

MODUL 2.

HMOTY, MATERIÁLY, SUROVINY

Obsah a význam modulu: *První, co je dobré si při seznamování se s dějinami techniky uvědomit, je význam materiálů, ze kterých člověk tvoří. Nebudeme zde řešit filosofickou otázku, zda je prvotní hmota či myšlenka – budeme oboje chápat jako dva aspekty jedné a téže skutečnosti. Zde především bude soustředěna pozornost na to, jak dochází člověk záhy od materiálů, které mu poskytuje příroda k materiálům, které sám využitím určitého postupu (a tím i zatím empirickým osvojením si určité zákonitosti) připraví. Tato kapitola těsně souvisí s chemií, protože velká část těchto postupů má podobu chemických reakcí, byť jejich podstata byla poznána až mnohem později.*

Hmota je počátkem i finálním produktem mnoha myšlenek. Znalost materiálů je nezbytným předpokladem pochopení každé epochy a umožňuje postihnout právě tyto hranice, které byly takto lidské tvorbě položeny, a velikost snahy tuto hranici prolomit nebo posunout. Metalurgie je navíc jedním z největších průmyslových odvětví, ve kterém se setkávají výsledky dalších technických odvětví, a je tedy nejlepším prostorem pro vstup do dalších kapitol.

Přínos: *Velká část materiálů i postupů, o které bude v daném oddílu řeč patří zcela historii, jejich znalost je však pro techniku neodmyslitelným požadavkem. Inženýr jakéhokoliv oboru, který by nevěděl co je to vlková pec nebo pudlovna by byl nebyl věrohodný ani na svém odborném poli.*

Předpokládaná doba studia: *Látka tohoto modulu je velmi bohatá a rozsáhlá a vyžaduje 3 dvouhodinové přednášky.*

Všudypřítomná hmota

Hmota (lat. materia)

Nejobecněji a nejabstraktněji vzato je základním materiálem veškeré technické tvorby v celých lidských dějinách hmota. Prvotní význam tohoto slova, vyjadřující zobecnění všeho hmatatelného a vážitelného se objevuje již v ionské filosofii, která považuje právě některou z forem hmoty za hledaný počátek všeho dalšího nepřeborně rozrůzněného světa. Hmota je v těchto představách nadána jistou mírou života, který umožňuje její „samorozvoj“ do jednotlivých konkrétních druhů látek. V pozdější filosofické tradici však hmota vystupuje spíše jako jeden ze dvou nebo více principů, jejichž vzájemný průnik či jednota vyúsťuje v empiricky zkoumatelné podoby a formy všeho hmotného. Nejdůležitější a nejčastěji spatřovaný je ovšem pohled dualistický, ve kterém vystupuje hmota, materie, jako dialektická či v některých případech přímo antagonistická protiva ducha, principu neměřitelného, nehmatatelného a nevažitelného. Názory na hmotu byly ovšem ovlivněny tím, že byla velmi často popisována podle vnějších, často nestálých vlastností, a i proto neexistovalo ustálené názvosloví a byly proto velmi často zaměňovány. Druhým limitujícím prvkem starověkých nauk je to, že přístup k hmotě nebyl systematicko-analytický, nýbrž spekulativní. To nakonec odpovídalo náboženskému a vůbec mýtopoetickému myšlení o světě, ze kterého se rodily i úvahy o povaze hmoty.

Myšlenka, že se svět skládá z několika základních elementárních látek (čtyř nebo pěti) se vyskytla již ve starověké Indii a je možné, že se odtud dostala na západ. Konečnou podobu tomuto učení dal Empedokles, a jeho pojetí přejal i Aristoteles a další – stalo se základem alchymistického výkladu hmoty i světa. Těmito živly je (Thaletova) voda, (Anaximenův)

vzduch, (Herakleitos) oheň a k tomu přidal Empedokles čtvrtý element, zemi. Všechny látky a tělesa pak byla viděna jako směs těchto čtyř pralátek, přičemž jejich poměrné zastoupení vytvářelo rozdíly ve vlastnostech jednotlivých složených hmot. U Aristotela však hmoty nejsou pouhými směsmi, nýbrž zcela novými, jednotnými látkami. Živly jsou mu nositeli čtyř základních vlastností prahmoty – tepla a chladna. Sucha a vlhka, a ty jsou v každém živlu spojeny po dvou: oheň je horký a suchý

Země je suchá a chladná

Voda je chladná a mokrá

Vzduch je mokrá a horký

Protože živly vycházejí ze společné prahmoty, mohou se vzájemně proměňovat. Proměna ve směru oheň – vzduch – voda – země je jednodušší, protože se mění pouze jedna vlastnost, v opačném směru je třeba změny obou vlastností. Tyto změny se dějí neustávajícím kruhovým pochodem tak, že celková rovnováha živlů zůstává zachována. Krom těchto čtyř živlů mluví Aristoteles ještě o etheru, páté essenci neboli quintessenci. Éther je nebeská, božská látka, zcela rozdílná od zemských živlů, nehmotná, jednoduchá, neproměnná a nezničitelná. Z této látky je složen svět stálic. V duchu těchto představ může potom Plinius chápat déšť jako proces proměny vzduchu ve vodu, voda je pak schopna se „vysušením“ proměnit v křišťál, a tak podobně. Aristotelovo mínění bylo skoro jeden a půl tisíciletí takovou autoritou, že hledání jiného vysvětlení přírodních dějů bylo chápáno jako cosi nebezpečného nebo pošetilého. Aristoteles pravdivost svých spekulací mnohdy ve svých spisech potvrzuje formulami jako: „to musí tak být“, „to je nemožné“, což na mnoho generací působilo takřka sugestivně. Aristotelovo chápání proměn navíc otevřelo cestu jedné ze základních představ, na které stála alchymie – transmutace, čili přepodstatnění. Stručně vzato to znamenalo víru, že zlato vzniká v zemi z neušlechtilých hornin a kovů, a tento proces že je možno připravit uměle a zrychleně. Aristoteles ovšem spatřuje v hmotě pasivní, princip, kterému forma dodává tvar a vytváří tak cestou od možnosti k uskutečnění všechny konkrétní hmatatelné skutečnosti našeho světa. Oním duchovním principem je *Entelechie*, směřování k naplnění skrytých možností.

Zmiňme ještě pohled Platonův. Ten činí z hmoty nezbytný předpoklad pro člověkem v jeho pozemskosti realizovanou a zachytitelnou podobu věčných nehmotných idejí. V pozdější renesanci Platonova učení, zvané novoplatonství, dostává hmota ovšem jisté negativní předznamenání jako nejméně produševnělá skutečnost, nejvíce vzdálená od dobrého a dokonalého duchovního středu, ztotožněného v křesťanství s Bohem. V tomto pojetí pak nezřídka jde inferiorizace hmoty ještě dále, a vlivem manichejského vnímání pak představuje hmota i zápornou mravní hodnotu. Tento náhled byl jedním z těch, které pak dále stavěly i lidi, zabývající se hmotou, níže než ty, kteří se zabývají duchem, spiritualitou.

