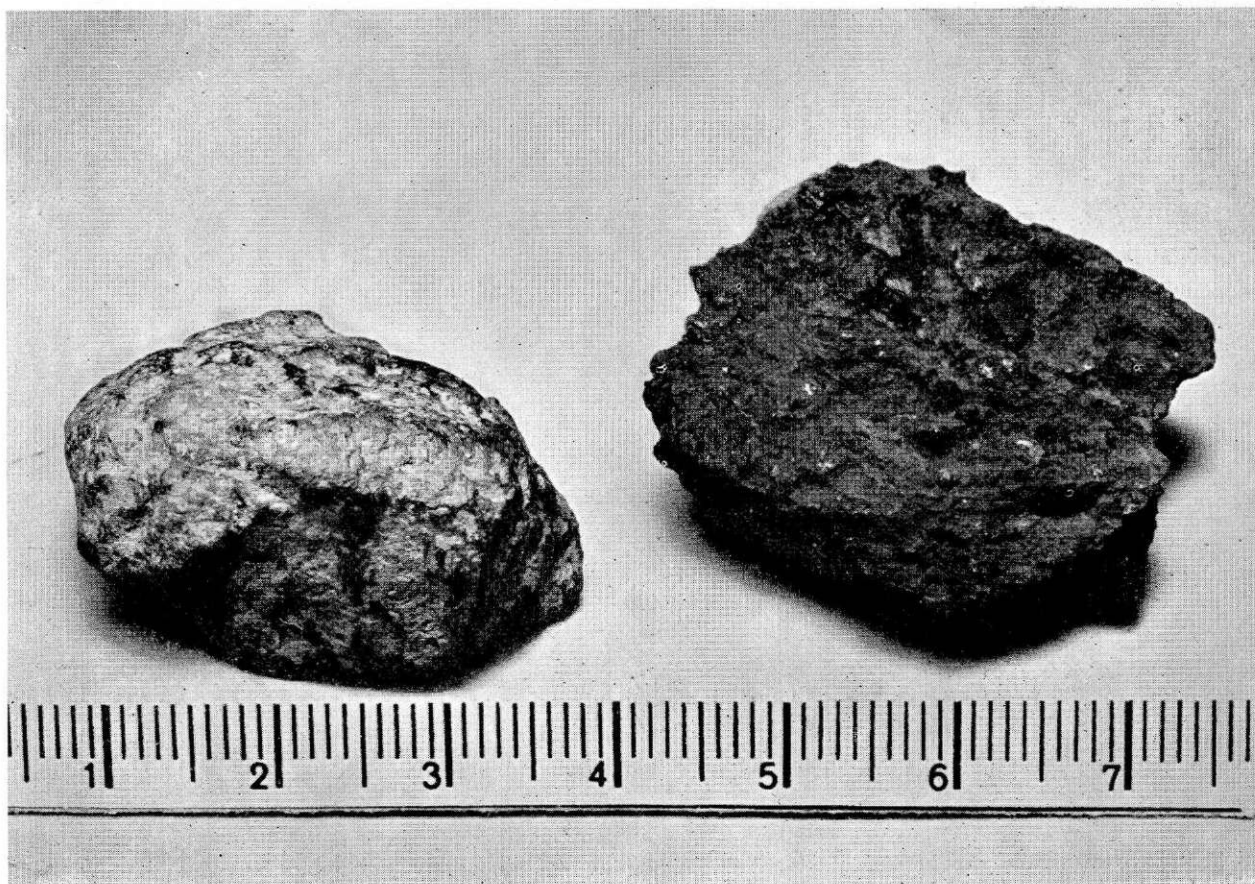
Po vdoru južnega nemštva v naše kraje se je pričelo železarstvo in rudarstvo še bolj razvijati, tako v starih železarskih krajih, kot v novo nastalih po vsej Gorenjski. Posebno zanimanje za železo so že od nekdaj kazali laški trgovci, ker je bila Italija revna z železnimi rudami in je imela za svoje potrebe premalo železa. Zgodovina trgovine nam o železarstvu Bohinja nudi lep primer. Ob Bohinjskem jezeru pri cerkvi Sv. Janeza so do 1461. leta prirejali železarske sejme. Na te sejme so prihajali Lahi, da so »barantali« za železo. Ko je cesar Friderik III. sejme prepovedal, so Bohinjci svoje železo zamenjavali na Laškem. Razvilo se je močno tovarništvo po stari karnsko-rimski poti preko Baškega sedla in Suhe.

Izredno velikega pomena za Bohinj je bil nastanek fužin v Bistrici in na Pozabljenem. Leta 1540. je začela obratovati fužina na Bistrici, leta 1562. pa na Pozabljenem. Po Bohinju so zagorele peči na volka. Potrebe po bobovcu so bile vedno

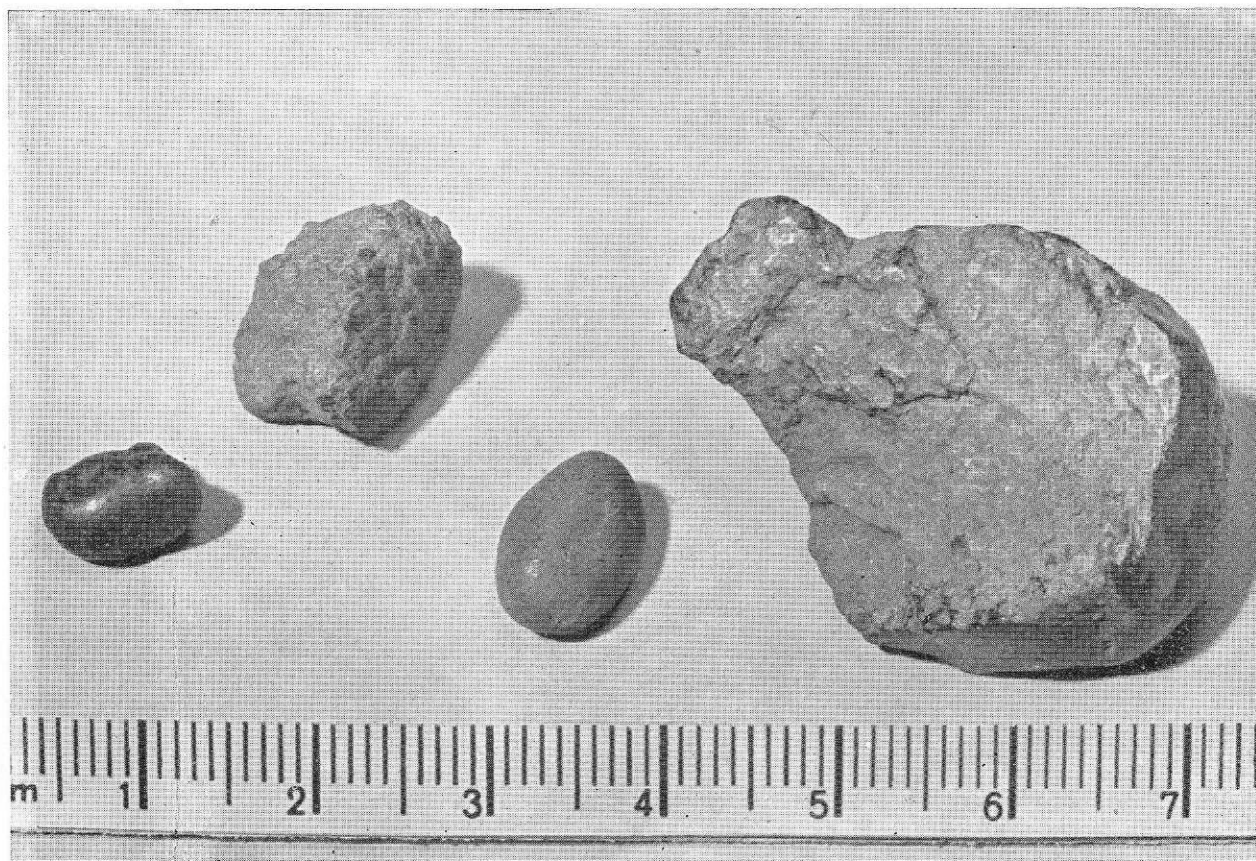
večje. Vsaka fužina je imela svoje rudne revirje in rudarje. Za Staro kladvo so nabirali bobovec v bližini Studorja, v okolici Uskovnice in na obeh bregovih Mostnice. Za fužini v spodnji dolini pa na planini Zajamniki, Koprivniku, Babni gori in Gorjušah.

Prve podatke o številu rudarjev (kopačev) in količini bobovcev imamo iz časov fužinarja barona Žiga Zoisa. Po podatkih iz leta 1777. je razvidno, da so kopači pripravili za fužine 8370 stotov bobovca. Nabrali in nakopali so ga v okolici Gorjuš, odkoder so ga pozimi vozili v Bistrico in Staro Fužino. Po rudnih revirjih je bilo zaposlenih 65 kopačev (priložnostnih delavcev — bajtarjev).

Zaradi izredno velikih količin železa, ki so ga proizvedli od 16. stoletja dalje, je v Bohinju začelo primanjkovati bobovcev, o čemer je poročal Zoisov strokovni sodelavec, padar in mineralog, Baltazar Hacquet. Iz poročila je razvidno, da so z muko nakopali komaj toliko rude, da je zadostovala za eno leto ter da delo ni donosno. Hacquet je bil prepričan, da bohinjske železarne kljub Zoisovemu prizadevanju nimajo perspektiv, čeprav so za iskanje novih nahajališč trošili mnogo sredstev.



