

ŽIVA (Hydrargyrum, Hg), kemijski element s atomnim brojem 80 i relativnom atomnom masom 200,59. Živa je metal i nalazi se u II. B podskupini periodnog sustava elemenata, zajedno sa cinkom i kadmijem. Prirodna se živa sastoji od 7 stabilnih izotopa: ^{196}Hg (0,146%), ^{198}Hg (10,02%), ^{199}Hg (16,84%), ^{200}Hg (23,13%), ^{201}Hg (13,22%), ^{202}Hg (29,80%) i ^{204}Hg (6,85%). Osim stabilnih, postoji i dvadesetak umjetnih, nestabilnih, radioaktivnih izotopa, među kojima najdulja vremena poluraspada imaju izotopi ^{194}Hg (130 dana), ^{197}Hg (65 sati) i ^{203}Hg (47 dana). Elektronska je konfiguracija atoma žive $[\text{Xe}]4f^{14}5d^{10}6s^2$.

Zbog svojih fizikalnih i kemijskih svojstava kojima se umnogome razlikuje od ostalih metala, živa i njezini spojevi primjenjuju se od davnine u praksi i znanosti za različite svrhe. Živa je pri običnoj temperaturi jedini tekući i hlapljivi metal i najteža tekućina, otapa mnoge metale i s njima se legira, kemijski je otporna poput plemenitih metala. U spojevima je većinom vezana kovalentno, a tvori i stabilne organoživine spojeve s kovalentnom vezom živa–ugljik.

Metalna se živa upotrebljava u elektrotehnici, elektrokemiji i kemijskoj tehnologiji, sastavni je dio laboratorijskih i mjernih instrumenata, legirana s metalima kao amalgam primjenjuje se u zubarstvu, u izradbi ogledala i u preparativnoj kemiji, a u parovitom stanju u vakuumskoj tehnici, kao prijenosnik topline i dr. Živin(II) sulfid, živin glavni mineral cinabarit ili rumenica, poznat je kao pigment cinober, živin oksid sastojak je suvremenih galvanskih baterija, od klorida je kalomel bio lijek i kozmetičko sredstvo, a sublimat sredstvo za obradu dlakâ pri izradbi pusta i baktericid, fulminat služi kao inicijalni eksploziv, a organoživini spojevi kao lijekovi i pesticidi.

Da je živa otrovna, a pogotovo da su otrovni njezini spojevi, odavno je bilo poznato. Tek današnja kemija pronalazi živinim spojevima prikladnu zamjenu, a postupke sa živom zamjenjuje drugim postupcima. Ipak, u pojedinim primjenama nema joj zamjene, pa se pri upotrebi žive i njezinih spojeva mora učiniti sve da se otkloni opasnost od njezina štetna djelovanja na ljude i okoliš.

Čovjek je veoma davno upoznao cinabarit, glavni živin mineral u kojem se kao sulfid nalazi skoro sva kemijski vezana živa u prirodi. U rudnim se žilama, uz cinabarit, pojavljuje često i samorodna živa, pa se čovjek i s njome rano upoznao, ali je nije znao upotrijebiti. Fino usitnjen cinabarit primjenjivao se kao crveni pigment.

Piktogrami na kostima za proricanje u drevnoj su Kini, oko \leftarrow 1100. godine, dječlom bili napisani tintom od cinabarita. Kineski su alkemijari (od \leftarrow II. do IV. stoljeća) znali kako se od cinabarita dobiva živa i kako se od žive načine kloridi, kalomel i sublimat, a živa pomoću sumpora vrati u cinabarit, kojem su dali glavnu ulogu u postizanju dugovječnosti.

U Europi, Sredozemlju i na Bliskom istoku u pretpovijesno se doba cinabarit također upotrebljavao kao pigment. Feničani su od \leftarrow VIII. do \leftarrow III. st. iskorištavali rudnik Almaden u Španjolskoj. O počecima poznavanja i upotrebe metalne žive nema pouzdanih arheoloških nalaza. Ali, arheološki nalazi potvrđuju pretpostavku da su Etrurci u rudniku Monte Amiata u današnjoj Toskani zajedno sa cinabaritom vadili i živu, a to su poslije činili i Rimljani kad je potražnja za metalnom živom porasla radi njezine primjene u metalurgiji plemenitih metala.

Prvo pisano svjedočanstvo o metalnoj živi potječe iz \leftarrow IV. stoljeća. Aristotel (\leftarrow 384 do \leftarrow 322), u djelu *Meteorologika IV*, nazvao je živu tekućim srebrom i ubrojio je među tekuće koje se ne mogu smrznuti. Aristotelov je nasljednik Teofrast (oko \leftarrow 370 do \leftarrow 285) u djelu *O kamenju* prvi opisao navodno dobivanje žive. Plinije Stariji zapisao je u I. st. u djelu *Prirodoslovlje* da su rimski rudnici godišnje proizvodili oko 4 500 kg žive.

Grčki liječnik Dioskorid zapisao je u I. st. da se živa koja izađe iz cinabarita ugrijava u željeznom loncu kondenzira na hladnom poklopcu. Dioskoridovo je opažanje vodilo do naprava za destilaciju što su ih upotrebljavali prvotni aleksandrijski kemičari u prvim stoljećima poslije Krista. Postupak dobivanja žive iz cinabarita bio im je dobro poznat. U to su doba i kineski alkemijari dobivali živu iz cinabarita i služili se posebnom napravom za destilaciju žive. Zbog svoje sposobnosti otapanja metala živa je služila za pozlaćivanje, za ekstrakciju zlata i srebra te za izradbu amalgamnih ogledala.

Povijest je žive dobrim dijelom i povijest kemije, osobito one u ranijim razdobljima. U aleksandrijskoj kemiji, kojom je započela europska kemija u prvim stoljećima poslije Krista, živa je bila počelo svih metala. Prema stoičkoj filozofiji, koja je, uz Aristotela, najviše utjecala na prvotnu kemiju, aktivni je princip svih stvari bila *pneuma*, lat. *spiritus*, duh koji tvar čini onakvom kakva jest. Pokusi sa živom uvjerali su aleksandrijske kemičare da su živine pare upravo taj duh koji tvar čini metalom, a dokaz za to bilo im je svojstvo žive da otapa metale. Takvo se mišljenje vrlo dugo održalo i kemičari su u živi vidjeli samo nositelja metalnih svojstava, a ne pravi metal. Iako je G. Agricola (1494–1555) u djelu *De re metallica* živu sasvim određeno označio metalom, pristalice su učenja o živi kao počelu svih metala još u XVII. i XVIII. st., tražili postupak kojim bi živu pretvorili u čvrsti metal ili metale kao olovo pretvorili u živu. Bila je to potraga za *mercurius metallorum*.

Konačno je živa bila potvrđena i u čvrstom stanju i nije više bilo razloga ne priznati je metalom. Naime, nakon vijesti o smrznutoj živi u barometru i termometru za jake zimske hladnoće u Tomsku (1734) i Irkutsku (1736), kojoj nitko

nije vjerovao, I. A. Braunu se u Petrogradskoj akademiji znanosti, prilikom pokusa s hladnom smjesom snijega i dušične kiseline (1759), smrznula živa u termometru. Očvrslu je živu opisao kao srebrnobijeli, poput olova kovki metal.

U povijesti dobivanja žive na veliko izbor je postupka ovisio o stupnju tehničkog razvoja. U početku se ruda zagrijava u zemljanom loncu, a dodatak je bio slučajan, tj. jalovina (kamen, zemlja). Napredak je postignut pomoću peći u kojima se na višoj temperaturi cinabarit raspadao na živine i sumporne pare, a izgarao je samo sumpor. Agricola je opisao tzv. destilaciju nadalje, *destilatio per descensum*. Na kondenzacijski bi se čup, u kojem je bilo nešto vode i koji je do ruba bio zakopan u zemlju, pijesak ili pepeo, nasadio, otvorom na otvor, preokrenut čup s rudom, dobro začepljen mahovinom, a s rubovima oblijepljenim glinom. Sedamsto pari tako namještenih čupova činili su veliko ognjište na kojem se nalazila jaka vatra. Živa izlučena iz rude u gornjem loncu kondenzirala se u donjem, hladnom loncu, zaštićenom od vatre (sl. 1).



Sl. 1. Tzv. destilacija nadalje (prema Agricoli)

U Idriji, gdje je bila otkrivena 1490. godine, živa se od 1497. dobivala zagrijavaњem rude u zemljanim čupovima destilacijom nadalje, kako se to radilo i u drugim europskim rudnicima. Prve su peći sa zemljanim retortama uvedene 1557. a sa željeznim retortama tek 1635. godine. Tek su 1750. odbačene retorte i uvedene plamene peći s kondenzacijom žive u aludelama. Tijekom XIX. st. aludele su bile zamijenjene željeznim cjevovodima za kondenzaciju, a zatim je izgrađeno još nekoliko jarnih i mufočnih peći. Jamne peći na neprekinuti pogon, izgrađene prema projektu V. Špireka, idrijskog stručnjaka za peći, dopuštale su preradu samo bogate rude, jer su se morale puniti ovećim komadima rude radi slobodnog protoka zraka i plinova. Taj je nedostatak 1880. godine uklonio J. Čermak, rudarski savjetnik u Idriji. U peć je ugrađio pregrade od šamotne opeke u obliku obrnutog slova V preko kojih se ruda krivudavo spuštala od vrha do dna peći i ostavljala dosta mjesta za protok vrućeg zraka i plinova. U Čermak-Špirekovim kaskadnim pećima mogla se prerađivati i siromašna ruda, pa su te peći 80-ih godina prošlog stoljeća uvedene u ostale europske rudnike žive. Kapacitet je peći bio \sim 100 t rude na dan. U to su doba u američke rudnike uvedene Scottove kaskadne peći na sličnom principu (New Almaden, 1876). Već se u prvim desetljećima ovog stoljeća završava povijest dobivanja žive u kaskadnim pećima, a njezina su sadašnjost peći s mehaničkim rješenjem, u prvom redu rotacijske i etažne plamene peći.