Rozvoj poznání stavby hmoty dává do jisté míry za pravdu atomistické odnoži antické filosofie, která nepředpokládá jednoduchou „kompaktnost“ hmoty, nýbrž její složenost z nedělitelných částic, atomů a prázdnoty. Je pochopitelné, že cesta od těchto spekulací až vědeckým poznatkům o elementárních částicích byla dlouhá a klikatá. Přinesla však především poznatek, vedoucí k nové, širší definici hmoty, protože objevila hmotnou povahu jevů, považovaných tradičně za nehmotné. Tak například světlo bylo ve starověku i středověku považováno za jev téměř teologický, než je shledána jeho korpuskulární či elektromagnetická vlnová povaha. Mnohé další jevy jsou objasněny jako důsledky stavů hmoty, či procesů, v jejích elementárních částicích probíhajících. Jisté rozšiřování hranic „hmoty“ za její tradiční vymezení v „hmatatelnosti“ poněkud rozostřuje ono dávné rozlišení. Výsledek není ovšem jednoznačný - někteří fyzikové jsou tím přiváděni takřka až k jakési náboženské víře, jiní se naopak utvrzují ve filosofickém materialismu. Materialistický monismus pak považuje i myšlení za projev hmoty, a tím vylučuje z uvažování onen tradiční polární doplněk hmoty, duch, spiritus. S touto situací se lze setkat v mnoha otázkách, které se

objevují při zkoumání etických souvislostí techniky. Popírání jiného než materiálního jsoucna neumožňuje totiž definovat etická hlediska a kriteria, která by byla světu materiálních jsoucén a technologií nadřazena. Dávný dualismus ducha a hmoty představuje tedy při uvažování o hmotě věčnou výzvu. Všechny pokusy definitivně převést tyto odlišné principy na jeden jediný nepřinesly dosud žádná přesvědčivá řešení.

Hmota představuje základní kámen technických artefaktů. Je doslova jevištěm dějin techniky, a ne neprávem obdržely některé epochy lidských dějin svůj název na základě materiálu, který v jejich technické tvorbě dominoval. Ať již tedy budeme chápat filosofickou podstatu hmoty jakkoliv, ať ji budeme třeba považovat pouze za jistou excitovanou formu energie, seznámení se s hmotou, kterou člověk používal pro své tvoření je nezbytným prvním krokem na cestě dějinami techniky. Již dějiny používaných hmot, bez toho, co z nich člověk vytvářel a vytváří, jsou napínavým příběhem. Zbývá ještě zcela nakonec dodat, že materiálem se stává hmota, kterou člověk bere do ruky s úmyslem z ní něco vyrobit.

Materiály rostlinného a živočišného původu

Dřevo

I když dějiny lidského pokroku neoznačily žádnou dobu jako dřevěnou (i když pro „staré časy“ je znám i pojem „dřevní časy“), je tato surovina jednou z primárních a nejdůležitějších. Dřevo je úžasná surovina. Je k dispozici takřka ve všech končinách zemského povrchu, i když ne všude ve „stavební“ kvalitě, je snadno opracovatelné, a když nástroj skončí svou životnost, lze ho proměnit v oheň. V archeologických nálezech se ovšem pochopitelně neobjevuje. Kde však vidíme v kamenné palici vyvrtaný otvor, tam bychom měli vidět dřevěné topůrko, bez kterého by nástroj ztratil kus své dokonalosti. První zařízení na akumulaci energie, luk, je ze dřeva. Dřevěné uhlí je neodmyslitelnou součástí metalurgických procesů až do 19. století. Dřevo bylo také až do poloviny 19. století nejdůležitějším konstrukčním materiálem, a to jak na stavbu domů či jejich částí, tak pro stavbu strojů. V oblastech s dostatkem dřeva představuje dřevo nejsnáze dosažitelný, nejlevnější a nejpoužívanější materiál pro širokou škálu výrobků. Je to materiál příjemný, ekologický a estetický. V Číně bylo dřevo jedním z pěti elementů.

Dostatek či nedostatek dřeva výrazně ovlivňoval podobu techniky. Nedostatek této suroviny obvykle urychloval technický rozvoj, protože vedl k hledání náhradních materiálů, její dostatek či nadbytek mohl způsobovat určitou stagnaci. V této souvislosti se často uvádí, že Amerika byla zbudována ze dřeva. Průmyslová revoluce v Anglii byla mimo jiné i procesem, při kterém bylo nedostatkové dřevo nahrazováno jak uhlím a koksem při výrobě železa, tak železem a ocelí jako konstrukčními materiály. Význam dřeva pro stavbu lodí byl celá dlouhá tisíciletí rozhodující. Mnohé konstrukční prvky byly vyráběny ze stromů vhodného, někdy bizarního růstu, z různých rozsoch a dalších tvarů, objevujících se v propojení kmene a větví.

Vedle svého konstrukčního a energetického využití bylo dřevo, prošlé procesem suché destilace, po několik tisíc let jediným redukčním činidlem, využívaným v metalurgických procesech. Konec tomuto využití učinil až objev suché destilace uhlí, a to až takřka v hodině dvanácté, kdy zdroje dřeva byly povážlivě vyčerpány. Teprve potom přestaly v lesích dýmat milíře a početné řemeslo uhlířů počalo zanikat. Další produkty destilace dřeva byly důležitými surovinami pro další obory - nejprve to byla kolomaz, před vznikem petrochemie nenahraditelné "těžké" mazivo, dále dřevný líh, aceton. Oxydací dřevního lihu vzniká

formaldehyd, který byl jednou ze surovin k výrobě jedné z prvních tzv. "umělých hmot" - bakelitu. Dřevný dehet se používal na nátěry a k impregnaci. Mohl by být dále jmenován terpentýn, který byl ve své roli ředidla barev namnoze vytlačen ředidly syntetickými.

Dřevo bylo ve své původní široké využitelnosti již do značné míry nahrazeno jak materiály pevnějšími, trvanlivějšími či jinak "zajímavějšími". Navzdory tomu všemu je dřevo materiálem nezastupitelným ve své přirodnosti, přirozenosti, živosti. Je to materiál teplý, sympatický a člověku nejbližší. Některé základní doplňky lidského života je nesnadno představit si z jiného materiálu, než ze dřeva – je to kolébka, stůl a rakev. Pouze Alfred Krupp si nechal vyrobit truhlu ocelovou.