Slika 3 — Hematitna (rdeča) bobovca, najdena na Dunaju pri Jereki



Slika 4 — Limonitni bobovci, najdeni v Studorju

Za časa Hacqueta so kopali rudo, poleg petih jaškov na Gorjušah, še na Rudnem polju, Rudnem lomu, na Kresnici in v Jami.

Fužinar Zois ni imel težav samo z rudo, temveč tudi z ogljem, ki ga je začelo primanjkovati.

Leta 1791. je začel obratovati na Bistrici nov sodoben plavž, kjer so namesto bukovega, uporabljali smrekovo oglje. Zois je dal stare peči na volka pri vseh treh fužinah podreti. Novi plavž je imel še to prednost, da so v njem lahko topili poleg bobovcev še glinasti železovec z Gorjuš in Rudnega polja.

Zois z iskanjem novih najdbišč bobovca ni odnehal. V ta namen je v Bohinj vabil najznamenitejše geologe, med njimi J. E. Fichtla. Pastirjem, lovcem, drvarjem in rudarjem je Zois dajal posebne nagrade, če so našli nova nahajališča bobovcev. Baron Žiga Zois, ki je bil tudi sam ugleden mineralog, je že takrat imel največjo mineraloško zbirko na Kranjskem (hranijo jo v Narodnem muzeju v Ljubljani). Najlepše primerke iz Julijskih Alp, predvsem številne bobovce, mu je nabral njegov rudar in rudosled — domačin Kos.

Težave zaradi rude so imeli tudi pozneje, ko so fužine pripadale Zoisovim dedičem ter Kranjski industrijski družbi. Podatki iz leta 1874. kažejo,

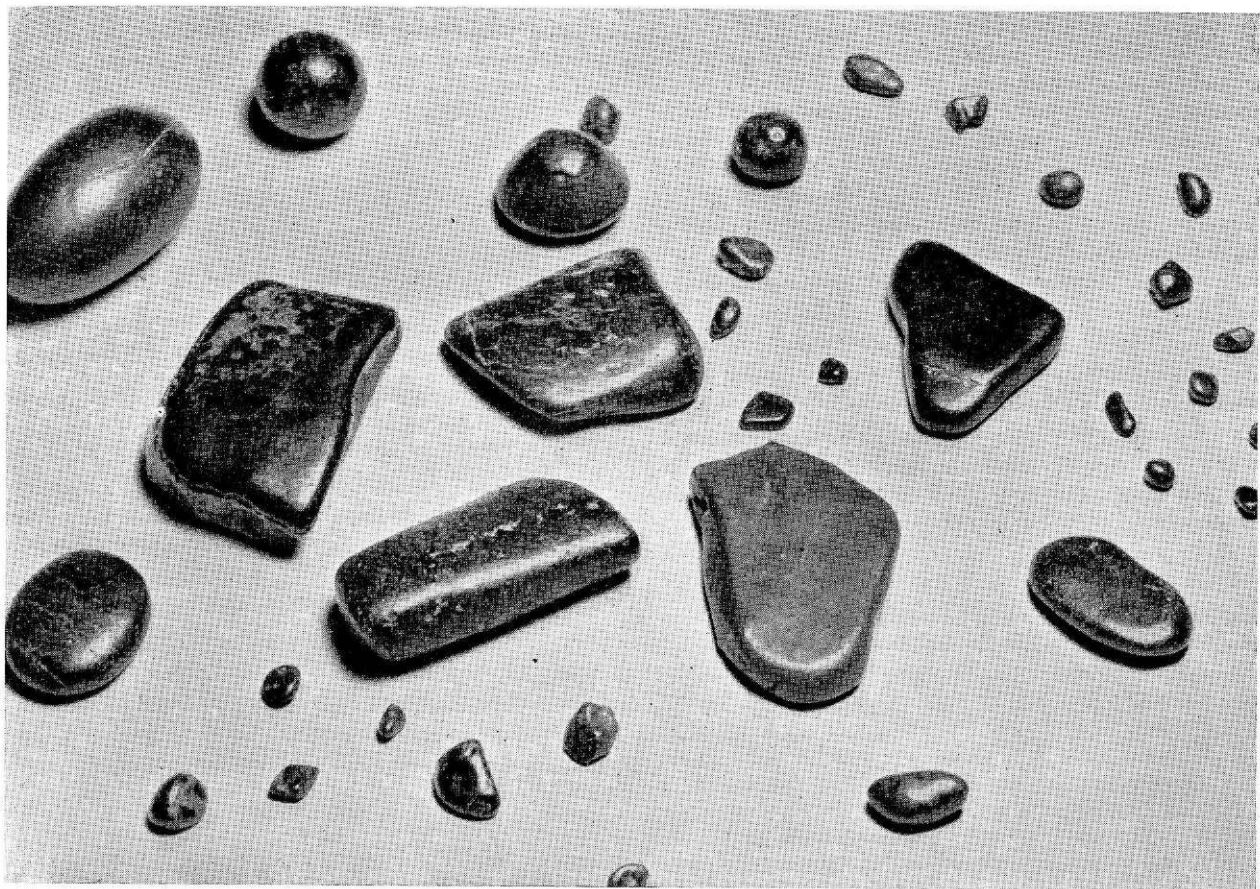
da je znašal letni izkop 841.664 kg bobovca in glinastega železovca. Leta 1875. in 1876. pa 422.408 in 487.320 kg. Te količine so bile nakopane na 57 rudnih poljih diluvialnega porekla, ponekod iz globine 30 metrov. Iz jam so rudo vlekli z lesenimi vitli v posebnih lesenih vedrih. Poleg jaškov in rudnih jam so imeli rudne luže, kjer se je prala ruda. Tekoče vode niso imeli, zato so uporabljali deževnico in sneznico. Po pranju so rudo razprostrli in sušili.

Leta 1876. je bilo pri Kranjski industrijski družbi zaposlenih 31 kopačev (knapov). Rudo so pridobivali predvsem na Rudnem polju in Gorjušah. Rudarstvo je trajalo do leta 1890., nato pa je »knapovski« poklic popolnoma zatonil.

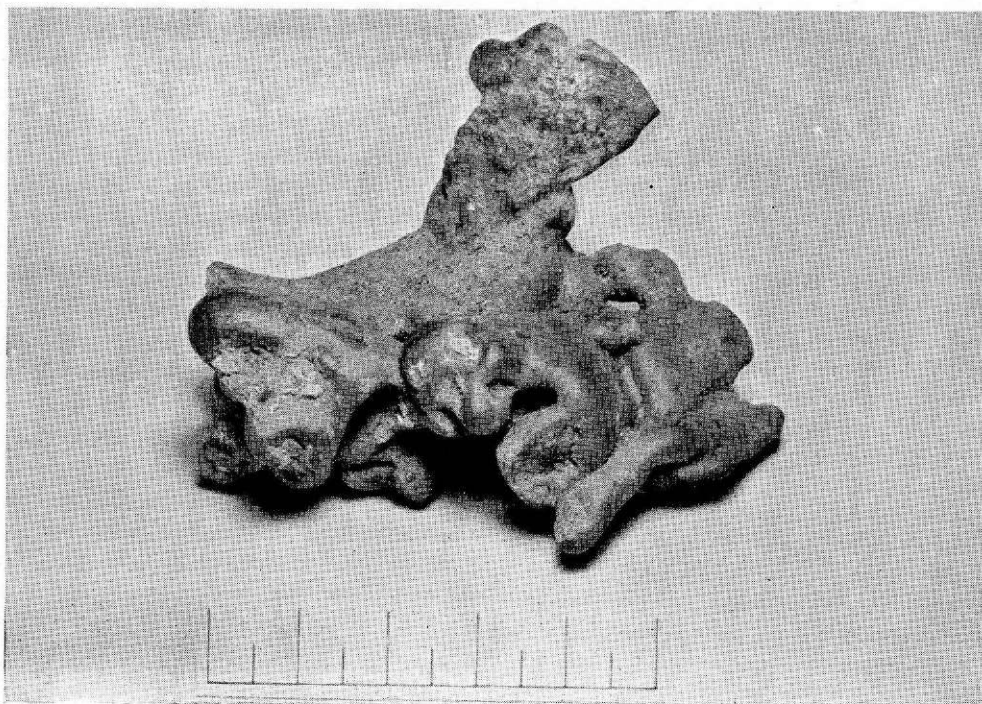
#### Pridobivanje železa iz bobovcev

Strokovnjaki za metalurško zgodovino menijo, da iz čistih in lahko reduktivnih rud ni težko pridobivati železa. Za pridobivanje železa zadostuje temperatura, ki jo je mogoče doseči v kovaški ješi, če pihamo veter v žareče oglje. Kakšni so bili prvi postopki za pridobivanje železa, je še danes nepojasnjeno ter predmet mnogih študijskih razprav. Vsi strokovnjaki pa se strinjajo v tem, da železa ni bilo mogoče dobiti tako, da bi rudo kar pome-