ŽIVA U PRIRODI

S prosječnim udjelom od 0,083 dijelova na milijun u Zemljinjnoj kori živa je među kemijskim elementima na 65. mjestu. Udio žive u morskoj vodi nije veći od 0,0003 dijelova na milijun. U biosferi, u tkivu biljaka i životinja, živa se ubraja u mikroelemente s udjelom od 0,015 (kritosjemenjače), 0,03 (alge), 0,05 (sisavci), 0,3 (ribe) dijelova na milijun.

Minerali i rude. Kao *samorodan metal* živa se pojavljuje u kapljicama u malim količinama zajedno s cinabaritom (rumenicom), vjerojatno kao proizvod redukcije. U prirodi ima i živinih slitina, amalgama, i to sa srebrom: amalgam $\alpha(\text{Ag,Hg})$, kubičan, s $5 \cdot 23\%$ Hg kao *kongsbergit*, s $13,5\%$ Hg kao *arkverit*, s $30,8\%$ Hg kao *bordosit*, te kubičan amalgam $\gamma(\text{Ag,Hg})$, s $50 \cdot 70\%$ Hg kao *landsbergit*; sa zlatom: *zlatni amalgam*, približno Au,Hg_3 , meko zmje i kuglice, ali i kapljice u zlatnim pijescima; s paladijem: *potarit*, kubičan, približno PdHg, kojeg ima u riječnom pijesku.

Sulfidi, selenidi i teluridi. Živin(II) sulfid, HgS, nalazi se u prirodi u obje svoje modifikacije, u heksagonskoj crvene boje kao *cinabarit* (rumenica) i u manje stabilnoj kubičnoj modifikaciji crne boje kao *metacinabarit*. Metacinabarit se obično pojavljuje u malim količinama kao pratilac cinabarita u obliku praha ili prevlake crne boje, u većoj količini samo u nekim ležištima u

SAD i bivšem SSSR. Metacinabarit prelazi zagrijavanjem u cinabarit, pa njegova prisutnost ne utječe na metaluršku obradbu cinabarita. Cinabarit se najčešće nalazi u gustim zrnatim ili zemljastim agregatima, rijetko u kristalima. *Timanit*, HgSe, kubičan je kao i metacinabarit, najčešće zrnat i gust, sive do crne boje metalna sjaja. Nalazišta u planini Harz iskorištavaju se radi selenena. *Koloradoit*, HgTe, kristalografski jednak metacinabaritu, u gromadama crnosive boje, pratilac je zlatnih ruda. *Onofrit*, Hg(S,Se), i *gvadalkazarit*, (Hg,Zn)(S,Se), također kristaliziraju u kubičnom sustavu kao metacinabarit. U polisulfidima skupine sinjavaca pojavljuje se u Bosni živonosni tetraedrit *švacit*, (Cu,Hg)₃SbS₃₋₄, kubičan, čeličnosive boje, a služio je za dobivanje žive. U tioantimonatu nalazi se *livingstonit*, HgSb₄S₇, monoklinski, olovnosive boje.

Halogenidi. Od živinih su halogenida kao minerali poznati samo živin(I) klorid i njegovi derivati. *Kalomel*, Hg₂Cl₂, tetragonski, bijele boje, ako je nečist sive ili smeđe, pratilac je drugih živinih minerala jer nastaje njihovim trošenjem. Mineral sastava Hg₂I₂ nije dokazan kao ni *kokcinit*, HgI₂, dok je *tokornalit* smjesa HgI₂ i AgI, a *borдозit*, smjesa kongsbergita s kloridima srebra i žive. Rijetki su minerali bazični živin(I) klorid, zapravo oksid-klorid, Hg₂Cl₂·HgO, *terlingvait*, monoklinski, proziran, zelenkast ili žut, kojeg ima u živinu rudniku Terlingua u Teksasu, i *eglestonit*, (Hg₂)₃O₃HCl₃, kubičan, smeđežut. Veoma su rijetki *mosesit*, [Hg₂N]Cl·H₂O, kubičan, žute boje, i *klajnit*, [Hg₂N](Cl,SO₄)·xH₂O, heksagonski, žute boje, soli Millonove baze.

Oksidi. Od oksida poznat je jedino *montroidit*, HgO, rompska modifikacija živina(II) oksida, crven, proziran, u obliku stupičastih i plastično savitljivih kristala; ima ga u malim količinama u sjevernoameričkim živinim rudnicima. Oksi-sulfat, mineral *šuetit*, [Hg₃O₂]SO₄, heksagonski, zelenkastožut, rijedak je u kalifornijskim rudnicima na površini kamenja koje sadrži cinabarit.

Nalazišta i rudnici. Geokemijska je pokretljivost žive uzrok njezinoj raširenosti u Zemljinoj kori te u malom broju ležišta gdje se izlučila u većoj količini. Računa se da se od ukupnog udjela žive u Zemljinoj kori samo 0,02% nalazi u velikim ležištima. Tektonski su poremećaji uzrokovali prodiranje žive iz donjih slojeva u gornje, pa se živa pojavljuje u gornjim slojevima bez obzira na njihov postanak. Glavnu je ulogu u odlaganju žive imala metamorfoza hidrotermalnim procesima. Većina je ležišta u naborima gornjih slojeva došla na vidjelo erozijom. Poznata su samo dva velika ležišta koja mogu dati više od 1000 tona žive godišnje: Almadén u Španjolskoj i Monte Amiata u Italiji. Više od 400 tona žive godišnje mogu dati ležišta u SAD i Meksiku, u Sloveniji (Idrija), u bivšem SSSR, Kini i Alžiru, a manje od toga ležišta u Turskoj, Filipinima, Peruu, Čileu i Kolumbiji. Iz tih ležišta potječe oko dvije trećine ukupne svjetske proizvodnje žive. Ostalo, već prema potražnji, daju mnoga manja nalazišta siromašnije rude, što je važno i za suvremenu proizvodnju žive. U Almadénu se, npr., 1913. iskorištavala ruda s 8,2%, a godine 1968. sa samo 1,2% žive.

Almadén u Španjolskoj, najveće nalazište s najvećom proizvodnjom žive na svijetu, iskorištavalo se još prije Krista, za Rimljana, a osobito u srednjem vijeku za Arapa. *Al-madin* na arapskom znači rudnik (u Bosni *majdan*, prema turskom). Rudno se područje nalazi na obroncima planine Sierra Morena, na nadmorskoj visini od 700 m, u pokrajini Nova Kastilija. Sastoji se od sedimentnih stijena naboranih erupcijom granita, dijabaza i porfira. Ruda je kvarcit impregniran grubokristaličnim cinabaritom s uprskanom živom. Unatoč redovitoj proizvodnji zalihe su žive velike, procjenjuju se na ~5 milijuna tona.

Monte Amiata u Italiji (južna Toskana), drugo je veliko nalazište s rudnicima žive u svijetu. Tu su već Etrurci kopali rudu, a Rimljani su rudnik zanemarili i prednost dali Almadénu. Živa se tu proizvodi ponovno od 1846. godine. Ruda se pojavljuje u sedimentima (pješčenjaci, lapor, vapnenac) od trijasa do kvartara, većinom u eocenskim sedimentima, a sadrži tamnocrven i kristaličan cinabarit. U posljednje se vrijeme prerađuje siromašnija ruda, s 1,21% žive 1950. godine i s 0,475% žive 1969. godine. U 1969. godini prerađeno je ~355 000 t rude. Na području Monte Amiata ruda se kopa i prerađuje u Abbadia San Salvatore, Solforate de Siele i Grosseto.

U SAD ležišta su živine rude u Kaliforniji, Oregonu, Nevadi, Teksasu, Arizoni, Utahu, Washingtonu, Idaho, Arkansasu i Aljaski, u ukupno nekoliko stotina nalazišta, ali većinom s malim zalihama. Najbogatija su ležišta u Kaliforniji gdje rudnici daju oko polovicu ukupne proizvodnje žive u SAD. Na prvom je mjestu New Idria (San Carlos na južnim padinama planine Mt. Diablo). Nakon što se iscrpio stari rudnik otvoren 1853, iskorištavaju se novi rudnici. Najbogatiju rudu čini cinabarit u glinenim škriljalcima i pješčenjacima. Na početku iskorištavanja udio je žive bio ~10%, a 1930. prerađivala se ruda s 0,25% žive. Od 1858. do 1954. New Idria dala je ~16 400 t žive. Sedamdesetih se godina prerađivalo ~400 t rude dnevno. Drugi je po veličini i proizvodnji rudnik New Almaden u San Joseu s još nekoliko susjednih rudnika. Kad je rudnik bio otvoren (1845), ruda je sadržavala više od 11% žive. Cinabarit se nalazio u grudicama promjera nekoliko centimetara, a najveća nađena gruda težila je 5 kg. Rudnik u području Mayacmas, otvoren također sredinom XIX. st., dao je do 1945. ~15 700 t žive. U Nevadi, po proizvodnji žive drugoj državi u SAD, od mnogih je nalazišta najveće Cordero (područje Opalit, McDermitt), otkriveno 1924, s udjelom žive u rudi 0,05...4%. Treći je po proizvodnji žive u SAD Oregon s ležištem Bonanza u Sutherlinu na prvome mjestu. Od ostalih ležišta u SAD najviše obećavaju ona na Aljaski, Red Devil i Cinabar Creek u području Aniak.

U Meksiku je poznato više od 200 nalazišta živine rude. Najviše žive dao je rudnik Guerrero (Huitzucu), gdje se našao cinabarit s metacinabaritom, ali i s livingstonitom, u vapnenačkim i dolomitnim kršnicima zajedno s različitim mineralima. Ruda koja više nije bogata, s manje od 0,5% žive, obogaćuje se flotacijom. Ležište Huahuactla (Taxco) sadrži još uvijek dosta bogatu rudu s cinabaritom crno obojenim od metacinabarita, *cinabrio negro*, zatim crveni cinabarit s uprskanom živom, nešto montroidita, terlinguaita i kalomela.