Kosti, rohy, paroží

Kost je materiálem jiného druhu. Na rozdíl od dřeva je tvrdší a trvanlivější, a kostěné nástroje vyžadují složitější výrobu. Pro svůj původ je mnohem více využívána v magii, protože s sebou pro dávného člověka jakoby stále nese vlastnosti svého původního majitele, často obávaného i užitečného zvířete. Dravcova čelist přímo svádí k tomu, aby byla použita podobně, jak sloužila když byla ještě živá. Samsonův příběh mluví o tom, kolik nepřátel pobil lví čelistí. Dutá kost může sloužit jako vrták, tenké kosti jako jehly, jehlice, spony, atp. V tomto svém dekorativním využití je nakonec kost využívána dodnes, a to zejména kost paroží, na držadla střenky nožů a dalších podobných předmětů. Dnes je ovšem velká většina takových držadel, vypadajících jako kost, z plastické hmoty.

Kůže a šlachy

Kůže zabitých zvířat je pro člověka materiálem mnohostranně užitečným. Jednak představuje „další kůži“, s jejíž pomocí může člověk tu svou vlastní skrýt před zimou a vlhkem. Kůže představuje zároveň i potřebný konstrukční materiál, umožňující spojování dvou či více částí rozebíratelným spojem – svazováním. Stejně tak jsou využívány i další části živočišné tkáně, poskytující pevné a pružné provazce. Významné bylo jejich používání jak pružících elementů ve vrhacích strojích. Proces úpravy surových kůží, zvaná „činění“ je jednou z nejstarších chemických technologií - bílkoviny a klišy se v tomto procesu působením rostlinných tříslovin nebo chromových solí mění v nerozpustné hmoty a z kůže vzniká useň. Právě tyto "nepoživatelné" části živé tkáně měly své další velké uplatnění jako surovina při výrobě tzv. "teplého klišu", který byl hojně používán při výrobě nábytku, v knihařství a všude tam, kde se lepilo dřevo nebo papír.

Tuky a oleje

Rostlinné i živočišné tuky byly rovněž mnohostranně využívány. První lampy byly napájeny zvířecím tukem, rostlinné oleje byly základem barviv i léčiv. Vynález kola postavil člověka před dalekosáhlý problém mazání troucích se ploch. Rostlinné i živočišné tuky byly prvním a nadlouho jediným materiálem, kterým bylo tření snižováno. I „kolomaz“, ještě donedávna používané mazadlo náprav koňmi tažených vozů, pochází ze dřeva, jako vedlejší produkt jeho suché destilace. Tato éra trvala až do doby využívání páry, kdy se projeví nepřekročitelné hranice živočišných a rostlinných tuků, neschopných plnit své poslání za vyšších teplot. Teprve minerální oleje znamenají kvalitativně novou látku, která však nevytlačila rostlinné a

živočišné tuky všude a zcela. Mazadla, poskytovaná petrochemií představují celý samostatný vědecký a výrobní obor.

Barviva

Člověk měl již od svých nejranějších stadií schopnost estetického vnímání, ke kterému neodmyslitelně patří smysl pro barvy a barevnost. Patrně prvním barvivem, využívaným v magii, je krev zabitých zvířat či nepřátel. Červená barva krve je proto považována za barvu života, a je hledána i její další, trvanlivější forma. Vedle barev minerálního původu jsou zejména dvě významná barviva původu živočišného. Je to především šarlat, barva z těl a vajíček červa, žijícího na karmasovém dubu. Šarlat, stejně jako většina ostatních barviv rostlinného a živočišného původu, sloužil především k barvení látek. Purpur je barva, vyráběná ze žlázových výměšků mořského plže červce nachového. Výrobní a obchodní monopol na toto barvivo měli Fénici. Výměšek je zprvu bezbarvý, ale vlivem slunečního světla získává nejprve žlutou, pak zelenou, modrou, purpurovou a nakonec tmavočervenou barvu. Konečný barevný tón se dosahoval mísením výměšků různých plžů, i různými přísadami. Na získání 1 g purpuru bylo nutno použít výměšku z 8000 plžů, šlo tedy o barvivo veskrze královské a kultovní. Modré barvy bylo dosahováno indigem, které se získávalo z větviček keře Indigofere. Indigovník roste v tropických a subtropických krajích kolem 300 druhů, k získání barviva se však nejvíce hodil pouze jeden – Indigofera tinctoria. Indigo používali již Egypťané, a to především na nástěnné barvy. V talmudu, náboženské knize starých Židů, je zákaz řezat indigovníky neboli modřily mladší než 3 roky. K barvení na žluto se v Egyptě používal šafrán. Na Sundských ostrovech se vyskytovaly stromy, poskytující malířům pryskyřici, dokonale barevně odpovídající krvi. Proto byla tato barva také nazývána dračí krev. Z Ameriky pochází organické barvivo košenila, pocházející z červce nopálového. Jmenovat sluší i další zdroj červené barvy, kterým je rostlina mořena barvířská, přesněji řečeno její kořen. Žlutá barva byla získávána z blizen šafránu, a stejně tak i z plevle, který se jmenuje rýt barvířský. Světlice barvířská obsahuje ve svých květech dokonce jak červenou, tak žlutou barvu. Na skalnatých přímořských březích roste lišejník lakmusový, ze kterého se vyrábělo modré lakmusové barvivo. Věk těchto barviv, velmi drahých, skončil vynálezy na poli zpracování původně jako bezcenný odpad chápaného uhelného dehtu.

Rostlinná vlákna

Vlastnost některých rostlin, že po zetlení jejich stonku zůstanou pevná vlákna, je využívána již 8000 let. Ve starověkém Egyptě je to především len (*Linum*) a o něco později i konopí (*Cannabis*). Vedle těchto dvou u nás známějších rostlin patří do této kategorie i juta a sisal. V Mexiku se využívají vlákna rostlin henequen a tampico. V jihovýchodní Asii se pěstuje ramie z čeledi kopřivovitých z jejíhož lýka se vyrábí jemné pevné předivo hedvábného lesku. Poněkud odlišným materiálem je bavlna - je to vlákno, vyrůstající na semenech bavlníku (*Gossypium*), a objevuje se již kolem 3000 ante jako surovina pro výrobu textilií v jihovýchodní Asii. Kolem 2000 ante se začíná využívat poněkud jiná odrůda bavlníku i ve Střední Americe.

Zvláštním a nadlouho pouze s Čínou spojeným textilním materiálem je vlákno bource morušového (*Bombyx mori*). V Číně je znám již asi 5000 let, do Evropy byl bourec morušový propašován v 6. stol. Byl to jeden z nejvýznamnějších aktů průmyslové špionáže. Živočišný je i původ textilního materiálu, zvaného vlna. Jsou to textilní vlákna srsti ovčí, lam, velbloudů, koz a angorských králíků.

Textilní vlákna se nejprve spřádají do souvislé niti a poté se křížovým propojením nití osnovných a útkových vytváří tkanina. Textilní a živočišná vlákna hrají nezastupitelnou roli v celém kulturním vývoji lidstva. Pro techniku je velmi významné to, že spřádací i tkalcovské stroje představují jedny z prvních "systémů", ve kterých se objevují některé části a prvky, které byly následně využívány i v dalších odvětvích. Zpracování textilních materiálů bylo významným faktorem, stojícím na počátku průmyslové revoluce - textilní materiály představují látku, umožňující strojní zpracování a vyskytující se v takových objemech, jaké ani nejsou ručně zvládnutelné.