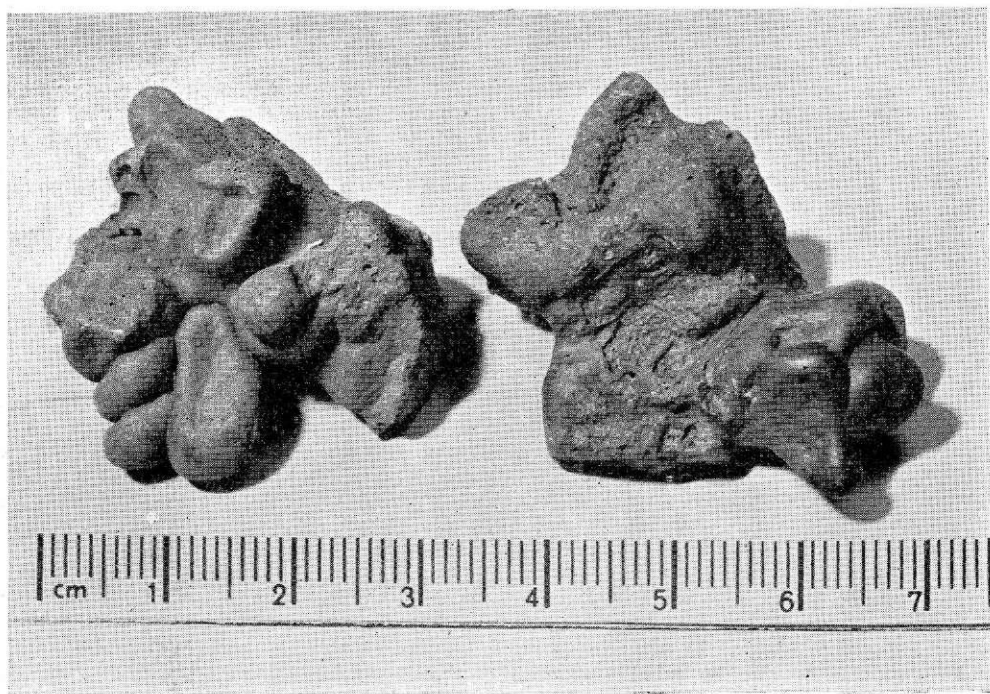




Slika 5 — Bobovci z Rudnega polja (Zoisova zbirka)



Slika 6 — žlindra z Dunaja pri Jereki



Slika 7 — Žlindra iz Studorja

šali z žarečim ogljem in prepustili vetru. Tudi pri kuhanju oglja v kopah ne bi dosegli take temperature, da bi prišlo do redukcije železa iz rude. Za pridobivanje železa je moralo biti topilno ognjišče v prostem vleku vetra, pozneje pa je bila peč že opremljena z mehovi.

Pri nas na Gorenjskem je bilo za potrebe prejšnjih vekov zadosti rude in lesa za kuhanje oglja. Ti dve dobrini sta omogočili, da je bil v preteklosti dosežen velik tehnični in materialni napredek na področju železarstva. Železo se je pridobivalo od nastanka primitivnih ognjišč, vetrnih peči, kmetijskih plavžev, nemških, kranjskih, italijanskih peči, tja do predhodnice plavžev in končno v samem plavžu. Kakšna so bila prva topilna ognjišča, ne vemo, prav tako pa tudi ne vemo ničesar o delovanju in proizvodnji. Lahko si mislimo, da so

stari gozdni kovači morali iti po poti trde preizkušnje. To so potrdili tudi znameniti raziskovalci Bohinja — Morlot, Sprung in Šmid.

Nekaj važnih podatkov o pečeh na volka sta nam zapustila Zois in Hacquet. V zadnjem času so naši strokovnjaki-metalurgi in zgodovinarji obdelali »Slovensko peč«, ki je bila slučajno odkrita 1953. leta pri cestnih delih v Dnu nad Kropo. Edini plavž starejšega tipa, ki ga še ni uničil zob časa, je v Železnikih.

O vsej železarski tehniki moremo danes zaradi pomanjkanja pisanih dokumentov razpravljati edino le na osnovi podatkov kemičnih in metalografskih preiskav. Stare žlindre kažejo na to, da je bil izplen zelo slab, saj je v njih zaostalo še mnogo neizreduciranega železa, kot je razvidno iz tabele analiz.

Kemična sestava žlinder

| Topilnica              | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | FeO   | Mn <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | CaO  | MgO  | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | SO <sub>3</sub> |
|------------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------|--------------------------------|------|------|-------------------------------|-----------------|
| Ajdovski gradec        | 22,02            | 3,45                           | 4,04                           | 64,77 | 0,45                           | 3,29 | 0,90 | 0,46                          | 0,20            |
| Dunaj pri Jereki       | 19,30            | 1,28                           | 12,74                          | 59,90 | 1,14                           | 3,10 | 1,15 | 0,34                          | 0,15            |
| Studor                 | 3,00             | 2,69                           | 16,20                          | 74,17 | 0,40                           | 2,24 | 1,02 | 0,36                          | 0,00            |
| Mešenac                | 2,34             | 1,80                           | 9,29                           | 82,30 | 1,71                           | 1,00 | 0,40 | 0,34                          | 0,13            |
| Med vasjo Kališe in    |                  |                                |                                |       |                                |      |      |                               |                 |
| Češnjico nad Železniki | 22,00            | 5,55                           | 7,45                           | 60,79 | 0,19                           | 0,90 | 1,18 | 0,40                          | 0,20            |
| Železniki              | 16,4             | 2,98                           | 2,24                           | 51,13 | 6,60                           | 7,39 | 2,90 | 9,27                          | 0,0057          |
| Kropa v Dnu            | 26,5             | 1,70                           | 49,0                           | 15,0  | 3,8                            | 0,81 | 0,43 | 0,73                          | 1,75            |



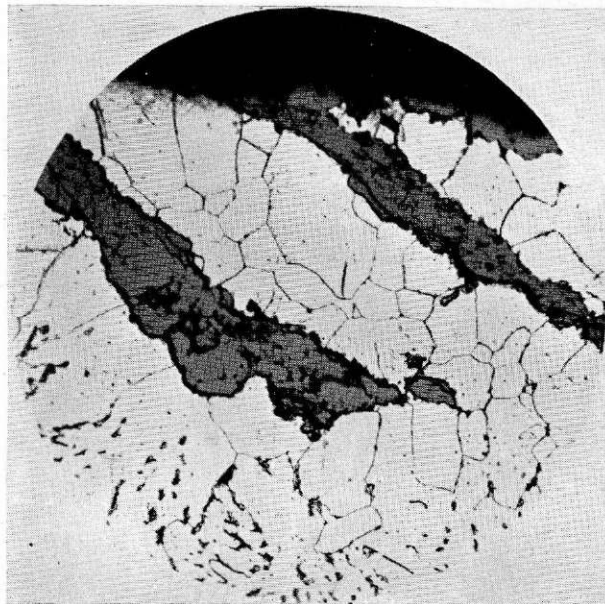
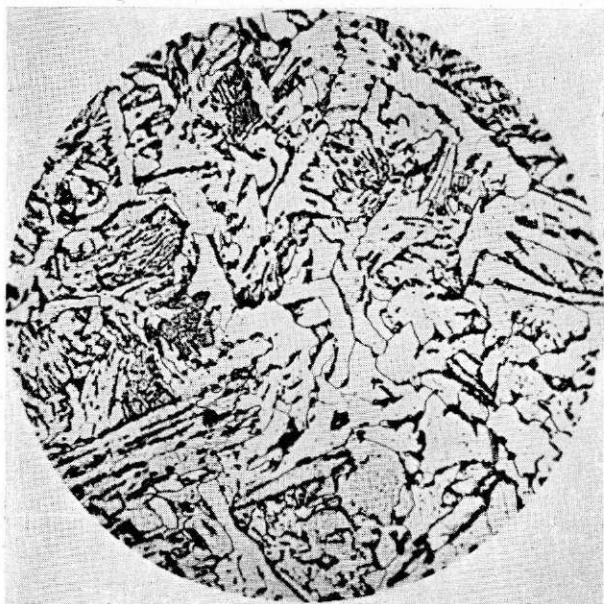
Žlindre so povečini kisle, goste, črne mase in zato že po zunanjem videzu razberemo, da so zelo težko tekle. Najstarejše žlindre so si po zunanjo-  
sti precej podobne, kar dokazujeta obe fotografiji. V žlindri iz Studorja je precej vložkov železa, medtem ko ga druge ne vsebujejo. Eno nerešenih tehničnih vprašanj je oblika železa, dobavljenega v vetrni peči. Vprašanje je, če je bil »volk«, t. j. železo hlebčaste oblike, dobljeno že v samem začetku, ali šele pozneje, ko je pač dosegla že višjo stopnjo razvoja. Po vsej verjetnosti je gozdni kovač v svojem primitivnem talilnem ognju (vetrna peč brez mehov) dobil posamezne kose železa, ki niso bili podobni volku.

Železo v obliki volka je nastalo po vsej verjetnosti takrat, ko je bila vetrna peč opremljena z mehovi, tako da je bila dosežena višja temperatura in bolj konstantna redukcija, medtem ko pri vetrni peči na prosti vlek vetra niso bili doseženi enakomerni pogoji. Zaradi spreminjajočih se pogojev pri taljenju rude je bila pri najugodnejšem vetru temperatura najvišja, pri slabem pa nižja. Pri takih temperaturnih intervalih ni bilo enakomernega izločanja železa. Nekaj se ga je izločilo prej, nekaj pozneje, tako da »volk« ni mogel nastati. Nastali so le posamezni kosi železa. Vsekakor pa so bili le-ti zadosti veliki, da so jih kovači lahko ročno obdelovali v predmete za splošno uporabo.

Kakšno je bilo pravzaprav slavno »noriško železo« (ferrum noricum), za katerega je Homer dejal, da je v trojanski vojni rezalo junakom glave, vemo prav malo. Če so ferrum noricum hvalili tudi rimski zgodovinarji, kot npr. Ovid, Tacit in Prokopij, je moralo biti za tedanje čase res dobro.