U Sloveniji je poznato nalazište i rudnik žive Idrija, oko 40 km zapadno od Ljubljane na jugoistočnim obroncima Julijskih Alpa. Proizvodnja je nešto porasla 1960-ih godina, da bi zatim, zbog pada potražnje i nerentabilnosti proizvodnje, rudnik bio 1977. zatvoren, ali je 1983. reaktiviran. Područje je to složene tektonike s različitim stijenama, u prvom redu vapnenačko-dolomitnim iz trijasa, pješčenjaka i bituminoznih škriljavaca prožetih cinabaritom i samorodnom živom. Bogata se ruda više ne nalazi, a 1950-ih se godina prerađivala ruda s 0,45% žive. Glavni je mineral cinabarit s malim primjesama metacinabarita, samorodne žive (pretežno u škriljalcima), »idrialita« (ugljikovodik idrian, C₃₀H₅₆O₂, s primjesom cinabarita), s dosta epsomita, halotrihita, melanerita i gipsa. Od početka preradbe rude 1497. do sredine ovog stoljeća u Idriji je proizvedeno ~93 000 t žive.

U Ukrajini je najvažnije nalazište živine rude Nikitovka, gdje se cinabarit vadio još u paleolitiku. Tu je cinabarit uprskan u pješčenjacima, a ruda sadrži ~0,3% žive. Vadenje rude obnovljeno je krajem XIX. stoljeća.

U primarnim i sekundarnim ležištima Urala također ima cinabarita. Poznata su i ležišta živine rude u Dagestanu i Gruziji, u Sibiru, na Gornjem Altaju, ali nema podataka o njihovoj iskorištavanju. Među najveća se nalazišta žive ubrajaju ona u srednjoj Aziji, u Turkestanu i u sjevernom dijelu Tian-Shana.

U Kini se najvažnija ležišta živine rude nalaze na širokom području koje se proteže pokrajinama jugoistočni Sichuan i zapadni Hunan, Guizhou i Yunnan. Cinabarit se uglavnom nalazi u vapnenačkim škriljalcima u postkarbonskim naborima i rasjedima u tercijaru. Proizvodnja, koja je po svojoj prilici počela već u XIV. st., dosegla je u XIX. st. vrijednost ukupne proizvodnje ostalih zemalja svijeta, ali je zatim opala. U godini 1957. procijenjena je na 775 t žive.

U Hrvatskoj je cinabarit nađen u pješčenjacima kraj Čabra u Gorskom kotaru i u potočnom pijesku na Samoborskom gorju.

ELEMENTARNA ŽIVA

Fizikalna svojstva. Živa je srebrenobijela sjajna metalna tekućina koja se, uz normalni tlak, skrutne pri -38,87°C, vrije pri 356,57°C. Gustoća joj je 14,393 g/cm³ pri -78°C, 13,595 g/cm³ pri 0°C i 13,534 g/cm³ pri 25°C. Tlak zasićenja živine pare iznosi

0,000 26 mbar pri 0 °C, 0,001 70 mbar pri 20 °C, a 0,368 41 mbar pri 100 °C, što pri tim temperaturama odgovara koncentraciji para u zraku od 0,0023 g/m³, 0,0134 g/m³, odnosno 2,338 g/m³. U intervalu 273...1573 K ovisnost tlaka para o apsolutnoj temperaturi računa se pomoću izraza:

$$\lg p = -0,05223 \frac{a}{T} + b, \quad (1)$$

gdje je $a = 53,700$, $b = 7,752$, ili točnije, u intervalu 393...708 K:

$$\lg p = 9,957094 - \frac{3283,92}{T} - 0,665240 \lg T. \quad (2)$$

Vrijednosti ostalih veličina koje opisuju fizikalna svojstva žive navedene su u tablici 1. Rastezanje je žive s porastom temperature skoro točno linearno u intervalu 0...100 °C. Pri 0 °C električna je provodnost žive 1,58% od provodnosti srebra, pa živa ima veću električnu otpornost ($95,76 \cdot 10^{-8} \Omega \text{ m}$ pri 20 °C) od svih metala izuzev bizmuta. Prije je živa bila etalon za električni otpor, pa se jedinica otpora 1Ω definirala kao otpor živina stupca duljine 106,3 cm i presjeka 1 mm^2 pri 0 °C. Pri temperaturi $4 \cdot 5 \text{ K}$ živa (α -modifikacija čvrste žive) postaje supravodljiva, granica je 4,153 K, uz jakost magnetnog polja od 32 785 A/m. Živa je dijamagnetična.

Tablica 1
FIZIKALNA SVOJSTVA ŽIVE

Svojstvo	Vrijednost
Kritična temperatura	~1480 °C
Kritični tlak	~1150 bar
Kritična gustoća	4,60 g/cm ³
Talište	-38,87 °C
Vrelište	356,57 °C
Gustoća (25 °C)	13,534 g/cm ³
Toplina taljenja	2,367 kJ/mol
Toplina isparivanja (pri vrelištu)	59,455 kJ/mol
Specifični toplinski kapacitet, c_p (0 °C)	0,1397 J/(gK)
Toplinska provodnost (17 °C)	0,082 J/(cm s K)
Koeficijent linearnog toplinskog istezanja (0...100 °C)	$1,826 \cdot 10^{-4} \text{ K}^{-1}$
Električna otpornost (20 °C)	$95,76 \cdot 10^{-8} \Omega \text{ m}$
Magnetna susceptibilnost (25 °C)	$-1,6 \cdot 10^{-7}$
Površinska napetost (25 °C)	$4,84 \cdot 10^{-3} \text{ N/cm}$
Viskoznost (20 °C)	$1,554 \cdot 10^{-3} \text{ Pa s}$
Topljivost: u vodi (25 °C)	0,6 µg/100 g
u benzenu (20 °C)	0,20 µg/100 g
u <i>n</i> -heksanu (40 °C)	0,27 µg/100 g
u metanolu (63 °C)	0,36 µg/100 g
u dioksanu (25 °C)	0,70 µg/100 g

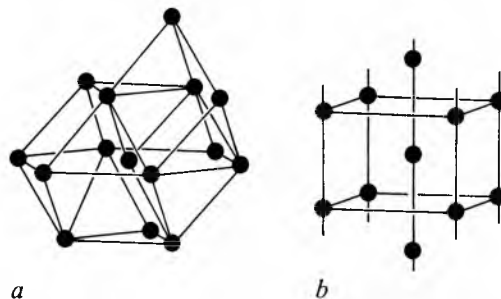
Topljivost je žive u vodi mnogo veća od topljivosti ostalih metala. Prisutnost zraka povećava topljivost do 700 puta, pa je ona onda jednaka topljivosti živina(II) oksida u vodi. Živa je dosta topljiva i u organskim otapalima.

Velika površinska napetost žive u usporedbi s vodom uzrok je razmjerno velikim kapima žive unatoč njezinoj velikoj gustoći. Nečistoje je živi površinska napetost mnogo manja. Kapljice se žive međusobno stapaju, ali se i stanje s veoma sitnim kapljicama može stabilizirati, pa se dobije *koloidna živa*. Za to se primjenjuju mehanički i toplinski postupci i kemijske reakcije. Ako se živa istrlja mašću ili prahom od krede ili šećera, rasprši se na kuglice promjera do 0,002 mm. Tako priređeni preparati upotrebljavali su se u medicini. Koloidna se otopina žive dobije redukcijom živina(I) nitrata s kositrenim(II) nitratom u prisutnosti amonijeva nitrata. Pri veličini čestica od 80...300 nm solovi su u smjeru prolaznog svjetla žuti, crvenosmeđi i sivi, a okomito na taj smjer modri, zeleni i tamnosmeđi.

Živina je para bezbojna i monoatomna. Pri 850 K najmanji je prosječni razmak živinih atoma 0,325 nm, malo veći od onoga u tekućini, pa molekula Hg₂ ima u pari vrlo malo, jer je energija disocijacije ~12,5 J/mol. Živina para nije električno vodljiva.

Međutim, u dovoljno se jakom električnom polju ionizira i postaje vodljiva (v. *Električna pražnjenja u plinovima*, TE 3, str. 672), a pritom se živini atomi pobuđuju na intenzivnu emisiju ultraljubičastog zračenja.

Čvrsta je živa svjetlija od tekuće, nalikuje više kositru nego srebru. Pod tlakom se lako deformira, poput olova, a lom joj je zmat. Čvrsta živa postoji u dvije modifikacije (sl. 2): α -Hg, stabilna pri temperaturi od leđišta do 78 K, i β -Hg stabilna pri temperaturi nižoj od 78 K. Modifikacija β -Hg nastaje hlađenjem uz veliki tlak, a zatim ostaje stabilna i pri normalnom tlaku, ali samo pri temperaturi nižoj od 78 K.



Sl. 2. Kristalna struktura čvrste žive. *a* romboedarska ili α -modifikacija, *b* tetragonska ili β -modifikacija

Modifikacija α -Hg kristalizira romboedarski, s konstantom jedinične ćelije $a = 0,29925 \text{ nm}$, $\alpha = 70^\circ 44,6'$ i s jednim živinim atomom u jediničnoj ćeliji, ili u heksagonskoj postavci s konstantama $a = 0,3457 \text{ nm}$, $c = 0,6663 \text{ nm}$, a jedinična ćelija sadrži 3 atoma. Struktura se temelji na kubičnoj slagalini (A1), ali ne kuglica, nego sploštenih elipsoida (tip strukture A10). Svaki je živin atom okružen sa 6 bližih i 6 daljih atoma, pa je koordinacijski poliedar splošteni kuboooktaedar s razmacima među živinim atomima od 0,3466 nm u šesterokutu i 0,3000 nm između šesterokuta.

Modifikacija β -Hg je tetragonska, a struktura prostorno centrirana s jediničnom ćelijom $a = 0,3995 \text{ nm}$, $c = 0,2825 \text{ nm}$ koja sadrži 2 živina atoma (izračunana gustoća 14,70 g/cm³). Živini se atomi uzduž osi c nalaze na razmaku od 0,2825 nm, a uzduž prostorne dijagonale na razmaku od 0,3159 nm. To znači da svaki živin atom ima dva susjedna atoma na manjem i osam susjednih atoma na većem razmaku.