Kaučuk

Málokterá látka dokázala v pravý čas vyřešit palčivý technický problém tak, jak to dokázal kaučuk. Bylo to však poměrně dlouho po jeho objevení. To bývá datováno rokem 1535. Jeden ze Španělů, kteří se účastnili exploatace Ameriky zapsal, že si Indiáni hrají s pružnými míči. Hmotu, ze které byly nazývali "cahuchu", což znamená "tekuté dřevo". Zpočátku byly z této látky vyráběny pláště do deště, které měly tu nepříjemnou vlastnost, že v chladnu ztuhly a v teple se lepily na tělo, Průmyslové využití vyřešil proces "vulkanizace".

Léčiva, drogy, koření

I tyto, poněkud "netechnické" suroviny mají v dějinách techniky nepominutelný význam. Použití léčiv je již ve starověku a v dobách ještě vzdálenějších spojeno sice s magií, avšak právě zde se již objevují významné prvky kauzálního myšlení. Člověk nalézá účinné látky v přírodě právě na základě logického vyhodnocení účinků těchto látek na daný patologický stav. Látky, povzbuzující či měnící vědomí hrají dále významnou roli stimulátorů obchodu a tedy i dopravy, a to především námořní. Do této kategorie patří především tabák, a v tzv. "trojúhelníkovém obchodu" hraje podobnou roli i cukr z cukrové třtiny, ze kterého se vyrábí v Anglii rum, za který se v Africe získávají otroci pro práci na třtinových plantážích.

Významnou kapitolu představuje i koření, zejména muškát, pepř, vanilka a další, se kterými se Evropané setkali za křížáckých válek a které byly hnacím motorem námořních výprav a rozvoje mořeplavby vůbec. Vedle koření je nutno se zmínit i o drogách, které byly a jsou důležitým obchodním artiklem, vyznačujícím se astronomickými zisky. Tyto zisky se pak zčásti obracejí v prostředky na financování technického pokroku, jehož etická hodnota je ovšem problematická.

Suroviny anorganického původu

Kámen

Kámen je ovšem materiálem z nejtrvanlivějších, materiálem monumentálním slavným a vznešeným. I on se v různé kvalitě nalézá takřka na celém zemském povrchu, odmyslíme-li si končiny pokryté sněhem a ledem, Mezopotámii či sprašové pláně Číny. Nejprůhodnější podobou, která jde již napůl cesty člověku, je říční valoun. Tak používal kámen již Homo habilis před 2 miliony let. Nálezy kamene jako nástroje jdou pak dále celými dlouhými dějinami doby kamenné, která znamená v dějinách člověka vůbec nejdelší období. Jednotlivé

fáze se liší i tím, jakou pozornost věnuje člověk výběru materiálu. Od náhodně nalezených kamenů je možno již asi před 250 000 lety zaznamenat vědomé soustředění na zvláště vhodný nerost pazourek. Pazourek je tvrdý, houževnatý kámen, který je pro svou přiměřenou křehkost snadno opracovatelný úderem. Lokality, ve kterých se tento kámen vyskytuje byly zároveň prostorem nejrychlejšího a nejzřetelnějšího vývoje – Tento prostor ležel v pahorkatinách mezi Alpami, Biskajským zálivem a Lamanšským průlivem. Tam všude je pazourek přítomen v křídových horninách. Tam se ve starší době kamenné člověk také pustil dále v tom smyslu, že se nezastavil u sběru. Někde zde začal vybírat a vylamovat vhodné kameny ze skalních výchozů, což je již pradávny začátek důlního podnikání. Z té doby pocházejí první náznaky hledání surovin. Pazourek znamenal pro kromaňonského člověka totéž, co později naleziště rud kovů. Dalšími podobnými, avšak již méně vhodnými kamennými materiály je křemenec nebo rohovec. K pazourku jako těžené surovině přibýly záhy další - jsou to přírodní barviva, používaná v magii a náboženství. Zvláště důležitá byla pro člověka červená, poskytovaná oxidy železa a hnědá a černá, kterou mu dodávaly oxidy manganu.

Mladší dobou kamennou s počátky domestikace zvířat a prvními pokusy s pěstováním zemědělských plodin začíná svítat civilizace. Tento znak bývá spojován s přechodem k usdlému životu, poskytujícímu člověku nové možnosti i pokud jde o využití dosažitelných nerostů. Nová technika – hlazení – spolu se zvládnutou technologií vrtání děr kostěným vrtákem umožňuje používání hornin spíše houževnatých než tvrdých, jako je amfibolit nebo smolek, případně obsidián. Ke kameni a barvivům zde přistupuje další vysoce perspektivní nerostná surovina – hrnčířská hlína.

Patrně v té době se ve zvýšené míře člověk pouští do hlubinné těžby pazourků v šachtách a podzemních chodbách, ražených v křídových a vápencových vrstvách jižní Anglie, Belgie a Francie. Motyky byly vyrobeny z parohu, pazourkové palice byly na pružných dřevěných topůrkách a lopaty byly doslova z lopatek velkých domácích zvířat. K rozrušování horniny se již tehdy začal používat oheň, rozžhavená hornina polita vodou popraskala a snadněji se těžila. Tato metoda přetrvala až do středověku. Nejslavnější ložisko pazourku, této vpravdě strategické suroviny, bylo ve Francii asi 70 km jižně od Tours. Těžilo se ve strmých svazích nad řekou La Claise, a to jak v povrchových lomech, tak v krátkých štolách. Hlízy pazourku medově hnědé barvy dosahovaly délky až 35 cm a exportovaly se do Bretaně, Belgie, Švýcarska i Itálie. Význam této hornické oblasti pro šíření nových myšlenek byl veliký, byla to jedna z prvních setkání lidí z různých končin, rodů či klanů.

Hlína

Je vedle kamene vlastním „materiálem“, ze kterého je složen povrch zemské souše. Země, prst, ornice, je jedním z nejdůležitějších přírodních zdrojů, využívaných zemědělstvím. Jiné druhy „hlíny“, méně vhodné k zemědělství, sloužily k výrobě cihel, a to již při stavbě sumerského města Uru kolem 2040 ante. Ke stavbám prostých domů a pro vnitřní zdi byly cihly pouze vysoušeny na slunci, cihly vnějších zdí byly vypalovány a pokryty barevnou glazurou. Pevnost cihel byla zvyšována řezanou slámou, přimíchávanou do hlíny. Další významné použití hlíny se otevírá na poli keramické výroby, která je pro člověka nenahraditelným zdrojem nádob všestranného použití. I keramika se objevuje nejprve v Sumeru, a to ještě před cihlami, na začátku 3. tisíciletí ante.