Pokojni univ. prof. Dr. V. Šmid je bil prepričan, da je bilo noriško železo slavno zato, ker je vsebovalo titan. Vendar pa vse železo, ki so ga izdelovali v Noriku ni bilo enako kvalitetno. Mnogo je bilo tudi takega, ki je vsebovalo preveč fosforja in žvepla, zato so bili izdelki slabši in so se radi lomili. Najbolj podobno noriškemu železu je bilo železo iz Kučerja pri Podzemlju. Pretežno so iz čistih bobovcev izdelovali mehko kovno feritno železo. Tako železo, z izredno nizkim ogljikom, je bilo pri nas v rabi od antike do konca srednjega veka ali pa še dalj. Homogeni železni volk s sledovi ogljika je bil dobro varilno in mehko železo. Feritno železo so dobili iz vetrnih peči v končni fazi, ko so železo dobro izžilavili, do izredno nizkega ogljika. Tak primer železa imamo s Studorja (tedanjega južnega Norika). Volk ima obliko hlebčka s premerom 10 cm. Na sredini je debel 2,5 cm. Teža celotnega volka znaša 450 g in spada po metalografski klasifikaciji v čisto feritno železo. To je edinstven primerek antične vetrne peči.

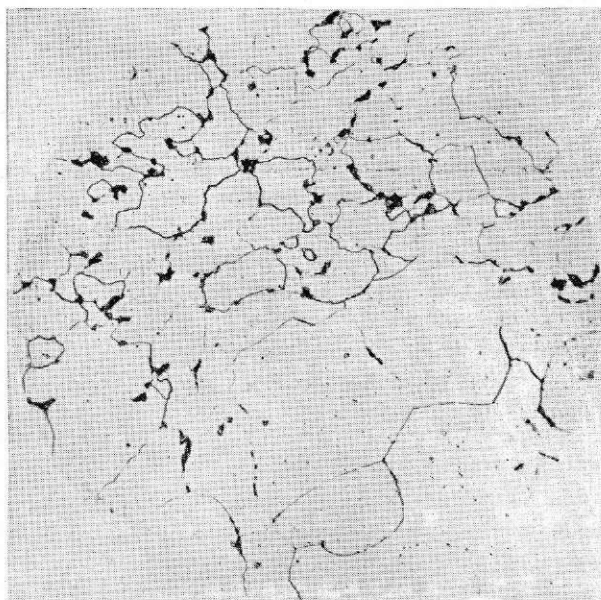
Posamezni kosi ali volki so bili večkrat neuporabni, ker so vsebovali preveč ogljika, ali pa je bila namesto kovnega železa dobljena siva litina. Iz bližine Studorja imamo primer zavrženega volka z 2,73 C, 0,71 Si, 0,17 Mn, 0,38 P in 0,12 S. Take vrste visokoogljčnega železa v tistih časih niso znali uporabiti. Iz metalografske preiskave zvemo še za njegove nadaljnje lastnosti. Volk je pri najedkanem stanju vseboval cementit, ki se je izkristaliziral v dveh oblikah: v primarno, ki je obdana z evtektikom in sekundarno, v obliki tankih iglic. Pri jedkanem stanju je osnova perlit z izločenim cementitom po kristalih perlita. V normaliziranem stanju ima volk strukturo perlita, ki prehaja v ferit na mestih, kjer je prisotna večja množina oksidacijske žlindre.



Sliki 8 in 9 — Struktura železnega predmeta iz Ajdovskega gradca

Železa iz Bohinja in drugih železarskih krajev v Julijskih Alpah imamo zelo malo, tako da je o kvalitetni vrednosti železa v tistih časih težko razpravljati. Nekaj železnih predmetov še nismo mogli preiskati, ker so deponirani v Gradcu, Dunaju, Benetkah in v Ljubljani. Eden od izrednih primerov železa je bil najden na Ajdovskem gradu, pri katerem bi se glede na tehniko izdelave dalo še dosti razpravljati. Struktura jekla sta ferit in perlit, ki sta porazdeljena v obliki, značilni za lito jeklo (slika 8). Struktura je nehomogena glede na porazdelitev ogljika oziroma perlita in velikosti kristalnih zrn. Jeklo je zelo nečisto. Vsebuje mnogo nekovinskih žilindrnih vključkov (slika 9).

Pod Jelovico v Kolnicah je bil najden star kovan žebelj z 0,07 C, 0,0 Si, 0,0 Mn, 0,13 P in 0,011 S. Struktura nizko ogljičnega jekla sta ferit in v manjši meri perlit. Jeklo je nehomogeno glede velikosti kristalnih zrn, kot glede na porazdelitev ogljika oziroma perlita.



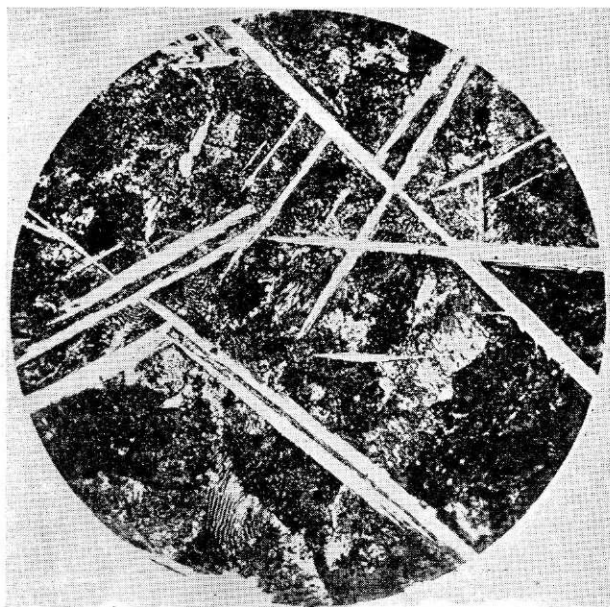
Slika 10 — Mikrostruktura kovanega žebja iz Kolnice

Dve kemični analizi železa, opisani v »Slovenska peč v Kropi, naš železarski spomenik — Ciril Rekar«, iz leta 1954., kažeta na to, da so v peči izdelovali nizko ogljično jeklo. V našem Tehniškem muzeju Železarne Jesenice pa imamo od Slovenske peči iz Kroe (v Dnu) primer, kjer železo sploh nima ogljika. (Glej analize — naši rezultati so po vrstnem redu tretji!)

**Kemična sestava želez iz Kroe »Slovenska peč« v Dnu:**

|    |      |       |       |
|----|------|-------|-------|
| C  | 0,26 | 0,03  | 0,00  |
| Si | 0,79 | 0,14  | 1,44  |
| Mn | 0,22 | 1,55  | 0,00  |
| P  | 0,14 | 0,06  | 0,11  |
| S  | 0,05 | 0,035 | 0,045 |

Iz Korit pri Nomnju—Bohinj imamo en primer visokoogljičnega jekla, najdenega na terenu, kjer je bila v 17. stoletju prva bohinjska livarna. Jeklo vsebuje 1,54 C, 0,30 Si, 1,02 Mn, 0,09 P in 0,017 S. Strukturo jekla tvorita perlit in sekundarni cementit. Sekundarni cementit je izločen v značilni Widmannstättenski strukturi.



Slika 11 — Visokoogljično jeklo iz Korit pri Nomnju

V alpskih železarnah je bil način pridobivanja železa v obliki kovnega jekla — volka — vedno enak. Ta način je bil kljub slabi gospodarnosti tipičen predvsem za Bohinj. V Karavankah pa so že v 16. stoletju v Bucellinijevem plavžu na Planini pod Golico prišli na izdelavo grodlja. S proizvodnjo grodlja so nadaljevali tudi v 17. stoletju na Plavžu pri Jesenicah in Savi. Tudi na Javorniku so v 18. in 19. stoletju izdelovali izključno samo grodelj. Bohinj in drugi železarski kraji v Alpah so bili glede tega bolj konzervativni.

Teoretično si danes predstavljamo pridobivanje kovnega železa (jekla) ne glede na vrsto peči tako, da upoštevamo material in zadosti visoke temperature, pri katerih se izvrši redukcija. Za samo talilno ognjišče ali peč — ne glede na to, kako so jo nazivali — je moral biti osvojen način gradnje, dimenzij, ognjevdržni material in primeren vložek.

Najvažnejša je bila vsekakor ruda, ki je morala imeti take kemične in fizikalne lastnosti, da se je že pri močnem naravnem vetru v žarečem oglju spremenila v žilindro in železo. Takemu načinu je najbolj odgovarjala oolitna limonitna ruda, drobljena ali celo prstena. Debeli bobovci in kosovni limonit (glineni železovec) niso prišli v poštev. Zanimivo je to, da imajo bohinjske rude, ne glede na to, ali so bobovci ali ne, skoraj isto temperaturo tališča. Pa vendar je med rudami neka razlika, zato so tedanji kovači uporabljali samo

bobovce. Glinasti železovec je bil zanje neuporabljiv. To nam potrjujejo tudi najdbe in naši poskusi v vetrni peči leta 1961. v Studorju — Bohinj.

Tališče bohinjskih limonitnih rud:

|                                      |         |
|--------------------------------------|---------|
| Bobovec — Ajdovski gradec            | 1335° C |
| Bobovec — Dunaj pri Jereki           | 1335° C |
| Bobovec — Rudno polje                | 1350° C |
| Bobovec — Spodnje Gorjuše            | 1380° C |
| Bobovec — Dedno polje                | 1350° C |
| Glinasti železovec — Rudno polje     | 1380° C |
| Glinasti železovec — Spodnje Gorjuše | 1335° C |

V tem primeru ne gre upoštevati samo tališča, pač pa moramo upoštevati reduktivnost, vrsto primesi, poroznosti, trdnost in vsebnost železa.