Kemijska svojstva. Živina su kemijska svojstva određena elektronima zadnje i predzadnje ljuske. Ionizacijska je energija, u usporedbi s drugim metalima, razmjerno velika: 10,434 eV (I.), 18,751 eV (II.) i 34,2 eV (III. ionizacijska energija). Osnovna su stanja: Hg $6s^2(^1S_0)$, Hg⁺ $6s^1(^2S_{1/2})$, Hg²⁺ $5d^{10}(^1S_0)$, Hg³⁺ $5d^9(^2D_{5/2})$. Pobuđena su stanja: $6s(^1S_0) - 6p(^1P_1)$, $6s(^1S_0) - 6p(^3P_1)$ s emisijom u ultraljubičastom dijelu spektra s valnom duljinom 184,959 nm, odnosno 253,652 nm, i $6p(^3P_1) - 7s(^3S_1)$ s emisijom u vidljivom dijelu spektra s valnom duljinom 435,835 nm.

U elektrokemijskom se nizu, za razliku od metala iste skupine, cinka i kadmija, živa nalazi iza vodika, što znači da se živa ne otapa u kiselinama uz razvijanje vodika. Ne otapa se u solnoj kiselini ako nije prisutan zrak. Sumporna kiselina, samo koncentrirana i vruća, otapa živu uz razvijanje sumpornog(IV) oksida. Fosforna kiselina ne djeluje na živu, ali se živa lako otapa u dušičnoj kiselini i s razrijeđenom kiselinom daje živin(I) nitrat, a s koncentriranom kiselinom živin(II) nitrat, ali ga višak žive reducira u živin(I) nitrat.

S klorom se živa spaja pri običnoj temperaturi u živin(I) klorid i dalje u živin(II) klorid. Također, kad se s jodom tare u tarioniku, nastaje zeleni živin(I) jodid, koji s dodatnim jodom daje crveni živin(II) jodid.

Kisik ili suhi zrak ne djeluju na živu pri sobnoj temperaturi, ali reagiraju uz djelovanje ultraljubičastog zračenja ili elektronskog snopa, ili uz električni napon od +1 V na živi. Zagrijavanjem u kisiku ili u zraku pri temperaturi ~350 °C nastaje živin(II) oksid, koji se pri nešto višoj temperaturi raspada na elemente. S ozonom se živa brzo oksidira u živin(II) oksid.

Sumpor, selen i telur reagiraju sa živom, osobito pri povišenoj temperaturi, dok dušik, fosfor, arsen, ugljik, silicij i germanij s

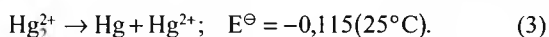
njom ne reagiraju. Vodik također ne reagira sa živom. Prilikom električnog izbijanja u argonu ili kriptonu navodno su spektralno dokazani HgAr i HgKr.

Suhi hidridi, HF, HCl, H₂S, NH₃, PH₃ i AsH₃ ne reagiraju sa živom pri temperaturi nižoj od 200°C, niti to čini voda u odsutnosti kisika. Spojevi HBr, HI i H₂Se reagiraju sa živom pri sobnoj temperaturi. Nemetalni halogenidi reagiraju brzo: ICl zagrijavanjem daje HgCl₂ i HgI₂, S₂Cl₂ daje HgCl₂ i sumpor, SO₂Cl₂ zagrijavanjem stvara SO₂ i HgCl₂, nitrozil-halogenidi i nitril-halogenidi daju živine(II) halogenide, fosforovi halogenidi zagrijavanjem stvaraju živin(II) halogenid i fosfor. Oksidi kao što su SO₂, SO₃, N₂O, NO, CO i CO₂ ne djeluju na živu pri običnoj temperaturi, ali u reakciji s NO₂ nastaje smjesa živina(I) nitrita i nitrata.

Alkalije ne djeluju na živu, ali s amonijevim hidroksidom u prisutnosti zraka nastaje Millonova baza, [Hg₂N]OH · nH₂O. S vodenom otopinom kalijeva jodida živa daje K₂HgI₄, a sa ZnI₂ daje HgI₂. Živa reducira mnoge oksidanse kao što su persulfati, te vanadate(V), kromate(VI), manganate(VII) i ferate(III) u alkalnoj sredini.

Od metala svoje skupine jedino živa tvori dva niza spojeva. U spojevima s oksidacijskim brojem 1+ živa nije jednovalentna, nego dvovalentna, jer je živin atom s jednom valencijom povezan s drugim živinim atomom, a druga je valencija slobodna, pa nastaje ili ion Hg-Hg²⁺ ili skupina -Hg-Hg-.

Normirani elektrodni potencijali imaju pri 25°C ove vrijednosti: Hg²⁺ | Hg 0,854 V, Hg₂²⁺ | Hg 0,7925 V, 2Hg²⁺ | Hg₂²⁺ 0,9075 V. Iz prvih dviju vrijednosti izlazi da za reakciju disproporcioniranja vrijedi



Pripadna konstanta ravnoteže iznosi $1,15 \cdot 10^{-2}$, što znači da je živin(I) ion dosta stabilan u vodenoj otopini. Dodatak reagensa koji veže živine(II) ione pomaknut će ravnotežu slijeva nadesno, a iz otopine će se izlučiti živa. Obrnuto, iz otopine živinih(II) soli mućkanjem sa živom izlučuju se manje topljivi živini(I) spojevi.

U solima oksokiselina, koje su u pravilu hidrati, ion Hg₂²⁺ javlja se kao oksonij [H₂O-Hg-Hg-OH₂]²⁺, a u halogenidima čini molekulu kolinearnih atoma, npr. Cl-Hg-Hg-Cl, koja ne disocira na ione, pa su živini(I) halogenidi gotovo netopljivi. Kad bi postojali spojevi s jednovalentnom živom, bili bi paramagnetični zbog nepodijeljenog elektrona 6s, no ni jedan takav spoj još nije ustanovljen. Prosječan je razmak atoma Hg-Hg u živinim(I) spojevima 0,254 nm, a rastezanje se veze pojavljuje u Ramanovim spektrima s valnim brojem $\sim 172 \text{ cm}^{-1}$.

Od živinih(II) spojeva jedino HgF₂ ima ionsku strukturu po tipu fluorita s ionskim polumjerom $r(\text{Hg}^{2+}) = 0,112 \text{ nm}$ i koordinacijom 8 u kocki fluoridnih iona. U svim ostalim živinim(II) spojevima živin atom ima karakterističnu koordinaciju prema 6sp, 6sp² i 6sp³ hibridizaciji, tj. linearnu u molekuli HgCl₂, trokutnu planarnu u ionu HgBr₂⁻ i tetraedarsku u ionu HgI₂⁻ ili u rešetki metacinabarita ili HgI₂. U karakterističnoj je koordinaciji razmak atoma jednak zbroju kovalentnih polumjera. Za živu kovalentni polumjer $r(\text{Hg})$ ima vrijednosti 0,130 nm, 0,139 nm, 0,149 nm, 0,160 nm i 0,168 nm za koordinaciju 2, 3, 4, 5, odnosno 6. Koordinacijski je broj u merkuratima najčešće 3 ili 4, kao u HgBr₂⁻ ili u Hg(SCN)₂²⁻. Broj 5 poznat je samo u HgCl₂²⁻, a broj 6 samo u nekoliko iona kao npr. u Hg(OH₂)₆²⁺. Koordinacijski broj nije uvijek određen formulom; u spojevima (NH₄)HgCl₃, NaHgCl₃, K₂HgCl₄ · H₂O živa ima efektivnu koordinaciju 6 u sloju, dvostrukoj vrpci, odnosno u jednostrukoj vrpci. Živini kelatni kompleksni spojevi nisu brojni, a najčešći su oni s dušikom i sumporom kao donorom.

Živa ne tvori izravno spojeve s ugljikom. Opisani »karbidi« kao Hg₂C₂ · H₂O i HgC₂ zapravo su derivati acetilena dobiveni njegovim uvođenjem u otopinu živinih(I) soli, odnosno živinih(II) soli.

Fiziološka svojstva. Živa se od davnine spominjala kao lijek i kao otrov. U drevnoj Kini i Indiji živu i njezine spojeve upotrebljavali su za liječenje raznih bolesti. Antički su liječnici, naprotiv, zazirali od primjene žive zbog njezine otrovnosti, pa je ni Dioskorid u I. st. ni Galen u II. st. nisu uvrstili među lijekove. Plinije Stariji zapisao je u I. st., da su rudari u rimskim rudnicima žive umirali otrovni živom.

U elementarnom stanju živa je otrovna u obliku pare ili u obliku veoma sitnih kapljica. Živini spojevi topljivi u vodi veoma su otrovni, a netopljivi nisu. Otrovanje živom, merkurijalizam, obično je kronična, profesionalna bolest, posljedica trajne izloženosti živinim parama ili živinim spojevima u laboratoriju ili u tehnološkom pogonu gdje se primjenjuje živa ili njezini spojevi.

Postojalo je još i medicinsko trovanje živom, tj. nesvjesno trovanje s namjerom liječenja. Naime, čuvana tradicijom, receptura za terapiju živom nije se napuštala. Donedavna se živin(II) klorid upotrebljavao za dezinfekciju, kao sredstvo protiv začeca, zatim još uvijek za liječenje sifilisa itd., a kalomel kao purgativ, protivno suvremenom znanju o fiziološkim svojstvima žive i njezinih spojeva.

Ako živa dospije u krv iz pluća, iz probavnog sustava ili kroz kožu, nakuplja se u bubrežima, jetri, središnjem živčanom sustavu, u žlijezdama s unutrašnjim izlučivanjem i u kostima. Već prema jačini, načinu i trajanju izloženosti, prvi su znaci trovanja živom različiti, ali uglavnom su to suhoća usta i grla, tegobe pri disanju, bol u prsima, drhtavica, razdražljivost, upala desni, prekomjerno izlučivanje sline, nepreciznost u pokretima ruke i prstiju (npr. pri pisanju) i probavne tegobe. Isti su i znaci trovanja živinim spojevima, a pri teškom trovanju nastaje gubitak pamćenja, grčevi, uzetost i smrt. Organoživini spojevi, osobito oni hlapljivi ili lako topljivi u vodi ili u masti, veoma su otrovni. Brzo prodru u živčani sustav i u mozak, osobito alkilživini spojevi, uzrokuju psihoze, smetnje u govoru i vidu, te već spomenute znake trovanja živom. Neki nadražuju kožu i uzrokuju pojavu mjehurića. Općenito, može i doza manja od 0,5 g topljivih živinih spojeva biti kobna pri trovanju preko probavnog sustava.