Hlína je surovina, jejíž cena se pro její „všudypřítomnost“ nezdá být veliká. I ona je však ve skutečnosti vzácným a ne vždy jednoduše obnovitelným zdrojem. Nejenže byly v dějinách v oné banální „hlíně“ objeveny rudy a suroviny, které člověk dále využívá, nýbrž je to „hlína“ či „země“, která vytváří krajinu a její krásu. Industriální haldy, závážky a násypy, přirozeného

zemního povrchu zbavené plochy, to vše vytváří naopak někdy až bezútěšnou anti-krajinu bez života, či s životem plevelně deformovaným.

Asfalt

Se vyskytuje v přírodě buď v pevném nebo tekutém skupenství. Je to látka snadno zápalná, hořící však čadivým plamenem. U Mrtvého moře se vyskytuje v celých kusech, a ještě mnohem větší naleziště jsou na Trinidadu a na dalších místech světa. Ve starověku byl asfalt využíván způsobem, jakému vděčí právě za svůj řecký název: ASFALIDZÓ znamená „upevňuji“, a tak také asfalt „upevňoval“ cihly ve stavbě, sloužil tedy místo malty. V Egyptě se užíval při mumifikaci. Asfalt byl poté na několik tisíciletí do zapomenutí, a znovu byl objeven v 19. století, a to především jako izolace proti vlhkosti.

Uhlí

Uhlí přichází do člověka světa nejprve jako náhrada, resp. náhražka dřeva. Rozmach kovářství a hutnictví šel ruku v ruce se zvyšující se spotřebou dřevěného uhlí, takže zvýšená těžba byla zanedlouho bolestně patrna. V okolí vznikajících hutí a hamrů byly lesy často vytěženy do té míry, že bylo nutno dřevo dovážet z větších a větších vzdáleností. Uhlí, které se tehdy ještě objevovalo na povrchu ve výchozech některých uhelných slojí, se netěšilo dobré pověsti. Na otevřeném ohništi kouřilo a nepříjemně zapáchalo, a užívalo se proto pouze tam, kde se vyžadovalo dosažení vyšší teploty. První zmínky o povrchové těžbě a využití uhlí pocházejí z roku 852, a mělo se tak stát v anglickém opatství Peterborough. Významné místo v těžbě a využití uhlí patří klášteru Klosterroda v limburském vévodství, kde se těžilo na počátku 12. století. Právý rozvoj využití uhlí je spojen s průmyslovou revolucí v Anglii, a to mnohostranně. Především jsou jím vytápěna ohniště „ohnových strojů“, atmosférických i parních strojů. Své budoucí velevýznamné využití nalézá uhlí díky těm, kteří objevili jak nahradit uhlím dřevěné uhlí ve vysokých pecích. Jde o proces suché destilace, kterou na uhlí provedl již roku 1640 Daniel Strumpfelt, ovšem ještě bez praktického využití. To přichází až poté, kdy bylo koksování úspěšně dovršeno využitím koksu ve vysoké peci Abrahama Darbyho. Ani to ještě nebylo zdaleka vše. Roku 1739 destiloval Angličan John Clayton černé uhlí tak dokonale, že obdržel celou řadu frakcí, od hořlavého plynu až po těžký asfalt. Při destilaci uhlí je jedním z produktů kamenouhelný dehet, který býval jako nevyužitelný odpad spalován. Chemie dokázala z tohoto „odpadu“ získat tolik látek, od léčiv a sladidel až po barviva, že jim bude věnována pozornost v oddíle „Chemie“.

Zemní olej

První zaznamenané setkání člověka se zemním olejem se patrně odehrálo v Číně za dynastie Čchinů, asi 220 ante. Císař nechal vrtáním hledat sůl, avšak našli „olej“. Již tehdy k tomuto objevu našli čistící postup a vyrobili lampy, ve kterých tato celkem nevábná tekutina hořela a svítila. Další setkání se odehrálo o tisíc let později v jedné satrapii perské říše, kde je dnes Baku. Místní vládce Khan opět nechal vynalézt čistící zařízení a opět lampu, ve které tento olej svítil. Karavany pak rozvážely olej po městech blízkého východu, a Khan byl prvním, kdo na této páchnoucí mazlavé tekutině zbohatl. Okolo roku 1840 posílá ruský guvernér vzorek ropy do Petrohradu tamní Akademii věd. Ta však seznala, „že tato tekutina může být dobrá snad pouze k mazání kol vozů“.

Okolo roku 1460 našel Španěl Don Alvara Alfonso Barba olej v Peru. Nebyl však využitkován. Jinak to dopadlo v západní Pennsylvánii, kde Indiáni zavedli francouzského misionáře ke kaluži plné „černé vody“. Kněz ji začíná užívat jako lék, čímž je započata cesta nafty jako léčebného prostředku proti rheumatismu, rakovině, plicním nemocem a vředům.

Tato éra nafty jako léku trvala dlouho. Ještě v časech Benze a Daimlera se benzin kupoval v lékárnách. Mezitím však již roku 1858 plukovník Drake v Titusville hledá sůl jako Číňané a i on nalézá naftu. Deset let po tomto objevu jsou těžbou této tekutiny kolem Oil Creek a Titusville zaměstnány desetitisíce dělníků. Vedle bezejmenných dělníků zní neuvěřitelně příběhy těch, které nafta učinila slavnými a bohatými. Amerikou se potulovali zázrační doktoři, prodávající zemní olej jako lék. Jeden z nich se jmenoval Rockefeller. Měl vůz tažený koněm, tři černochoy, provozující hudbu a dvě polosvlečené tanečnice. Jeho syn je se jmenuje John D. Rockefeller, je to zakladatel prvního naftového trustu, šéf společnosti Standard Oil, tehdy právem považovaný za jednoho ze skutečných vládců světa...

Barviva

Anorganické barvy měly jiné využití než organické. Nebyly totiž vhodné k barvení textilií, avšak mnohem více byly využívány v malířství. Bílá barva se získávala křídou, sádkou nebo vápnem. Tyto běloby byly ve starověku používány i jako líčidla. Zemina okř poskytovala žlutou barvu, rudka červenou. Zvláště ceněny a rozšířeny byly již v pravěku výrazně modré a zelené minerály, které jsou oxidy mědi. Ty se používaly při barvení vypalované keramiky, a právě při této činnosti mohlo dojít k přítomnosti paliva, které bylo zároveň redukčním činidlem. Lze říci, že vrozená lidská touha po barevnosti a pestrosti vynesla ze země na světlo mnohé minerály, ze kterých se posléze více užítu dostalo jako z výchozích surovin v metalurgii či chemickém průmyslu.

Kovy

Kovy, používané v technice jsou především produktem člověkem zvládnutých a řízených metalurgických procesů. Některé kovy však byly známy a používány již předtím, než člověk objevil možnost jejich redukce z rud. Jsou to především zlato a měď, které se vyskytovaly v nezoxidované podobě. Měď se vyskytuje ve velkých balvanech o váze až 3000 tun u Hořejšího jezera v Sev. Americe. Též v Bolívii je měď ve velkých kusech. Podobně je doloženo užití železa, které je však kosmického původu a dostalo se na zemi v podobě meteoritů. Proto se železo nazývalo v Egyptě „nebeský kov“, a meteority byly považovány za zkamenělé hvězdy a uctívány v chrámech. Podíl využívání surových nálezů těchto kovů je však nepoměrně menší než podíl, získaný promyšleným lidským úsilím, a proto i v další kapitole bude i těmto kovům věnována větší pozornost.