Pri talilnem procesu se izvrše fizikalne in kemične spremembe, ki jih razvrstimo v naslednje faze:

Najprej se odstrani higroskopna vlaga, to je tista vrsta vode, ki je fizikalno vezana na limonit. Pri bobovcih je relativno nizka, medtem ko je pri glinastem železovcu običajno višja zaradi razpokanosti.

Pri temperaturi 300°—400° C izgubi limonit  $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}$  vezano kristalno vodo, drugi hidrati, ki so v jalovini, se razkroje pri znatno višjih temperaturah 500°—600° C, v nekaterih primerih pa celo pri 800° C. Pri bobovcih je treba upoštevati število molekul vode, kar lahko ugotovimo z razo na grobem porcelanu. Običajno ima limonit tri molekule vezane vode, raza je rjava. Če vsebuje le dve molekuli vode, je svetlorjava, če pa je vode le za 1/2 ali eno molekulo, je rdečkasta. Kadar limonit izgubi vse molekule kristalne vode, preide v hematit in raza je popolnoma temnordeča. Prehod limonita v hematit se izvrši v jašku peči. Na odstranjevanje higroskopne in kristalne vode so mislili že stari železarji, zato so jo predhodno sušili in pražili. Praženje bobovcev omenja Zois leta 1777. pri bohinjskih fužinah.

Razpored karbonatov v okside se doseže pri temperaturi nad 900° C. To so karbonati, ki so prišli v peč z jalovino, ali pa so vezani na rudno snov. Običajna karbonatna spremljevalca sta kalcij in magnezij.

Redukcija limonita poteka ob prisotnosti ogljika, oziroma ogljikovega monoksida po vrstnem redu, začeni s ferriksidom kot npr.:



Pri procesu redukcije moramo upoštevati kvaliteto lesnega oglja. Stari železarji so imeli bogate izkušnje, katero oglje je najboljše glede na vrsto

lesa, čas seče in načina kuhanja. Od vsega nam je znano le to, da so uporabljali bukovo oglje, v začetku z lubjem, pozneje pa brez njega. Takšno oglje, ki je imelo tudi lubje, ni dalo dobrega železa zaradi vsebnosti fosforja v lubju. O pripravi lesa in kuhanja oglja nam ni ničesar znanega. Zaostali koščki v žlindrah ali volkih so nam dobrodošli, kajti zaradi ogljika C 14, ki je radioaktiven, lahko določimo dobo, v kateri je les rasel, to pa služi za ugotavljanje starosti železarstva.

Redukcija v peči poteka na dva načina: 1. direktno, v prisotnosti ogljika in 2. indirektno, z ogljikovim monoksidom. Iz prakse so stari mojstri vedeli, da je drobna ruda boljša od debele. Čim drobnejši in številnejši so drobci, tem večja je površina glede na količino. Drobna ruda ima večjo kontaminacijo z reducentom. Z ogljikovim monoksidom se doseže redukcija po naslednjem redu:



Pri višjih temperaturah odvzame ogljikov monoksid od feroferioksida  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  en atom kisika in tako preide v železov oksid  $\text{FeO}$  kot je razvidno iz naslednje enačbe:



Železov oksidul se pojavi že pri 350—400° C, kovinsko železo pa pri 700° C. Železov oksidul, ki se ni uspel izreducirati do železa z ogljikovim monoksidom pri nižjih temperaturah, se izloči po direktni redukciji z ogljikom.



Direktna redukcija se izvrši le v primerih, če je dober vlek vetra. Proces taljenja je najuspešnejši, če je dosežena čim višja temperatura, čim poroznejša je ruda in čim nižje tališče ima jalovina ter rudna snov.

Celoten postopek pridobivanja železa je v bistvu prenos vezanega kisika iz železa na ogljik, to je na reducent. Ob zadostni temperaturi se železo sprosti iz svojih spojin ob prisotnosti ogljika ali monoksida. Izločeno železo ne more obstajati v prosti obliki, ker se takoj z drugimi elementi veže v kovinsko zmes. V železu so vedno prisotni njegovi spremljevalci kot so: ogljik, silicij, mangan, fosfor, žveplo in baker. Prav isti elementi so prisotni v žlindri. V žlindri pa so še druge snovi kot: aluminij, kalcij, magnezij, kalij in natrij. V vsaki žlindri je še mnogo zaostalega elementarnega in vezanega železa, predvsem pri najstarejših žlindrah. Množina železa je tolikšna zato, ker so bile temperature taljenja prenizke in ker je bil izplen železa iz rude le 15—20 %, pozneje 25—30 odstotkov itd. Glavni del železa je zaostal v žlindri kot železov silikat. Žlinder, bogatih železa, stari mojstri niso uporabljali za ponovno pretaljevanje, čeprav so bile bogatejše kot bobova ruda.



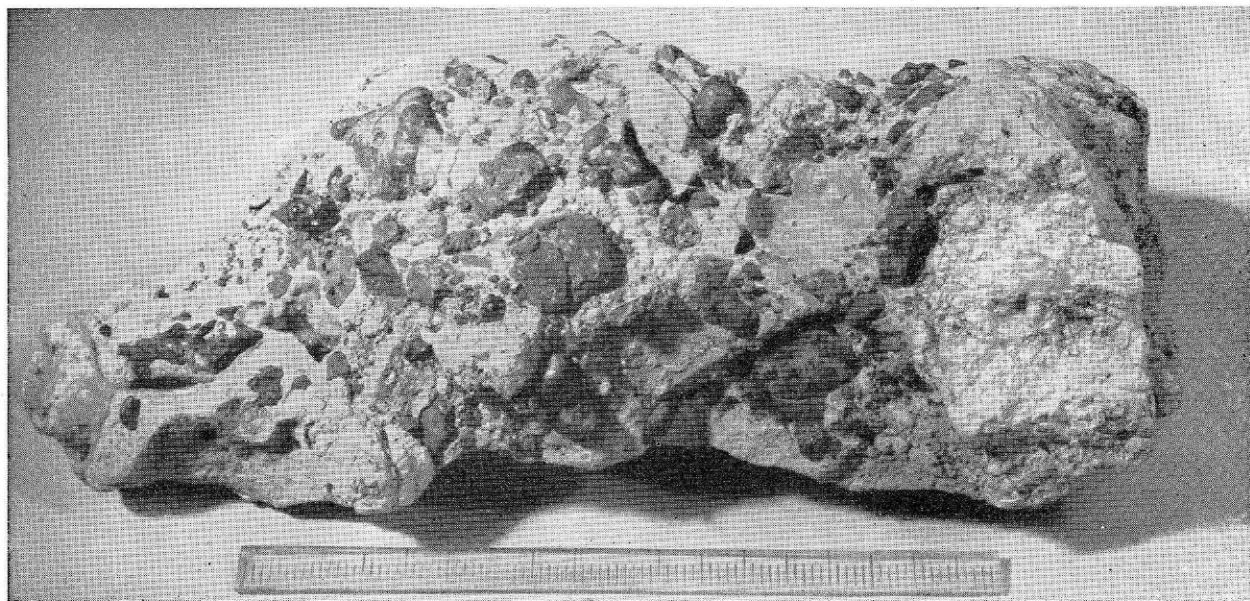
## Nahajališče bobovcev

Pokljuka in Jelovica imata nešteta rudna nahajališča: Rudno polje, Mesnovec, Lipanca, planina Zajamnik, Gorjuše, Uševnik, Koprivnik, Bohinjska Bela, Bled, Zgornje Gorje, Dražgoše, Kropana, Jamnik, Kamna gorica in Kuplenik. Tudi Mežaklja ima bobovec; največ ga je v smeri proti Poljanam. V nižjih predelih Mežaklje, v smeri proti Savi (Kozje), pa bobovec ponehuje in ga zamenjuje neoolitni limonit, ki je pomešan z apnencem in dolomitom.

Najpogosteje najdemo bobovec na 1000—1500 metrov nadmorske višine. V teh mejah so najšte-

vilnejši in najdebelejši. Do sedaj smo jih našli do ločnice večnega snega (2500—2600 m) v Julijskih Alpah. Bobovci s skalnatih vrhov so povečini vrasli in razmeroma drobni. Najlepši primeri so z Dednega polja, kjer so pomešani s kamenčki apnenca in magmatske tvarine.

Najmanj železa je v dolomitu, kar je tudi z geološkega stališča razumljivo. Triglavsko gorstvo je nastalo v triadni dobi iz apnenih in dolomitnih skladov živalskega porekla, kot so školjke, korale, morski ježki ter iz hišic malih živalic (protozoe) itd. V oklepu školjke (praživali), ki smo ga analizirali, je kaj malo železa, kar potrjuje že omenjeno dejstvo o nastanku Julijskih Alp.