Prvi se znaci trovanja živom pojavljuju nakon redovitog zadržavanja u prostoriji gdje u zraku ima živinih para više od 0,1 mg/m³, pa se ta vrijednost uzima kao njihova najveća dopuštena koncentracija u zraku. Za osjetljive je osobe ona upola manja, pa se u nekim zemljama (Velika Britanija) dopušta najviše 0,05 mg/m³ živinih para u zraku uz osmosatno radno vrijeme. Znaci se trovanja javljaju pri koncentraciji žive u krvi od 3 · 10⁻¹¹ μg na 100 mL. Najveća dopuštena koncentracija organoživinih spojeva u zraku jest 0,01 mg/m³.

U organizmu živu vežu molekule bjelančevina preko tiolne skupine (-SH), ali je vežu i slobodne molekule cisteina. Nakon trovanja živinim parama živa se u početku razmjerno brzo izlučuje iz organizma mokraćom, a zatim sve sporije dok se ne uspostavi njezin normalni udio.

Proizvodnja žive. Glavna se živina ruda, mineral cinabarit, nalazi u zrcima ili tankim slojevima, u zemljastim nakupinama, rjeđe grudama, u različitim stijenama (vapnencima, dolomitima, kvarcitu, bitumenoznim škrljavcima, pješčenjacima i dr.). Ponegdje ga prate metacinabarit, tiemanit, koloradoit i drugi živini minerali, te samorodna živa. Od ostalih ruda što sadrže živu a nisu samo živine, mogu se dobiti antimon (od ruda koje sadrže antimonit, livingstonit, bertierit) ili arsen (od ruda s realgarom, auripigmentom, arsenopiritom), a živom bogati bakreni i živini sinjavci (tetraedriti) sadrže još i srebro, cink, željezo i bizmut. Proizvodnja žive nije osnovna svrha iskorištavanja takvih složenih ruda.

Glavna je značajka ruda iz današnjih djelatnih rudnika njihova siromašnost živom. Zbog toga je pirometalurški postupak (prženje rude i kondenzacija živine pare) najekonomičniji način njihove preradbe. U suvremenom se postupku upotrebljava usitnjena ruda (komadići prosječnog promjera 20 ··· 65 mm), a Scottove ili Čermak-Špirekove kaskadne peći zamijenjene su etažnim ili rotacijskim pećima. Peći s neizravnim grijanjem i pojedinačnim punjenjem, mufolne i retortne peći, zadržale su se samo radi preradbe amalgamnog otpada, koncentrata i mulja od žive, vode i prašine.

Ruda, makar i siromašna (s udjelom žive rijetko većim od 0,5%), obično se ne obogaćuje flotacijom uglavnom stoga što su troškovi mljevenja veći od troškova prženja. Flotacija se ipak ponekad primjenjuje, npr. u rudniku Itomuko u Japanu, za odvajanje samorodne žive iz rude u kojoj od 0,3% žive na samorodnu živu otpada 0,2%, a ostatak je cinabarit, zatim u nekim rudnicima gdje se obogaćivanje flotacijom pokazalo povoljnijim s obzirom na rudu i kapacitet pogona, kao u rudniku Pinchi Lake u Kanadi,

s ne baš bogatom rudom (0,3% Hg) i s mljevenjem do 0,25 mm. U ostalim je rudnicima (Meksiko, Čile) flotacija uvedena radi separacije neživinih sulfidnih sastojaka, ali s mljevenjem do 0,074 mm. Općenito je, radi obogaćivanja rude, opravdana flotacija živino-antimonskih, živino-arsenskih i antimonsko-živino-fluoritnih ruda, jer bi se inače pare arsenova i antimonova oksida, koje napuštaju peć zajedno sa živinom parom, zajedno s njom i kondenzirale.

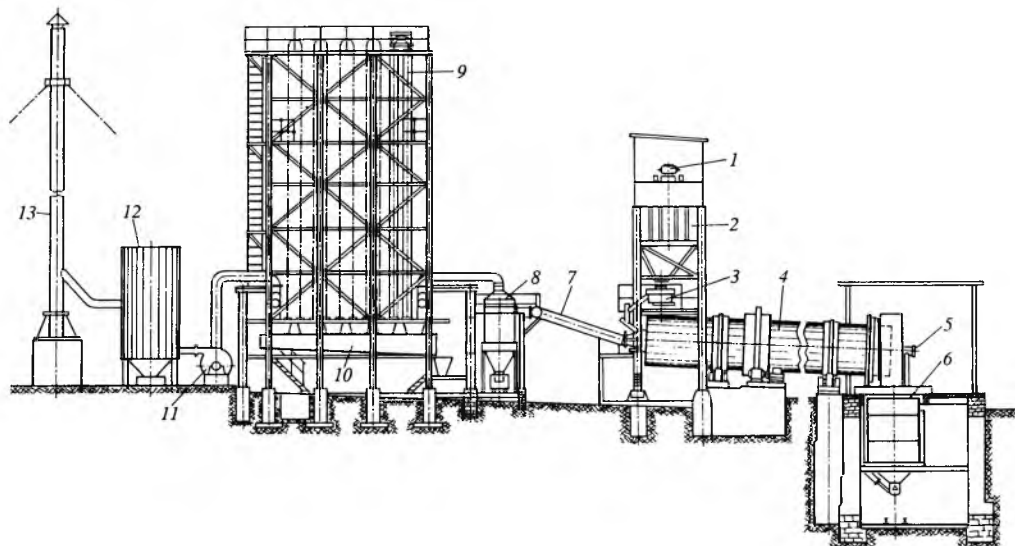
Proizvodnja se žive iz cinabaritne rude sastoji od pripreme rude, prženja rude u peći, čišćenja plinova od prašine, kondenzacije živine pare i obradbe kondenzata.

Priprema rude. Priprema se poglavito sastoji u drobljenju rude. Sušenje se rude danas uglavnom izostavlja ili se ruda suši ako je udio vlage veći od 5%. Uz drobljenje, ruda se i mehanički obogaćuje. Drobljenje je potrebno radi potpunijeg izdvajanja hlapljivog cinabarita iz rude te radi automatskog neprekidnog punjenja peći. Maksimalna je krupnoća rude 75 mm za rotacijske, 30 mm za etažne i 20 mm za mufolne i retortne peći. Cinabarit je krt, mrvlji se, pri lomljenju rude odvaja se od jalovine i svrstava zajedno sa sitnijim komadićima zdrobljene rude. Drobljena se

principu svoje kaskadne peći, koje su se upotrebljavale u rudnicima širom svijeta.

Poslije kaskadnih peći, koje danas imaju samo povijesnu vrijednost, u proizvodnju žive uvedene su plamene peći: rotacijske peći 1913. u rudniku San Salvador u Italiji i etažne (višeognjišne, Herreshoffove) 1916. u rudniku New Almaden. Ipak, rotacijske peći, kao što su one za proizvodnju cementa, više se upotrebljavaju od etažnih, jednostavnije su za pogon i održavanje.

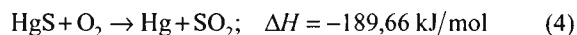
Rotacijske su peći izrađene od čelika s unutrašnjom vatrostalnom oblogom, obično su promjera 1...1,5 m, duljine 10...20 m, s nagibom 3,5...5° i brzinom vrtnje 0,67...2 okretaja u minuti (sl. 3). Loženje je izravno, plamenom plina, loživog ulja ili mazuta. Negdje se rudi dodaje ugljen ili koks. Zagrijava se tako da je na uzdignutom kraju gdje se peć kontinuirano puni rudom temperatura 320...400 °C ili nešto viša, a na spuštenoj strani, do plamenika, gdje pržena ruda napušta peć, temperatura je 700...800 °C. Utrošak je topline oko 1000 000 kJ po toni rude. Prolazak rude traje nešto više od jednog sata, a najtoplijim dijelom peći ruda prođe za nekoliko minuta. Dnevni je kapacitet peći 40...125 t.



Sl. 3. Postrojenje za dobivanje žive s rotacijskom peći. 1 transporter za dobavu rude, 2 spremnik rude, 3 uređaj za punjenje peći, 4 rotacijska peć, 5 plamenik, 6 spremnik pržene rude, 7 izlaz plinova, 8 ciklon, 9 kondenzator, 10 sabirnik kondenzata, 11 eks-haustor, 12 skruber, 13 dimnjak

ruda prosijava (ili ispire vodom), a prah (ili mulj) i sitna frakcija odvojeno se prerađuju. U nekim se rudnicima prerađuje samo usitnjena frakcija, a krupna se odbacuje, što je ekonomičnije, iako se time dio rude gubi. Tako se npr. u rudniku Sulphur Bank u Kaliforniji od 300 t dnevno iskopane rude s 0,136% žive prerađivalo samo 80 t sitne frakcije s 0,4% žive, a krupniji se ostatak odbacivao.

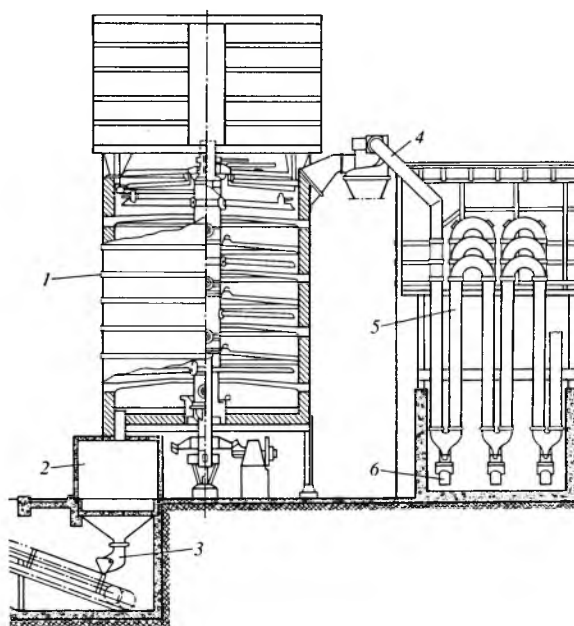
Prženje rude. Prženje se temelji na sagorijevanju sumpora i oslobađanju žive:



i odvija se već pri 350...400 °C, ali se radi odvajanja žive treba provoditi na temperaturi višoj od živina vrelišta, tj. barem pri 357 °C. Da bi pak sav cinabarit izašao iz rude, potrebno je rudu ugrijati barem do 580 °C, tj. do temperature njegove sublimacije. Pri toj se temperaturi smanjuje krupnoća rude, reakcija postaje homogenom, sa svim komponentama u plinovitoj fazi. Još je povoljnije provoditi reakciju na temperaturi višoj od 737 °C kad cinabarit disocira na živine i sumporne pare, pa izgara sumpor, a ne cinabarit, čime se sprečava onečišćenje kondenzata česticama neizgorenog cinabarita. Živin(II) oksid ne može nastati u tim uvjetima jer se raspada već pri 450 °C.