Voda a pára

Voda je základ všeho života. Tak to asi viděl i milétský filosof Thales, když předpokládal, že všechno vzniklo z vody. Již záhy se v lidských dějinách stává právě voda nejschůdnější cestou. Do jistého stupně kultury řeky a moře národy oddělují, od jistého stupně naopak spojují. Jak v antickém Řecku, tak v Anglii před vynalezením a zavedením železnice, ale i dlouho poté, je doprava po moři rozhodujícím způsobem pohybu zboží. Vlastnosti vody, žádoucí i nežádoucí, poznává člověk při tom, kdy ji je nucen přemísťovat. Při zavlažování poznává sílu vodního proudu, unášejícího, co se mu postaví do cesty, i kdyby to byla lopatka umístěná na hřideli horizontálního vodního kola. Voda je první „trhavina“, používaná při vylamování kamenných bloků pro egyptské monumentální stavby. Je to ovšem voda, která působí bobtnání dřevěných klínů a tím roztržení skály v v člověkem určeném místě.

Vztah mezi vodou a párou představoval pro člověka dlouho určité tajemství, a to zvláště v kategoriích starého myšlení, založeného na 4 elementech. Z tohoto učení vycházelo jako nejsrozumitelnější to vysvětlení, že je to živel vzduch, vzniklý působení živlu oheň na živel voda. První cílené pokusy s párou bývají přičítány Heronovi, který párou roztočil aeolský

míč, Aeolipilu, neboli Heronovu bář. S párou dokázal dělat zajímavé a poučné pokusy, demonstrující takřka zázračné a tajemné vlastnosti této zvláštní substance. Pára se postupně stává nepostradatelným mediem v celém velkém oboru tepelných strojů, a to vše je založeno na tom, že z jednoho litru vody lze získat za normálního atmosférického tlaku 1700 litrů páry, schopné se ovšem znovu proměnit v 1 litr vody.

Vzduch

Nebylo jistě jednoduché pochopit povahu oné sice všudypřítomné, avšak „neviditelné“ látky, prostupující náš svět. Vzduch byl považován za látku, související velmi těsně se životem, a to na základě jednoduchého pozorování – dokud člověk dýchá, „ventiluje“ dotud žije. Anaximenes, ionský filosof, si všímal právě této zvláštní povahy vzduchu – ač je sám neviditelný, pohybuje i solidními hmotami, přesouvá písečné duny, formuje a deformuje koruny stromů, a přisoudil mu i proto důležitou roli oné ARCHÉ, prvopočátku, ze kterého vydělováním protikladů povstává všechno ostatní. První pneumatické pokusy bývají připisovány alexandrijským mechanikům. Povahu vzdušného oceánu zkoumají pak jak galileo galilei, tal Toricelli, Viviani, Otto von Guericke, a jedním z výsledků jejich objevů je atmosférický stroj. Nezastupitelná role vzduchu při hoření byla rozeznána především v metalurgických postupech, ve kterých je nutnost přívodu vzduchu řešena několika způsoby. Pece byly buď stavěny na návětrných svazích, na kterých sám vítr vháněl vzduch do kanálu, ústícího v peci, nebo později byl vzduch do pece vháněn měchem. Konstrukce zařízení, vhánějících vzduch do pece bylo velmi mnoho, byla to jakási stálá výzva, volající po nalezení něčeho nového, výkonnějšího, jednoduššího, úspornějšího.

Vzduch je tedy vedle vody ta nejvzácnější přírodní surovina, která je výjimečná i tím, že její využívání se na rozdíl od ostatních surovin děje svobodně, volně a bezplatně, za dýchání tedy nic neplatíme. I této anarchii však bude doufejme jednou učiněn konec.

Rudy

Od chvíle, kdy člověk objevil možnost získávat z minerálů kovy, nastala zcela nová situace. Pustá místa, o která neměl zájem ani zemědělec, a kde často ani nomád nenašel potravu pro svá stáda, se stala náhle místy strategické důležitosti. Sinajský poloostrov se svým bohatstvím měděných rud se stal předmětem mocenského zájmu Egypta. Mapa rozmístění rudných nalezišť se stává postupně stále a stále důležitějším východiskem dramatu mezinárodní mocenské politiky. Doly, které bylo nutno hloubit po vyčerpání výchozů rudných žil a vytěžení podpovrchových vrstev sloužily právem jako obraz pekla. Byla to místa, ve kterých ve starověku obvykle pracovali zajatci, otroci a trestanci.

Kovy

Zlato (Aurum, spojováno se Sluncem)

Nejen v Hesiodově eposu Práce a dni (o kterém bude ještě několikrát řeč), ale v reálných dějinách byl patrně jedním z prvních kovů, se kterými se člověk kdy setkal. Je jedním z těch kovů, které je možno při troše štěstí v přírodě v čisté podobě nalézt. Zlato se nachází zvláště v říčních naplaveninách, kam je přinášeno ze zlatonosných končin v horních tocích řek. Známost zlata bývá kladena do neolitu, tedy před 6000 lety. Je to kov velmi pohnutých dějin, stal se záhy prostředkem směny a různá etnika k němu měla navzájem velmi odlišný vztah. Některá neměla pro zlato slovní označení, a protože se s ním tyto kmeny seznámili později než s dalšími kovy, nazývali ho buď názvem, pod kterým k nim přišlo, případně jako „žlutou měď“ nebo „žluté železo“. Zlato se zpracovávalo především tepáním, a vlastně od samého

počátku to byl vždy kov ozdob, amuletů, magických předmětů. Jeho největším starověkým nalezištěm byla Nubie, později tajemná země Ofir, za kterou se patrně skrývá Indie nebo Arabie. Těžba zlata se děla nejprve rýžováním, založeným na tom, že těžší zlatinky klesají v rýžovací nádobě ke dnu nebo se zachycují na dně koryta, kterým voda s rozmělněnou zlatonosnou horninou protéká. Báje o zlatém rounu připomíná právě to, že rouno bylo dobrým „zachycovačem“ zlatých šupinek. Pokročilejší technologií je amalgamace, při které je využita objevená skutečnost, že je zlato rozpouštěno rtutí a ohněm je možno ho z rtuti opět oddělit.