Slika 12 — Vrasli bobovci z Mežaklje

### Kemične analize bobovcev

| Nahajališče                                     | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | FeO  | Mn <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | CaO  | MgO  | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | SO <sub>3</sub> | CO <sub>2</sub> +H <sub>2</sub> O |
|-------------------------------------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|------|--------------------------------|------|------|-------------------------------|-----------------|-----------------------------------|
| Vernar 2225 m                                   | 2,34             | 2,47                           | 81,26                          | 1,14 | 0,17                           | 1,40 | 2,40 | 0,40                          | 0,00            | —                                 |
| Bivak IV.                                       | 2,36             | 1,45                           | 82,61                          | 0,30 | —                              | 0,75 | 1,10 | 0,27                          | 0,025           | —                                 |
| Rjavec 2568 m                                   | —                | —                              | 72,39                          | —    | —                              | —    | —    | —                             | —               | —                                 |
| Kriško jezero III.                              | —                | —                              | 84,25                          | —    | —                              | —    | —    | —                             | —               | —                                 |
| Kanjavec 2568 m                                 | 3,82             | 0,27                           | 81,75                          | 1,56 | 0,47                           | 0,56 | 0,47 | 0,23                          | 0,037           | 11,2                              |
| Sedlo pod Kalom in pod vrh Škrila (2001—1947 m) | —                | —                              | 83,75                          | —    | —                              | —    | —    | —                             | —               | —                                 |

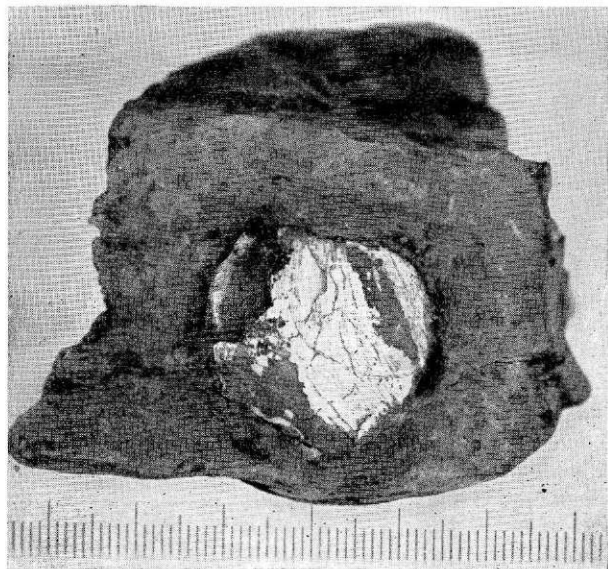
Tudi same kamenine, na katerih se nahaja bobovec, vsebujejo železo, kot je razvidno iz kem. analize.

### Kemična sestava

| Mesto odvzema vzorca                        | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | FeO  | Mn <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | CaCO <sub>3</sub> | MgCO <sub>3</sub> | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | SO <sub>3</sub> |
|---------------------------------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|------|--------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------------------|-----------------|
| Dolomit s sedla pod Kalom in pod vrh Škrila | 0,62             | 1,84                           | 1,92                           | —    | —                              | 53,50             | 36,1              | —                             | —               |
| Obala Kriškega jezera III.                  | 10,12            | 5,34                           | 6,20                           | —    | 0,25                           | 71,10             | 3,85              | 0,20                          | —               |
| Apnenec Kriškega jezera III.                | 11,84            | 2,59                           | 8,25                           | 1,42 | 0,37                           | 70,92             | 0,75              | 0,08                          | 0,11            |

### Oklep školjke — kemična sestava

| SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | CaCO <sub>3</sub> | MgCO <sub>3</sub> | S    |
|------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------------------|-------------------|------|
| 3,30             | 0,92                           | 0,48                           | 93,92             | 0,75              | 0,03 |



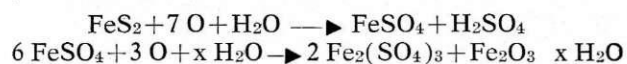
Slika 13 — Školjka iz pradavnine

Železo vsebujoče kamenine in gline so nastale v poznejših geoloških dobah. Prav isto velja za genezo bobovca, ki je dobil svojo specifično obliko na sekundaren način.

### Nastanek bobovcev in njihove lastnosti

Bobovce Julijskih Alp najdemo na geoloških tleh triadne in diluvialne dobe, vrasle ali prosto ležeče med apnenci, dolomiti, boksitom, skriljem in glino. Po obliki so prsteni, v prahu, kepah, kroglicah, votlih kroglih, tako imenovanih geodah, ploščati in ovalni. Po barvi in velikosti so zelo različni. Tudi po razi in trdoti se razlikujejo, kar je odvisno od kristalne vode in količine mangana.

Večina geologov meni, da je nastanek oolitov — bobovcev — sedimentaren, nekateri pa smatrajo, da so nastali iz oolitnih apnencev. Bobovec je koloidna modifikacija železovega hidroksida, ki je nastal preko oksidacije pirita in fajalita. Prvotna rudnina — pirit se je oksidiral v ferosulfat, ki se je nadalje oksidiral ponovno v ferisulfat in nato prešel v železni hidroksid — limonit.



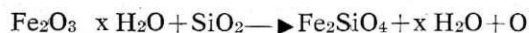
### Kemična sestava

|                   | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Mn <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | CaO  | MgO   | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | SO <sub>3</sub> | CO <sub>2</sub> +H <sub>2</sub> O |
|-------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|------|-------|-------------------------------|-----------------|-----------------------------------|
| Bobovec svetlejši | 20,10            | 15,99                          | 24,45                          | 15,92                          | 4,84 | 9,56  | 0,14                          | 0,10            | 7,16                              |
| Bobovec temnejši  | 16,70            | 29,63                          | 18,74                          | 22,83                          | 3,13 | sled. | 0,14                          | 0,10            | 6,88                              |

Prvotni ferihidroksid (limonit) je bil kot hidrosol, ki je pozneje prešel v dokončno rudno obliko hidrogel.

V drugem primeru naj bi bobovec nastal iz fajalita Fe<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub>! Če je fajalit prišel v dotik z vodo, ki je vsebovala nevezani kisik, se je začel delno in postopoma razkrajati. V vodi raztopljen fajalit je prešel v ionsko obliko: 2 Fe<sup>++</sup> + SiO<sub>4</sub><sup>++</sup>

Ioni železa so se oksidirali v ferioksid Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Molekuli ferioksida se je pridružila še kristalna, t. j. kemično vezana voda, tako da je nastal limonit Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> · x H<sub>2</sub>O. Po takšni kemični reakciji pa se je sprostil tudi silicijev dioksid SiO<sub>2</sub> anhidrid kremenčeve kisline.



Ti dve teoriji bi bili najprimernejši razlagi za nastanek limonitov v Julijskih Alpah.

Ena od posebnih lastnosti bobovcev so njegove oblike in površina. Do oblikovanja bobovcev v okrogle in ovalne oblike je prišlo znatno pozneje, kot je nastala ruda. Izgladili in oblikovali so jih vodni tokovi in premiki ledenikov.

Zakaj se vse limonitne rude niso preoblikovale v bobovce, je tudi zanimivo vprašanje. Še najprimernejši odgovor bi bil verjetno ta, da je bil prvotni limonit, iz katerega se je izoblikoval bobovec, trši od glinastega železovca. V dokaz nam služi nahajališče bobovcev na Dednem polju, ki so pomešani z apnencem in kamenino peridotitske skupine, ki vsebuje pod 50 % SiO<sub>2</sub>. Tako kot gladki in oblikovani bobovci, imajo tudi prozorni in prosojni kamenčki kemično sestavo 38 % SiO<sub>2</sub> in 62 % CaCO<sub>3</sub>. Le čisti apnenčevi kamenčki so bili najtrši bobovci, nato silikati in najmehkejši apnenčevi kamenčki, če upoštevamo, da ima apnenec trdoto 3, limonit pa okrog 7 (to velja za bobovce).

### Kemična analiza apnenca z Dednega polja:

| SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | FeO | CaO   | MgO   | SO <sub>3</sub> | žarozguba |
|------------------|--------------------------------|--------------------------------|-----|-------|-------|-----------------|-----------|
| 1,12             | 0,72                           | 0,64                           | —   | 68,20 | sled. | 0,20            | 29,0      |

Vsi bobovci nimajo poliranih površin, izjema so manganski bobovci, ki so prešli v manganovo rudo psilomelan. Manganski bobovci so sestavljeni iz krhke lupine, zato jih lahko razimo z nohtom (trdota 2,5). Lupina je sestavljena iz številnih plasti. Pod zadnjo plastjo pa je trše okroglo jedro. Razlikujemo dve vrsti takšnih bobovcev, kot je razvidno iz kemične analize.



Slika 14 — Manganski bobovci z Rudnega polja (Zoisova zbirka)

Bobovci so od vseh limonitov najbogatejši z železom, kar je razvidno iz njihove kemične sestave. Vse druge limonitne rude nastopajo v večjih kosih ali celo debelih skladih, le bobovcu je odmerjena velikost. Po videzu je bobovce izredno lahko ločiti od ostalih limonitov in tudi tistih, ki so nastali po metamorfozi iz pirita in markazita. Bobovci, ki kemično še niso popolnoma preoblikovani, vsebujejo izredno veliko žvepla; primer za to so bobovci z Rudnega polja.