Uvjetima navedene reakcije živina(II) sulfida s kisikom iz zraka udovoljilo se upotrebom peći s izravnim zagrijavanjem rude. Prve takve jamne peći iz XVII. st. bile su napuštene već krajem XIX. st., a najdulje, do 1925, zadržale su se u rudniku Almadén. Godine 1876. u rudniku New Almaden u Kaliforniji uveo je R. Scott prvu kaskadnu peć u kojoj se zdrobljena ruda kontinuirano spuštala niz šamotne kosine prema dnu peći nasuprot struji vrućeg zraka. J. Čermak i V. Špirek uveli su 1886. u Idriji na istom

Etažne peći kružnog presjeka (sl. 4), promjera ~5 m, visine ~7 m, sastoje se od 6...8 vodoravnih podova (ognjišta). Pune se kontinuirano odozgo, a ruda, koja se miješa čeličnim grabljicama



Sl. 4. Postrojenje za dobivanje žive s etažnom peći. 1 etažna peć, 2 spremnik pržene rude, 3 otprema pržene rude, 4 ciklon, 5 kondenzator, 6 sabirnici kondenzata

(lopaticama) na pokretnoj osovini u osi peći, pada s višega na niži pod naizmjenice kroz središnje i rubne otvore u podu. Ruda se na srednjim podovima zagrijava izravno plamenicima, na gornjem do 300 °C, a na donjem do 750 °C. Tijekom 24 sata, već prema veličini peći, preradi se ~50 t rude uz utrošak od ~30 L ulja po toni rude.

Uklanjanje prašine nošene plinovima iz peći ima u proizvodnji žive posebnu važnost. Naime, prašina što dospije u kondenzator priječi sitnim kapljicama žive koje nastaju hlađenjem njezine pare da se sjedine u tekućinu, pa one s kondenziranom vodom stvaraju gusti sivocni mulj koji se taloži u kondenzatoru (u Idriji ga zovu štupa). Udio je žive u mulju 20...85%. Osim prašine, isti učinak imaju proizvodi raspadanja bitumenskih škrljavaca od kojih se ruda sastoji. Tako je bilo u Idriji, gdje je obradba tog mulja davala znatan dio cjelokupne proizvodnje žive. Osim toga, prašinu treba izdvojiti i radi rekuperacije cinabarita.

Iz plinova što izlaze iz peći prašina se uklanja mehanički u ciklonu ili elektrostatički u elektrofiltru, a ponekad se upotrebljavaju oba uređaja u seriji. Udio prašine u plinovima izgaranja iznosi 0,2...6% od količine prerađene rude ili 30...40 g/m³, a veći je nakon prženja u rotacijskoj nego u etažnoj peći. Cikloni, u kojima se ukloni više od 94% prašine, toplinski su izolirani, jer se plinovi sa živinim parama hlade tek u kondenzatoru.

Kondenzacija živinih para. Plin očišćen od prašine, koji sadrži živine pare, kisik, SO₂ i CO₂, ulazi u kondenzator, često i pomoću ekshaustora. Zbog malog obujamnog udjela živine pare u plinu, najčešće manjeg od 0,1%, potrebna je iznimna učinkovitost kondenzatora. Plin treba prvo usporiti na brzinu ne veću od 0,75 m/s, zatim ga ohladiti s 300...350 °C na 20...30 °C i oblikom kondenzatora omogućiti što više sudara živinih kapljica radi njihova stapanja u tekućinu. Europski se tip kondenzatora prema J. Čermaku sastoji od 6...10 nizova od po 8 pari bešavnih cijevi od nehrđajućeg čelika, promjera 25...42 cm i duljine ~10 m. Kondenzat se ispušta na dnu cijevi i skuplja pod vodom u žlijeb koji je zajednički jednom nizu cijevi. Iz prvih se nekoliko nizova cijevi dobiva pretežno živa, iz ostalih štupa. Živa otječe željeznom cijevi u sabirnik odakle se puni u željezne boce.

Plin što izlazi iz kondenzatora sadrži živu u količini razmjernoj tlaku njezine pare pri dotičnoj temperaturi. Uz porast temperature s 20 °C na 30 °C udio živine pare poraste 2,2 puta. Zato se kondenzator hladi vodom, a na njega se preko ekshaustora postavljaju skruberi u kojima raspršena hladna voda oduzme plinu do 60% preostale živine pare, što osim gospodarskog ima i ekološki učinak. Plinovi se zatim kroz dimnjak ispuštaju u atmosferu.

Za znanstvene je svrhe potrebna čista živa. Čistoća je kupovne žive obično 99,99%, pa ju je za posebnu upotrebu potrebno očistiti. Metali koji se lako oksidiraju uklanjaju se propuhivanjem zraka i filtracijom oksida izlučenih na površini. Može se čistiti i tako da sitne kapljice žive padaju kroz razrijeđenu (8%-tnu) dušičnu kiselinu, a skupljena se živa ispire vodom i otopinom amonijeva nitrata. U elektrolitičkoj je rafinaciji živa anoda, a elektrolit je otopina HgO u perkloratnoj kiselini. Najčešće se primjenjuje vakuumska destilacija, prema G. A. Hulettu, za što postoje posebne komercijalne aparature, a postiže se čistoća od 99,9999%.

U svijetu se godišnje proizvodi ~6000 t žive. Najveći su svjetski proizvođači žive zemlje bivšeg SSSR, Španjolska, Kina, Alžir, SAD i Meksiko.

Upotreba žive, opasnost od trovanja i zagađenja okoliša, zaštitne mjere, kontrola i analiza. Živa je bila vrlo važna u razvoju prirodnih znanosti, prije svega kemije i fizike. Svojim pokusima sa živom, već u prvim stoljećima poslije Krista, alexandrijski su kemičari upoznali ne samo svojstva žive nego i drugih tada poznatih metala i nemetala. Njihove su pokuse nastavili arapski, a zatim europski alkemičari, a iatrokemičari su uveli živu i njezine spojeve u noviju medicinu.

U razvoju fizike živa je često imala odlučujuću važnost. Pomoću živina stupca u staklenoj cijevi E. Torricelli je u XVII. st. ne samo izumio barometar nego je ispitivanje atmosfere sveo na laboratorijsko mjerilo i otvorio razdoblje ispitivanja plinova koje je ranije započeo R. Boyle, opet pomoću žive. Stoljeće poslije švedski je astronom A. Celsius načinio termometar sa živom, pa je živa otada za znanstvene i praktične svrhe postala neizbježna.

Danas se živa upotrebljava u metalnom stanju, u obliku amalgama te anorganskih i organoživinih spojeva.

Upotreba je žive u metalnom stanju vrlo velika. Među uređajima i aparatima sa živom nalaze se termometri, barometri, plinski i tlačni regulatori, manometri, Töplerova i difuzijska sisaljka, termostati, releji i tahometri, standardni galvanski članci i elektrode, polarografi i amalgamometri, ispravljači i tiratroni sa živinom parom, živine žarulje i fluorescentne cijevi itd. Živa služi kao katoda u proizvodnji klora i natrijeve lužine, upotrebljava se u istraživačkim laboratorijima i polazna je sirovina za dobivanje živinih spojeva. Upotreba metalne žive, živine masti, u medicini uglavnom pripada prošlosti, a također i primjena metalne žive kao sredstva protiv gamadi u nastambama i protiv nametnika na čovjeku i životinjama.

Sredinom ovog stoljeća zabilježeno je više trovanja živom većih razmjera. U Iraku, Pakistanu, Gvatemali, New Mexico (SAD) i Kanadi dogodila su se 1950-ih godina masovna trovanja kada se za hranu ili krmivo upotrijebila sjemenska pšenica prašena organoživinim fungicidima. Njezina je primjena u Švedskoj uzrokovala povećanje udjela žive u rijekama i u moru, a zatim i u ribama, pticama i jajima. U tragičnom trovanju živom 1953. poznatom kao katastrofa u zaljevu Minamata u Japanu veliki se broj ljudi otrovao hraneći se ribom i školjkama iz živom zagađenog mora. Živa je potjecala iz tvornice acetaldehida u kojoj se kao katalizator upotrebljavao živin(II) sulfat. Svako onečišćenje hidrosfere živom predstavlja posebno veliku opasnost. Metalna je živa u hidrosferi, a ne samo njezine soli, također opasna. Njezina topljivost u vodi poraste u prisutnosti zraka i do 700 puta, skoro do vrijednosti topljivosti živina(II) oksida (~0,005 mg HgO na 100 g vode). Prisutnost soli također povećava topljivost žive. Zbog svega su toga napušteni mnogi industrijski postupci s primjenom žive, obustavljena je upotreba organoživinih fungicida i uvedene stroge mjere zaštite radnika i kontrole tvorničkih pogona i laboratorija u kojima se radi sa živom. Tako je, npr., napuštena upotreba živina(II) klorida za konzerviranje drva te kao baktericida u medicini. Upotreba živina(I) klorida u kozmetici i medicini također se izbjegava, dok se mast od živina(II) amidoklorida upotrebljava za liječenje kožnih i očnih bolesti. Živini su se anorganski preparati, zaslugom Paracelsusa, primjenjivali za liječenje sifilisa od XVI. pa sve do početka ovog stoljeća. Nekad veoma raširena, obradba zečje dlake živinim(II) nitratom radi proizvodnje pusta za šešire danas se više ne provodi. I organoživini spojevi, koji su zbog svojih baktericidnih i fungicidnih svojstava mnogo obećavali, napušteni su zbog otrovnosti (v. *Organometalni spojevi*, TE 9, str. 716).