Stříbro (Argentum, spojováno s Měsícem)

Stříbro bylo poznáno mnohem později než zlato. Je to proto, že se jako čistý kov vyskytuje daleko vzácněji, a jeho příprava z rudy je obtížnější. Stříbrné šperky, pocházející ze začátku 3. tisíciletí byly nalezeny v Řecku, později bylo stříbro těženo Féniciány na Pyrenejském poloostrově a jejich obchodem šířeno dále. Dostatek či nedostatek tohoto kovu velmi výrazně ovlivňoval jeho cenu, a to zejména vzhledem k zlatu. V některých krajích bylo proto ceněno nad zlato, jinde byla jeho cena velmi malá, jako například v Palestině za časů Šalomounových. Ve starém Egyptě bylo naopak zlato ceněno méně než stříbro, a proto byly někdy zlaté předměty potahovány stříbrným plíškem. Vzájemný kurz stříbra a zlata, těchto dvou „mincovních kovů“ byl předmětem velmi ranných ekonomických spekulací a zásahů, majících přivodit cílené ekonomické důsledky. Tak rozhodnutím Filipa Makedonského o zrovnocnění zlata a stříbra měla být poškozena perská ekonomika, založená na zlatu.

Jistou roli hrála i slitina zlata a stříbra, Egyptany nazývaná „asem“ a řeky „elektron“. Právě „podvodná“ slitina zlata a stříbra v koruně krále Hierona prý přivedla Archimeda k slavnému, takřka detektivnímu pátrání, na jehož konci je dle vyprávěné legendy Archimedův zákon.

Měď (Cuprum, spojováno s Venuší)

Pomineme-li kovy, které se nacházejí v přírodě v ryzí formě nebo jsou meteorického původu, pak prvním kovem, získaným činností člověka, byla měď. Dle dnešního stavu vědění se tak stalo náhodně kole 5000 ante. a to v přední Asii. Jak se to stalo osvětlují dvě teorie - jednak obložení stálého ohniště malachitem, druhá, že se tak stalo při vypalování keramiky. Vedle odlévání byla u mědi objevena možnost kování za studena, a to v této fázi takřka výhradně na ozdoby a zbraně vyvolených.

K Egyptanům přišla známost metalurgie mědi z Asie. Využívali bohatá naleziště měděných rud na Sinajském poloostrově. Tyto počátky snad sahají až do 5. tisíciletí ante. Sinajský poloostrov se stal pak pro Egypt prostorem jeho strategického zájmu, a máme zde co činit s tím, že místa se surovinovými zdroji roztácejí kola imperiální politiky. Podobná naleziště byla předmětem státního zájmu, svárů i válek. Z mědi byly vyráběny kamenické nástroje, pro tento účel byla měď tvrzena arsenem. Sošky sumerských bůžků z doby kolem 4000 ante jsou 99.9 % mědi, stejně jako egyptské zrcadlo z období kolem 3500. V době římské byl hlavním nalezištěm mědi ostrov Kypr, a odtud pochází i latinský název mědi – cuprum, z aes cyprium, kov kyperský.

Cín (Stannum, spojováno s Jupiterem)

Se objevuje již ve 3. tisíciletí ante, a byl patrně znám v Egyptě i Mezopotámii. Existoval i obchod s cínovou rudou, který překračoval hranice jednotlivých kulturních okruhů. V antice

nebyl ovšem často přesně odlišován cín od olova. Cín se ovšem objevuje především jako součást důležité slitiny s mědí, bronz. Přírozeným počátkem používání bronzu mohly být rudy, ve kterých se již oba kovy vyskytovaly přibližně v tom poměru, v jakém jsou v bronzu obsaženy.

Železo (Ferrum, spojováno s Marsem)

Dokázali poprvé z rudy získat Chetité kolem poloviny 2. Tisíciletí ante. Získávalo se především z rudy hnědele a magnetovce, Zprvu vyráběné železo však bylo málo uhličitě a proto měkké a nedosahovalo kvality bronz. Teprve kolem 1200 se podařilo vyrábět ocel a kolem 1000 ji vyrábět v dostatečném množství. Ocel se stala nejdůležitějším materiálem pro výrobu zbraní a nástrojů. V Indii je již od poloviny 2. Tisíciletí známa i litina. Větší rozšíření železa se datuje asi od dob Homérových, tedy od počátku 1. tisíciletí ante. V římské době měly dobrou pověst doly na železnou rudu na Elbě a v nynějším Štýrsku. Egypt měl vlastní doly na železnou rudu jihozápadně od Assuánu a u Hammai mezi Nilem a Rudým mořem.

Železo bylo v mytologických a astrologických představách spojeno s planetou Mars, a s ní s válkou a smrtí. Nástroje pro posvátné a kultické úkony tak velmi často nesměly být ze železa – v římských dobách musela například radlice pluhu, kterým se vytyčoval obvod zakládaného města, být z mědi. Brána do pekla je v pohádkách zpravidla železná. Železo bylo používáno především na zbraně, a to až do 18. století, a teprve poté se začíná prosazovat i jako konstrukční materiál a začíná v této roli vytlačovat dřevo. Význam železa a oceli v dějinách techniky je tak velký, že dějinám metalurgie železa je věnována v tomto modulu samostatná obšírná stat'.

Olovo (Plumbum, spojováno se Saturnem)

Je známo již ve 2. tisíciletí ante, a to v Egyptě, Mezopotámii a Indii. Je používána pro mnoho účelů, v Egyptě jsou například z olova střešní tašky, a je o něm zmínka v daňovém soupisu faraona Thutmose II., panujícího v 15. stol. Ante. v Indii závažíčka, napínající na vertikálním rámovém tkalcovském stavu osnovní nitě. V Řecku i v Římě byla výroba olova velmi rozsáhlá a bylo používáno i pro mnoho předmětů každodenní potřeby, například na psací tabulky, závaží a mince. Olovo bylo používáno i pro vodovodní potrubí. Odtud také pocházelo mnoho případů otravy olovem, která se projevuje mimo jiné i neplodností. Římané dokázali olovem i letovat. Zaměňování olova a cínu vyplývalo i z toho, že oba tyto kovy byly považovány za odrůdu téhož kovu. Sám Plinius ve své „Historia naturalis“ mluví o černém a bílém olovu.

Rtuť (Argentum vivum, spojováno s Merkurem)

Byla známa již Egyptanům od 16. stol. ante, Řekové a Římané ji vyráběli z rumělky. Používala se k těžení zlata amalgamováním. První císař Čchinů kolem r. 220 ante nechal vyrobit plastickou mapu své říše, kde vodní toky a plochy představovala rtuť. Kovovou podstatu rtuti předpokládal již G. Agricola, prokázána však byla teprve fyzikem Braunem roku 1759.