#### Sulfidni bobovec — kemična sestava

| SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | FeO  | Mn <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | CaO  | MgO  | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | S     | CO <sub>2</sub> +H <sub>2</sub> O |
|------------------|--------------------------------|--------------------------------|------|--------------------------------|------|------|-------------------------------|-------|-----------------------------------|
| 16,52            | 1,61                           | 53,79                          | 4,41 | 6,29                           | 1,34 | 0,64 | sled.                         | 11,12 | 4,58                              |

Med bobovce prištevamo tudi limonitne rude, ki imajo kristalom podobne oblike in gladke površine. Ti primeri imajo lahko ohranjene kristalne ploskve, tako da se vidi, da se je primarna

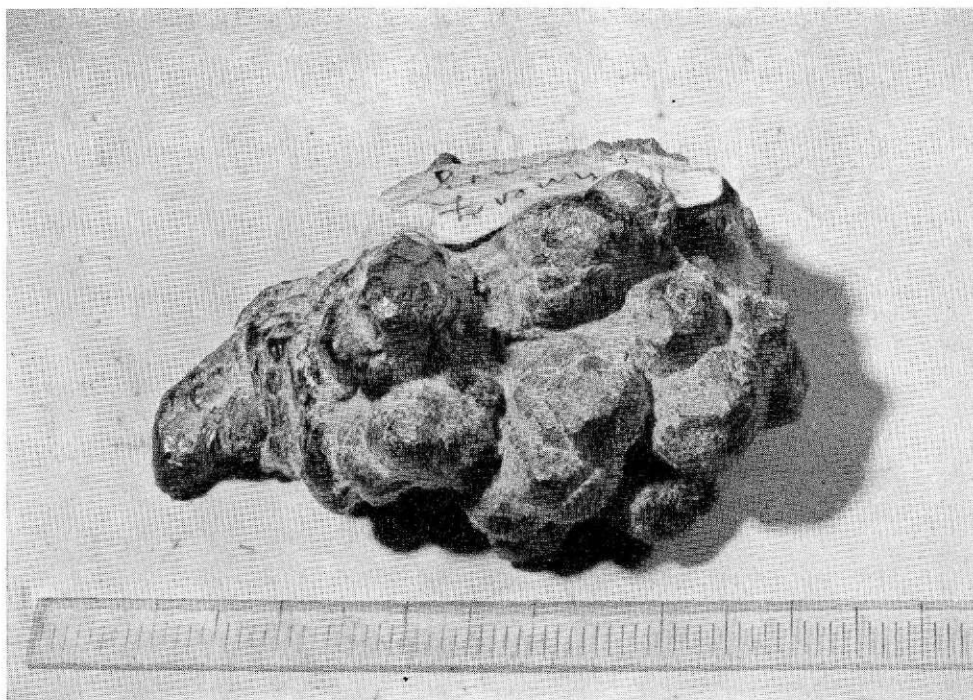
ruda pod zunanjimi vplivi kemično spremenila v drugo sekundarno rudo. Ruda se je limonitizirala, vendar pa se je ohranila zunanja oblika prve rudnine. Nastala je nova ruda s tujo obliko. Take izredne primere lahko najdemo na Rudnem polju in na Jelovici.

Posebna vrsta so zlepljeni, ali kot jim pravimo, vrasli bobovci v tuje kamenine. Ti bobovci niso okrogli, pač pa ovalni in ploščati. Po barvi so svetlorjavi, rjavi in črni. Od osnove, ki je lahko apnenec, dolomit, glina ali kremenčev cement, se odločijo le tedaj, če pride do preperevanja. Preperevanje se vrši neprestano zaradi vpliva klime. Najmanj odporna podlaga sta apnenec in dolomit. Fizikalne in kemične reakcije (preperevanje) nastanejo najraje tam, kjer se kamenina dotika rudnine. Bobovec se v takem primeru zaradi ledu ali vode prav lahko loči od apnenca. Zato tudi najdemo večkrat prazne jamice, kjer so prvotno bili bobovci. Več takih primerov smo opazili na Rudnem polju, kjer so bobovci in apnenci imeli tako kemično sestavo, kot je razvidno iz analize.

#### Kemične analize bohinjских limonitov — kemična sestava

| Nahajališče                      | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | FeO  | Mn <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | CaO   | MgO   | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | SO <sub>3</sub> | CO <sub>2</sub> +H <sub>2</sub> O |
|----------------------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|------|--------------------------------|-------|-------|-------------------------------|-----------------|-----------------------------------|
| Rudno polje — bobovec            | 1,10             | sled.                          | 84,54                          | 2,91 | 0,57                           | 0,0   | sled. | 0,30                          | 0,20            | 10,80                             |
| planina Zajamnik — bobovec       | 1,64             | 2,86                           | 84,14                          | 0,0  | 0,38                           | —     | —     | 0,34                          | 0,0             | —                                 |
| Uševnik — lističasti limonit     | 3,25             | 0,48                           | 80,22                          | 0,30 | sled.                          | —     | —     | 0,57                          | 1,67            | 14,67                             |
| Gorjuše — glinasti železovec     | 9,41             | 1,46                           | 77,34                          | 0,0  | 0,24                           | 1,48  | 1,20  | 0,21                          | 0,028           | 8,0                               |
| Rudno polje — glinasti železovec | 11,5             | 1,42                           | 43,4                           | —    | 0,35                           | 21,73 | 1,8   | 0,18                          | sled.           | —                                 |





Slika 15 — Bobovec s tujo obliko

Kemična sestava bobovca in apnenca

|         | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | FeO | Mn <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | CaO   | MgO   | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | SO <sub>3</sub> | CO <sub>2</sub> + H <sub>2</sub> O | žaroizguba |
|---------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|-----|--------------------------------|-------|-------|-------------------------------|-----------------|------------------------------------|------------|
| Bobovec | 1,56             | 0,70                           | 83,30                          | —   | —                              | 0,90  | 0,50  | 0,33                          | 0,20            | 11,02                              | —          |
| Apnenec | 0,42             | 0,75                           | 0,50                           | —   | —                              | 68,88 | sled. | —                             | 0,20            | —                                  | 27,96      |

Bobovci na Jelovici se v nekaterih lastnostih razlikujejo med seboj in delno tudi od bobovcev iz Triglavskega pogorja. Razlika je najbolj očitna pri količini železa, ki ga je okrog 60 % v povpreč-

ju, predvsem kot trovalentno železo. Tako, kot so bobovci med seboj različni po barvi, se razlikujejo tudi po vsebnosti dvo- ali trovalentnega železa ter silicija.

Kemične analize bobovcev z Jelovice

|                      | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | FeO  | CaO  | MgO  | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | SO <sub>3</sub> | CO <sub>2</sub> + H <sub>2</sub> O |
|----------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|------|------|------|-------------------------------|-----------------|------------------------------------|
| Bobovec — rumenorjav | 5,26             | 0,12                           | 79,87                          | 1,67 | 0,70 | 0,48 | 0,48                          | 0,20            | 11,20                              |
| Bobovec — rjav       | 1,70             | 0,25                           | 85,63                          | 1,29 | 0,50 | 0,28 | 0,43                          | 0,23            | 9,70                               |
| Bobovec — črnorjav   | 1,32             | 0,11                           | 86,22                          | 1,29 | 0,34 | 0,20 | 0,34                          | 0,23            | 9,74                               |

Po zunanosti, to je po obliki prevladujejo ploščati, debeli bobovci, ki so v nekaterih primerih bolj grobi in manj gladke površine kot bohinjski. Najdemo jih prostoležeče med kamenjem, prstjo in ilovico ter vrasle skupno z drugimi kameninami.

**Zaključek**

Vsi limoniti Julijskih Alp so produkt sedimentacije, razen tistih z izposojeno zunanjo obliko. Železni bobovci so večji del produkt precej čistih

oblik železovega hidroksida, medtem ko drugi limoniti vsebujejo več kremenca ali kremenice silikatov ter spremljajoče baze kot so Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaO in MgO. Čim več je bilo primesnin, tem manj je bilo železa v rudi, kar je razvidno iz kemičnih analiz. Glede na to, da je bobovcev v razmerju z drugimi limoniti manj, govori v prid dejstvu, da so železna rudišča v zvezi s kameninami peridotitske skupine maloštevilna. Vsi rezultati, kolikor jih je bilo mogoče zbrati, imajo neko osnovo za nadaljnje teoretično razglabljanje o rudi, iz katere je človek uspel dobiti pravo železo.

## Škodljivost dimnih plinov in prahu v ozračju

V splošnem imamo v zraku vidne prašne delce in nevidne plinaste primesi, ki izvirajo iz raznih industrijskih naprav.

Pri mnogih proizvodnih procesih se tvorijo škodljive pare in plini; nove delovne postopke pa v mnogih panogah industrije spremlja obilica prahu. Eno kakor drugo kvarijo ozračje, pa naj gre to za vidne delce prahu in saj, ali pa za nevidne plinske primesi.

Skoda, ki nastane zaradi teh pojavov, ne prizadene le zdravja ljudi, ampak učinkuje tudi na rast in razvoj živali in rastlinstva, povzroča korozijo in zaprašitve na gradnjah iz kamna in kovine in še vrsto raznih drugih nevšečnosti. Posebno velik problem predstavljajo spojine žvepla v dimnih plinih, ki povzročijo s tvorbo kislin motnje v ozmo-tičnem tlaku kislinskih koncentracij, kar seveda vpliva na rast in razvoj raznih kulturnih rastlin in dreves. Kisline kemično spremenijo klorofil, listje se prebarva in proces fotosinteze je prekinjen.

Poskusi so pokazali, da človeški organizem prenese razmeroma visoke koncentracije. Tako n. pr. prenese človek na svojem delovnem mestu koncentracijo  $12 \text{ mg SO}_2/\text{m}^3$ , medtem ko je kritična meja pri rastlinah že okrog  $0,5 \text{ mg SO}_2/\text{m}^3$ . Vpliv visokih koncentracij, ki delujejo na človeka, se pokaže v hitri utrujenosti. Prisotnost žveplovega dioksida ugotovimo lahko neposredno z našimi čutili, saj ima koncentracija  $3 \text{ mg SO}_2/\text{m}^3$  že okus po žveplu, pri  $6 \text{ mg SO}_2/\text{m}^3$  pa ga že ovohamo. Koncentracija  $\text{SO}_3$  pa je mnogo nevarnejša od  $\text{SO}_2$ . Dopustna maksimalna koncentracija na delovnem mestu je le  $1 \text{ mg}/\text{m}^3$ .  $\text{SO}_3$  tvori kondenzacijska jedra za tvorbo megle in tako lahko doseže njegova koncentracija pri močni oblačnosti  $6,8 \%$ , pri megli  $15,7 \%$  in pri dolgotrajni megli celo  $30 \%$  od količine  $\text{SO}_2$ .