Ipak, i pored svih mjera zaštite okoliša, velike količine žive i njezinih spojeva završavaju u otpadu, na odlagalištima smeća, gdje se gomilaju ili se spaljuju. S istrošenim električnim baterijama na osnovi živina oksida u SR Njemačkoj se u smeće bacalo godišnje ~40 t žive, dok se 70 t utrošilo za njihovu proizvodnju (30% tadašnje mjesečne proizvodnje žive). Slično je i s fluorescentnim cijevima, koje doduše sadrže malo žive, ali je njihova proizvodnja vrlo velika. Zato se i dalje svuda u svijetu nastoji smanjiti upotreba žive i njezinih spojeva.

Brzina isparivanja žive s njezine čiste površine (pri sobnoj temperaturi 0,8 g/m² na sat) naglo raste s porastom temperature, pa u zatvorenoj prostoriji koncentracija živinih para u zraku brzo premaši najveću dopuštenu vrijednost od 0,1 mg/m³. Živa se zato mora čuvati u zatvorenoj posudi ili prekriti zaštitnim slojem vode ili parafinskog ulja, a prostorije se moraju dobro provjetravati. Slučajno prolivenu živu, njezine brojne sitne kapljice, treba pažljivo pokupiti pipetom, posebnom hvataljkom ili amalgamiranjem na bakreni lim i žicu, kositar ili aluminijsku foliju, a najbolje na cinkov prah koji se zatim usiše. Može se upotrijebiti i jod, sumpor ili otopina sumpora u vapnenoj vodi (CaS_n), koja se raspršuje radi uklanjanja živinih para iz zraka. Iz otpadnih voda koje sadrže živine soli živa se taloži sa željeznom(III) hidroksidom. Za dekontaminaciju uzima se natrijeva sol ditiolpropansulfonske kiseline, koja služi za ispiranje, ali se i supkutanom ili intravenskim injekcijama daje pri otrovanju. U rudnicima, metalurškim i tvorničkim pogonima te laboratorijima koji rade sa živom i njezinim spojevima vrijede posebni propisi za provjetranje, upotrebu zaštitnih odijela i maski, za pranje, te za kon-

trolu mokraće i krvi. Objektivnim se znakom otrovanja smatra udio žive u krvi veći od 0,001 mg/100 g, a u mokraći više od 0,01 mg/L.

AMALGAMI

S metalima živa tvori slitine, amalgame. Tekući su amalgami ili otopine metala u živi ili otopine živinih međumetalnih spojeva. Čvrsti su amalgami spojevi metala sa živom, merkuridi, dakle intermetalni spojevi karakteristične kristalne strukture. Amalgami poput paste smjese su izlučene čvrste intermetalne faze (ili amalgamiranog metala) i zasićene otopinom metala u živi.

U živi se lako otapaju metali koji su joj u periodnom sustavu susjedni, te alkalijski i zemnoalkalijski metali. Veće su topljivosti metali s većom atomnom masom, dok su prijelazni metali netopljivi ili teško topljivi (tabl. 2). Topljivost metala raste s porastom temperature.

Tablica 2
TOPLJIVOST METALA U ŽIVI*

Raspon masenih udjela %	Najveći maseni udio pojedinog metala otopljenog u živi %
>10	In 57 (25 °C), Tl 42
1...10	Cd 5, Cs 4,6, Zn 1,9 (25 °C), Pb 1,47, Bi i Rb 1,4, Ga 1,3 (30 °C), Sr 1,04
0,1...1	Sn 0,6 (15 °C), Na 0,62, K 0,38, Ba 0,33, Mg 0,31, Ca 0,3, Au 0,13
0,01...0,1	Li 0,036, Ag 0,03, La 0,013
0,001...0,01	Al 0,0023, Cu, Pd i Pt 0,002, Mn 0,0017
	Netopljivi: Be, Si, Ti, V, Cr, Fe, Co, Ni, Ge, Zr, Mo, W

*topljivost pri 20 °C, osim ako je navedeno drukčije

Poznato je više načina pripreme amalgama:

Otapanje metala u živi. Tako se npr. natrij zagrijava sa živom ili se živa polagano dodaje rastaljenom natriju prekrivenom toluenom. S masenim udjelom natrija od 1,5% Na-amalgam je čvrst. Izravnim se spajanjem dobiju i amalgami aluminija, bakra, srebra, zlata, kositra, olova i drugih metala, i to u tehničke svrhe postupcima metalurgije praha.

Redukcija metalnih soli živom. Izlučeni se metal amalgamira suviškom žive, npr. živa u otopini srebrenog nitrata izlučuje dendritne kristale Ag-amalgama, *arbor Dianae*, opisane još u XVI. stoljeću.

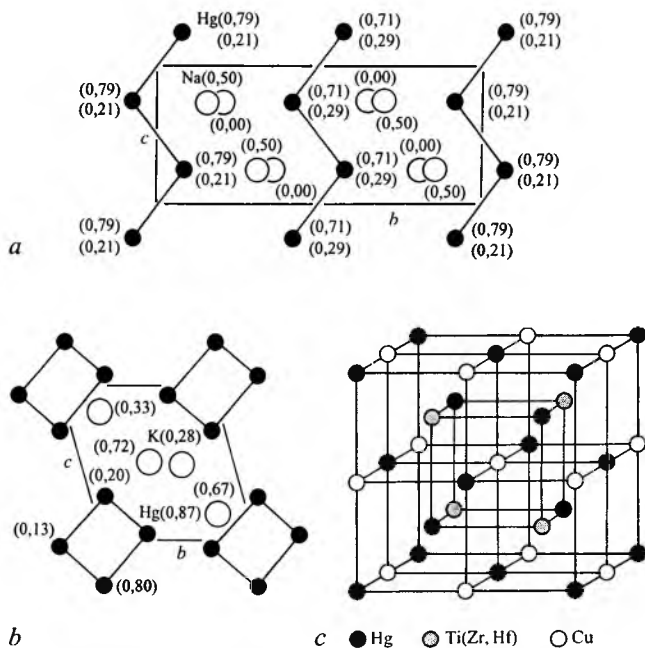
Redukcija živinih soli metalom, npr. redukcija cinkom u otopini živina(II) klorida ili živina(II) nitrata.

Elektroliza otopine ili taline metalne soli sa živom kao katodom. Tako se iz otopine natrijeve soli dobiva Na-amalgam, koji s vodom daje NaOH, a živa se vraća u pogon elektrolize. Tom se metodom priređuje i Ba-amalgam, a elektrolizom otopine NH₄Cl dobije se amonijev amalgam kao crna pasta reduktivnih svojstava (raspada se na Hg, 2NH₃ i H₂).

Izmjena natrija u Na-amalgamu s metalom. Primjer je tog postupka dobivanje Ba-amalgama iz otopine barijeva klorida koja je u kontaktu s Na-amalgamom.

Svi su čvrsti amalgami kristalni. Neki su od njih izostrukturni s poznatim metalnim slitinama, no neki imaju poseban tip strukture s povezanim živinim atomima (sl. 5). U NaHg su parovi atoma Hg–Hg povezani u lance, u Na₂Hg postoje kvadrati Hg₄, u Mn₂Hg₅ klasteri Hg₃ i Hg₅, a amalgami MHg₂ (M=Na, Ca, Sr, La, Ce, Pr, V) imaju strukturu tipa AlB₂ sa živinim atomom u šesterokutnoj mreži poput one ugljikove u grafitu. Strukturu tipa CsCl imaju amalgami MHg (M=Li, Mg, Ca, Sr, Mn, La, Ce), a tipa γ-mjedi jedino Cu₅Hg₈.

Upotreba je amalgama vrlo raznolika. Amalgami natrija, cinka, magnezija i aluminija primjenjuju se kao redukcijska sredstva. Upotreba natrijeva amalgama u proizvodnji natrijeve lužine sve se više napušta, jednako kao i ekstrakcija srebra i zlata iz njihovih ruda amalgamiranjem. Kositrov i srebreni amalgam upotrebljavaju se u proizvodnji ogledala, a zajedno sa srebrenim amalganom u zubarstvu. Zubne se šupljine pune svježe priređenom

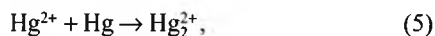


Sl. 5. Primjeri kristalne strukture amalgama. a NaHg, rompski sustav, parovi živinih atoma čine cik-cak traku (projekcija uzduž osi a), b KHg, trinklinski sustav, četverokuti živinih atoma, c trokomponentni amalgam Hg₂CuTi, struktura tipa NaTi (B32)

plastičnom smjesom žive i slitine Ag₃Sn, koja zatim stvrdne u smjesu dvaju amalgama: Ag₃Hg₈ i Sn₇Hg.

ŽIVINI SPOJEVI

Živa tvori dva niza spojeva: živine(I) spojeve i živine(II) spojeve, s oksidacijskim brojem +1 i +2, ali je u oba niza dvovalentna. U živinim(I) spojevima dva živina atoma vezana kovalentnom vezom čine dvovalentni par atoma –Hg–Hg–, koji se uglavnom ponaša kao kation Hg₂²⁺. U živinim(II) spojevima živin se atom povezuje s drugim atomima s dvije jednostruke kovalentne veze –Hg–, ali nikad s jednom dvostrukom Hg=. Može biti također vezan jednom kovalentnom i jednom ionskom vezom –Hg⁺, ili se ponaša kao dvonabojni kation Hg²⁺. Živinim(I) spojevi nastaju redukcijom živinih(II) spojeva živom:



dakle u reakciji u kojoj je metalna živa u suvišku. Za razliku od živinih(I) spojeva, živini(II) spojevi tvore brojne komplekse s ligandima preko atoma halogena, kisika, sumpora i dušika kao donorima.

Onedavno (1978) poznati su spojevi Hg₃(AlCl₄)₂ i Hg₃(AsF₆)₂ s oksidacijskim brojem žive +0,67 i s linearnim kationom (Hg–Hg–Hg)²⁺, te spoj Hg₄(AsF₆)₂, također s linearnim kationom i s oksidacijskim brojem žive 0,5. Spoj Hg₃AsF₆ s oksidacijskim brojem žive +0,33 ima linearni polimeran kation Hg_{3n}²⁺.