V decembru 1952 je v Londonu umrlo več kot 4000 ljudi zaradi zastrupitve z dimnimi plini. Ta pojav je znan pod imenom SMOG (dim — smoke in megla — fog). Pri tej Smog — katastrofi je znašala koncentracija  $3,5 \text{ mg SO}_2$  na kubični meter s sajami nasičenega zraka.

Poleg  $\text{SO}_2$  so v zraku zelo škodljive primesi klordifenila in fosforjevega pentaklorida. Vanadijev pentoksid ( $\text{V}_2\text{O}_5$ ) povzroča pri človeku slabosti, ki se na zunaj kažejo v bledici in drgetanju, jezik spremeni barvo in nastopijo močne bolečine v prsih. Tej nevarnosti so često izpostavljeni delavci, ki čistijo kotle, saj tu nastopa  $\text{V}_2\text{O}_5$  pogosto v visokih koncentracijah, ki dosežejo 10 in celo  $40 \%$ . V Ame-

riki je maksimalna vrednost postavljena na  $0,5 \text{ mg V}_2\text{O}_5/\text{m}^3$ .

Tudi saje znajo biti zdravju škodljive in sumijo, da lahko posredno izzovejo rakasta obolenja. Statistika je pokazala, da je n. pr. rak na pljučih trikrat pogostejši v gosto naseljenih industrijskih krajih kot pa na podčelju. Količina saj pa ni odvisna samo od boljšega ali slabšega zgorevanja, ampak tudi od vrste goriva. Zgorevanje trdnih goriv daje neprimerno več saj kot n. pr. zgorevanje mazuta. Trdna goriva dajo od 100 do 200 krat več pepela kot mazut, zato pa vsebuje pepel mazuta več  $\text{V}_2\text{O}_5$ . Saje od frakcij zemeljskega olja preletijo večje daljave in imajo večjo aktivno površino kot saje trdnih goriv.

Ker bomo tudi na Jesenicah prešli na kurjenje SM peči z mazutom, bo mogoče zanimivo, če pregleđamo na kratko karakteristične posebnosti take kurjave. Mazut vsebuje do  $4 \%$  žvepla, medtem ko ga ima premog  $1-3 \%$ , koks pa le  $0,8-1,2 \%$ . Medtem ko se pri zgorevanju trdnih goriv veže velik procent žvepla z žlindro in pepelom, pa odhaja pri zgorevanju mazuta vsa količina z dimnimi plini v obliki  $\text{SO}_2$  in  $\text{SO}_3$  v ozračje, če jih seveda ne vežemo z dodatki dolomita oziroma amoniaka.

Pri oljni kurjavi lahko dosežemo, da zapuščajo dimnik pri dobrem zgorevanju le mikroskopsko majhni delci. Problem pa še vedno predstavljajo oksidi žvepla, ki se ne dajo ne separirati, ne filtrirati in jih je možno le kemično vezati.

V borbi proti dimu, prahu in škodljivim plinom so posamezne države izdelale uredbo in predpise, ki pa se med seboj zelo razlikujejo in so v nekaterih primerih pretirano stroge, v drugih pa preveč tolerantne. Če pogledamo po posameznih državah, kaj zajamejo njihove uredbe, vidimo sledeče:

### a) Amerika:

V Ameriki se predpisi v glavnem nanašajo le na izvore saj in črnega dima. Stopnjo temne barve dima določajo optično z Ringelmannovo skalo. Od velikoga števila predpisov so najvažnejše sledeče omejitve:

1. Predpisana stopnja odprševanja znaša vsaj  $70-85 \%$
2. Količina prahu v očiščenem plinu je omejena na  $1-1,2 \text{ g}/\text{Nm}^3$
3. Dopustna količina prahu, ki ga izpuščajo v atmosfero je določena v  $\text{kg}/\text{h}$

4. Dopustna količina prahu, ki ga izpuščajo v atmosfero, je podana v količini, odvisni od količine v procesu uporabljene surovine.

Pline, ki jih izpuščajo v ozračje, omejujejo uredbe le v nekaterih okoliših. Mejne vrednosti za razne koncentracije so naslednje:

za prah, ki ga tvorijo mineralni delci 1770 Mio del/m<sup>3</sup>,

za strupene pline in pare pa kot so antimon, arzen, barij 0,5 mg/m<sup>3</sup>,

SO<sub>2</sub>, Klordifenil, Pfosforpentaklorid 1 mg/m<sup>3</sup>,

Železov oksid, cinkov oksid in magnezijev oksid 15 mg/m<sup>3</sup>.

b) Rusija:

Vrednosti za najvišje še dovoljene koncentracije v ozračju so vnesene v naslednji tabeli:

| Snov                       | Najvišja enkratna koncentracija mg/m <sup>3</sup> (neposredna okolica obrata) | Srednja 24-urna koncentracija mg/m <sup>3</sup> (stanovanjski predeli) | Internacionalne MAK vrednosti mg/m <sup>3</sup> |
|----------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|
| SO <sub>2</sub>            | 0,50                                                                          | 0,15                                                                   | 13                                              |
| H <sub>2</sub> S           | 0,03                                                                          | 0,01                                                                   | 30                                              |
| CO                         | 6,00                                                                          | 2,0                                                                    | 110                                             |
| dušikovi oksidi            | 0,30                                                                          | 0,10                                                                   | 9 (NO <sub>2</sub> )                            |
| prah (netoksičen)          | 0,50                                                                          | 0,15                                                                   | dim. želez. oksida 15                           |
| mangan in mang. spojine    | 0,03                                                                          | 0,01                                                                   | 6                                               |
| fluorove spojine           | 0,03                                                                          | 0,01                                                                   | 0,2                                             |
| žveplena kislina           | 0,3                                                                           | 0,10                                                                   | 1,0                                             |
| svinec in svinčene spojine | —                                                                             | 0,0007                                                                 | 0,2                                             |

Iz tabele sledi, da morajo biti stanovanjski predeli ločeni od industrijskih, ker se s tehničnimi sredstvi ne da doseči predpisane stopnje očiščenja.

c) VDI predpisi:

1. Prah plavžev

Maksimalna količina pri stalnem pogonu sme znašati 20 mg/Nm<sup>3</sup> čistega plina. V plinih, ki izhajajo iz peči, ki so kurjene s plavžnim plinom, pa 50 mg/Nm<sup>3</sup> dimn. plinov.

2. Prah iz naprav za sintranje

Maks. količina prahu je omejena na 0,7 g/m<sup>3</sup> odhajajočih plinov. Običajne vrednosti brez čistilnih naprav za SM peči, Bessemerjeve konverterje, elektropeči na el. lok in kupolke pa znašajo:

3. SM peči 0,7 g/m<sup>3</sup>

4. Bessemerjev konverter 2,3 g/m<sup>3</sup>

5. Elektropeč na el. lok 0,9 g/m<sup>3</sup>

6. Kupolka 3,5 g/m<sup>3</sup>

Ce pomislimo, da plavži »izkadijo« 3 do 4% koksa od šarže in da je koncentracija prahu pri plavžnem plinu do 200 g/Nm<sup>3</sup>, pri pražilnih pečeh pa celo do 250 g/Nm<sup>3</sup>, vidimo, kako velike količine prahu morajo iz plinov izločiti čistilne naprave, da dosežejo s predpisi določene vrednosti.

d) Holandija:

Predpisi, ki se nanašajo na maksimalni izmet prahu v odvisnosti od višine dimnika, določajo naslednje maksimalne vrednosti:

| Višina dimnika m | Celotna količina prahu g/Nm <sup>3</sup> | Dopustni izmet prahu za delce večje od 50 µg/Nm <sup>3</sup> |
|------------------|------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|
| 35               | 0,5                                      | 0,0125                                                       |
| 50               | 1                                        | 0,025                                                        |
| 70               | 2                                        | 0,05                                                         |
| 87               | 3                                        | 0,075                                                        |
| 100              | 4                                        | 0,10                                                         |

Predpis nadalje še določa, da mora biti dimnik vsaj 1,5 krat višji od najvišje stavbe, ki se nahaja v okolju 250 m od dimnika.

Kot smo videli, je v Holandiji količina prahu predpisana z višino dimnika. Tudi za koncentracije škodljivih plinov v splošnem velja pravilo, da so tem manjše, čim višji je dimnik. Za izračun približne višine dimnika velja v zadnjem primeru naslednji obrazec:

$$H = 1,65 \sqrt{\frac{Q}{S \cdot U}} \quad (\text{m}) \quad \text{kjer pomeni}$$

Q ... odhajajoča količina SO<sub>2</sub> na dan v kg/dan (1 kg S → 2 kg SO<sub>2</sub>)

U ... srednja hitrost vetra m/s (2—5 m/s)

S ... maksimalna dopustna koncentracija na tleh v mg SO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>

Za rastline je maks. količina S = 0,5 mg/m<sup>3</sup>

Za ljudi (na delovnem mestu) S = 12 mg SO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>

Pri višini dimnika H = 100 m se v splošnem lahko računa, da se plini razredčijo pri normalnih pogojih v razmerju 1 : 1000 do 1 : 5000, preden dosežejo površino tal in pri tem seveda SO<sub>2</sub> in SO<sub>3</sub> izgubita ves svoj škodljivi učinek. Drugače pa je, če nastopi inverzno stanje, t. j., če je zrak pri tleh