S obzirom na vrijednost treće ionizacijske energije živini(III) spojevi smatraju se mogućim, no nijedan nije do sada poznat.

Živin(I) klorid, Hg₂Cl₂, *kalomel*, bijeli je kristaličan prah gustoće 7,15 g/cm³ i temperature sublimacije 400 °C, nastaje dodavanjem otopine natrijeva klorida otopini živina(I) nitrata. Proizvodi se sublimiranjem iz smjese živina(II) sulfata, žive i natrijeva klorida. Topljivost mu je u vodi malena, 0,4 mg/L pri 20 °C. Tetragonski kristali građeni su od molekula Cl–Hg–Hg–Cl. S amonijakom pocrni od dispergirane žive što se izluči zajedno s cihHgNH₂ i NH₄Cl. Upotrebljava se u proizvodnji kalomelnih elektroda i u galvanotehnici.

Živin(I) sulfat, Hg₂SO₄, nastaje otapanjem žive u suvišku u koncentriranoj sumpornoj kiselini ili kao bijeli talog djelovanjem te kiseline na otopinu živina(I) nitrata. Služi pri određivanju dušika, kao depolarizator u Westonovu galvanom članku i kao

katalizator pri oksidaciji organskih spojeva dimećom sumpornom kiselinom.

Živin(II) fluorid, HgF_2 , dobije se kao bezbojni dihidrat $\text{HgF}_2 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$, iz otopine živina(II) oksida u fluoridnoj kiselini. S vodom daje žuti hidroksid-fluorid $\text{Hg}(\text{OH})\text{F}$, tzv. bazični fluorid. Bezvodni se fluorid dobije zagrijavanjem Hg_2F_2 u kloru, a nastali se živin(II) klorid odvoji sublimacijom. HgF_2 ima ionsku strukturu tipa fluorita. Upotrebljava se u organskoj kemiji kao blagi reagens za fluoriranje.

Živin(II) klorid, HgCl_2 , poznat pod imenom *sublimat*, dobiva se reakcijom žive s klorom u suvišku ili zagrijavanjem živina(II) sulfata s natrijevim kloridom. Tali se pri 277°C , talina vrije pri 302°C , a gustoća mu je $5,44 \text{ g/cm}^3$. U 100 g vode otapa se 6,6 g pri 20°C , a 58 g pri 100°C . Bezbojni rompski kristali građeni su od linearnih molekula $\text{Cl}-\text{Hg}-\text{Cl}$. Jak je otrov sa smrtonosnom dozom od $0,2 \dots 0,4 \text{ g}$. Upotrebljava se kao katalizator pri sintezi drugih živinih spojeva. Prije je bio baktericid i fungicid, ali se danas njegova primjena zbog velike otrovnosti sve više izbjegava.

Živin(II) jodid, HgI_2 , nastaje taloženjem iz otopine živinih(II) soli kalijevim jodidom u stehiometrijskom omjeru. Tetragonski kristali crvene boje građeni su od slojeva tetraedara HgI_4 zajedničkih uglova. Sublimira u žutim igličastim kristalima, stabilnim pri temperaturi višoj od 129°C . Treća, narančasta modifikacija ima strukturu sličnu crvenoj modifikaciji. Crvena modifikacija upotrebljava se kao pigment.

Živin(II) cijanid, $\text{Hg}(\text{CN})_2$, nastaje u obliku tetragonskih bezbojnih kristala gustoće $3,996 \text{ g/cm}^3$ reakcijom živina(II) sulfata i natrijeva cijanida. Tvori cijanomerkurate(II), npr. $\text{KHg}(\text{CN})_3$ i $\text{K}_2\text{Hg}(\text{CN})_4$. Kao antiseptik više se ne upotrebljava, ali služi za dezinfekciju metalnih instrumenata.

Živin(II) tiocijanat, $\text{Hg}(\text{SCN})_2$, stvara se kao bijeli talog dodavanjem otopine KSCN u otopinu živina(II) nitrata. Zapaljen gori, razvija živine pare i ostavlja rahli proizvod gorenja poznat pod nazivom *faraonove zmije*. Upotrebljava se u fotografiji i u analitici za dokazivanje kreatina.

Živin(II) fulminat, $\text{Hg}(\text{ONC})_2$, izlučuje se dodavanjem etanola toploj otopini žive u višku jake dušične kiseline. Ofiltriran i osušen, eksplodira na dodir, pa se mnogo upotrebljavao kao inicijalni eksploziv u detonatorima, dok se danas sve više nadomješta olovnim(II) azidom.

Živin(II) oksid, HgO , nastaje u obliku crvenih listićavih rompskih kristala zagrijavanjem žive na zraku pri temperaturi nešto višoj od njezina vrelišta. Raspada se zamjetno na živu i kisik pri 400°C , ne postoji pri temperaturi višoj od 450°C , a gustoća mu je $11,14 \text{ g/cm}^3$. Pripravljiva se iz otopine živinih(II) soli taloženjem s natrijevom lužinom. U sitnim je česticama žut, u krupnijim crven. Kristali su mu građeni od planarnih lanaca $\text{Hg}-\text{O}-\text{Hg}-\text{O}-$. U narančastoj, heksagonskoj modifikaciji ti su lanci helikoidni, kao lanci $-\text{Hg}-\text{S}-\text{Hg}-\text{S}-$ u cinabaritu. Topljivost mu je $5,2 \text{ mg}$ u 100 g vode pri 25°C . Glavna mu je primjena u proizvodnji malih galvanskih članaka s anodom od

HgO te sa cinkovom ili kadmijevom katodom. Takve se ćelije upotrebljavaju u digitalnim satovima, džepnim računalima, svjetlomjerima i sl. Osim toga, služi i kao pigment za podvodne djelove plovila.

Živin(II) sulfid, HgS , pojavljuje se u prirodi kao mineral cinabarit. Može se dobiti kao crveni kristaličan prah zagrijavanjem žive sa sumporom ili kao crn talog uvođenjem sumporovodika u kiselu otopinu živinih(II) soli. Metastabilna, crna kubična modifikacija (metacinabarit) zagrijavanjem prelazi u crvenu heksagonsku stabilnu modifikaciju (cinabarit, rumenica, cinober). U kubičnoj su modifikaciji tetraedri HgS_4 povezani zajedničkim uglovima kao u sfaleritu, a u heksagonskoj se modifikaciji helikoidni lanci $-\text{Hg}-\text{S}-\text{Hg}-\text{S}-$ nalaze uzduž heksagonske osi. Modifikacije su u ravnoteži pri 386°C . S otopinom alkaljskih sulfida daje tiomerkurate, kao što je $\text{K}_2\text{HgS}_2 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$, s metalnim sulfidima mješovite sulfide, npr. Ga_2HgS_4 , a sa živinim(II) kloridom sulfid-kloride, npr. $\text{Hg}_3\text{S}_2\text{Cl}_2$. Upotrebljava se kao crvena slikarska boja *cinober*.

Živin(II) sulfat, HgSO_4 , nastaje otapanjem žive u koncentriranoj sumpornoj kiselini. S malo vode daje monohidrat, a s više vode »bazični« sulfat, $\text{Hg}_3\text{O}_2\text{SO}_4$, u iatrokemijskoj je medicini bio cijenjen kao lijek. Upotrebljava se kao katalizator u proizvodnji acetaldehida i octene kiseline (taj se postupak napušta), ftalne kiseline iz naftalena i u Kjeldahlovu postupku određivanja dušika.

Živin(II) acetat, $\text{Hg}(\text{OCOCH}_3)_2$, nastaje u obliku bijelih kristala gustoće $3,27 \text{ g/cm}^3$ otapanjem živina(II) oksida u 50%-tnoj octenoj kiselini. To je najvažnija živina sol karboksilnih kiselina, a služi za merkuriranje organskih spojeva.

Živa tvori mnoštvo spojeva s vezom živa–ugljik, poznatih kao organoživini spojevi (v. *Organometalni spojevi*, TE 9, str. 716), ali se njihova primjena izbjegava zbog otrovnosti. U upotrebi je dipiridilživin(II) acetat protiv tzv. sluzavosti papirne pulpe u proizvodnji papira, donekle i fenilživin(II) acetat i metoksietilživin(II) acetat kao fungicidi za drvo, sjeme i poljoprivredne kulture. Upotrebljavaju se i neki organoživini diuretici te baktericidi merbromin i mertiolat.

LIT: J. W. Mellor, A Comprehensive Treatise on Inorganic and Theoretical Chemistry, Vol. IV. Longmans and Co., London 1957. – Gmelins Handbuch der anorganischen Chemie, 8. Auflage, Quecksilber, Syst. Nr. 34, Lief. 1. Verlag Chemie, Weinheim 1960. – I. Mohorić, Rudnik živega srebra u Idriji, zgodovinski prikaz nastanka, razvoja in dela 1490–1960. Mestni muzej v Idriji 1960. – J. Lamure, H. Brusset, Mercure; u djelu: Nouveau Traité de Chimie Minérale, Tome V, ed. Paul Pascal. Masson et Cie, Paris 1962. – D. Grdenić, Mercury, 80A, u djelu: Handbook of Geochemistry, edited by K. H. Wedepohl, Vol. II/1. Springer-Verlag, Berlin 1969. – Mercury in the Environment, Edts. L. Friberg, J. Vostal. CRC Press, Cleveland, Ohio 1972. – Comprehensive Inorganic Chemistry, edited by J. C. Bailar, Jr., H. J. Emeléus, Sir Ronald Nyholm, A. F. Trotman-Dickenson, Vol. 3. Pergamon Press, Oxford 1973. – H. J. Rösler, H. Lange, Geochemische Tabellen. VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig 1975. – P. A. D'Itri, F. M. D'Itri, Mercury Contamination: a Human Tragedy. John Wiley and Sons, New York 1977. – C. J. Smithells (Ed.), Metals Reference Book, Butterworths, London-Boston 1978. – CRC Handbook of Chemistry and Physics, edited by R. C. Weast, 65th Edition. CEC Press Inc., Boca Raton 1984.

D. Grdenić