Hliník

H. Davy tavil jednou 1809 v kelímku elektrickým obloukem železnou rudu, obsahující kamenec a dostal slitinu "tvrdší než železo, ale mnohem lehčí" Dánský fyzik Oersted o tom zpravil německého chemika Woehlera - otce syntetické chemie - a tomu se r. 1828 podařilo vyloučit čistý kov v podobě prášku, který nazval "alumen" Chemický způsob výroby ve velkém vypracoval o třicet let později francouzský chemik St.-Claire Deville. Roku 1859 bylo vyrobeno 100 kg hliníku, kg stál 1050 Franků. Na pařížské výstavě budilo toto "stříbro

z hlíny" velkou pozornost, německý fyzik Bunsen ukázal možnost vyrábět hliník elektrolyticky, ale teprve Angličan Brandley r. 1883 přišel na šťastnou myšlenku vyvozovat potřebné teplo uvnitř nádoby elektrickým proudem a tak pomohl elektrolytickému způsobu k úspěchu. Hall v Americe a Héroult s Kilianem (z AEG) začali koncem 80 let vyrábět ve velkém nejprve hliníkové slitiny a potom hliník čistý. Výrobní cena klesala, ale zájem byl nevalný - z hliníku se vyráběla kukátka, držátka a hračky. Zhola novou cestu ukázala motorová skříň z hliníku, vyrobená 1890 Daimlerovou továrnou. Hliníkové slitiny, zejména duraluminium (hliník s mědí, hořčíkem a manganem) způsobilo hotový převrat ve stavbě motorů, automobilů a letadel.

Nekovové materiály

Keramika

Bývá svým počátkem kladena do časů agrární revoluce, kdy usazené populace mají nejen možnost, nýbrž i potřebu výroby keramických nádob. Největšího rozmachu dosáhla keramická výroba v Babylonii a Assyrii, a to dílem i proto, protože v těchto krajích byl nedostatek kamene, což vedlo k zvýšenému zájmu i umění ve zpracování takřka všudypřítomného materiálu – hlíny. Pokročilá keramika je ovšem vyráběna ze speciálních vhodných přírodních materiálů. Základem všech výrobků jsou sloučeniny kyseliny křemičité, křemičitany. *Hlína*, tento základní materiál je vlastně křemičitan hlinitý znečištěný železem. Nejcennější hlínou je kaolin, který se ztrátou kyseliny křemičité stává bauxitem, surovinou k výrobě hliníku. Postup výroby keramiky všech druhů je stejný - hlína zbavená nečistot se smísí s vodou, prohnětena v těsto a pak formována do žádoucích tvarů. Po vypálení při 900° - 2000° nastane v tomto materiálu taková chemická proměna, která mu dodá tvrdost, pevnost a nerozpustnost. Povrch bývá pokryt glazurou. Podobným způsobem vzniká porcelán, kamenina, hliněné zboží, cihlářské zboží, ohnivzdorné hmoty i spojovací stavební materiály.

Sklo

Nejstarším kouskem skla je skleněná perla, nalezená v jednom egyptském hrobě a pocházející z 6. Tisíciletí ante. Kolem počátku 4. Tisíciletí se výroba skleněných předmětů, zejména perel, objevuje ve větší míře v Egyptě i v Mezopotámii, a to ve velmi vyspělé podobě. Sklářství bylo posvátným řemeslem, pece musely být stavěny ve šťastném měsíci a byly kulticky posvěceny. Vznešenost si sklářství zachovalo po tisíciletí, v Benátkách byl každý sklář šlechticem a ve Francii v 15. Století bylo sklářství vyhrazeno pouze šlechticům. Výrobní tajemství byla velmi přísně střežena, a jejich uchování bylo váženo více než lidský život. Při výrobě skla byla ovšem velká spotřeba dřeva, protože z dřevěného popela se získávala potaš jako jedna z nezbytných surovin. Nový způsob sklářství, velkovýroba skleněného zboží a seriovitost přichází z USA. Tamní skláři neměli příliš smyslu pro tajemné obřady a uchopili řemeslo zcela komerčně, což ovšem vyvolalo nutnost podobného obratu i v Evropě. Tak například Owensův stroj na výrobu lahví z r. 1900 nahradil 45 sklářů i s pomocníky.

Metalurgie základních technicky využívaných kovů

Měď a její slitiny

Objev a užití kovových materiálů vedl ke společenským změnám a postupnému zániku neolitických kultur. První použití přírodního kovu bylo pouze podružnou záležitostí vedle využívání klasických přírodních materiálů – kamene, kosti a dřeva, které sloužily k výrobě nástrojů ještě celá tisíciletí. Teprve osvojení a rozšíření znalosti tavení, slévání a kování při využití plastických vlastností kovů pro výrobu předmětů nejrůznějšího charakteru vedlo k důslednému užívání kovových nástrojů. Kritické stadium bylo překonáno teprve po zavedení systematické těžby rud, která postupně nahradila povrchový sběr.

Existuje řada teorií o původu metalických kultur a jejich postupné penetraci. Nejvíce hmotných dokladů potvrzuje teorii o původu mědi a jejím zpracování na Blízkém východě v oblasti severovýchodního Íránu a východní Anatolie, kde se nacházejí vhodné zásoby měděných rud a paliva. Časová hranice prvního užití mědi v těchto oblastech se posunula až k 7. tisíciletí př.n.l., zatímco systematické zpracování karbonátových a oxydických ložisek nastalo až v dalších tisíciletích. Všeobecně se soudí, že objev tavení mědi, případně jejich slitin s příměsí jiných kovů (antimonu) obsažených v rudách proběhl při vypalování keramiky, kdy se mohlo docílit dostatečně vysoké teploty kolem 1000 stupňů Celsia. Náhodná vsázka rudy ve formě příměsí v topné komoře keramické pece v redukčním prostředí mohla přivodit redukci kovu za současného vzniku metalické strusky. Byly to právě měděné rudy, které byly rozpoznatelné svým výrazným zbarvením. Měď byla ostatně získávána prospektorskou činností ve své ryzí formě od 7. tisíciletí. Z počátku byla zpracovávána kovářím a tepáním za studena, později byla její křehkost při těchto operacích odstraňována ohřevem.

Metalurgické znalosti se rozšířily z původního centra do Evropy přes Středomoří a dále přes Balkán, případně cestou severně Kavkazu. Zeměpisné určení metalurgických center je dáno výskytem vhodné rudy a možností získání vhodného paliva. Tyto lokality ležely většinou na samých hranicích městských států úrodného půlměsíce, či zcela mimo jejich kontrolu. Proto vládcové těchto států koncentrovali surovou měď z odlehlých zdrojů do zpracovatelských dílen v centrech. Ve středoevropském prostředí se měď získávala směnou z Balkánu, teprve později se objevují výrobky z arzenové mědi mající původ v oxydačních zónách uhličitých rud východoalpských ložisek. Po vyčerpání těchto zdrojů se přešlo k tavení sulfidických rud, vyžadujících složité pražicí, redukční a rafinační pochody. Při pražení byly vrstvy rudy prokládány vrstvami dřevěného uhlí. Následovalo trojí tavení, při němž byla postupně získána měď o ryzosti 95%. Spontánně vzniklé bronzové slitiny s příměsemi As, Sb a Pb byly obvyklé v celé metalické oblasti Evropy. Tyto prvky pocházely zpočátku ze zpracováváných rud, teprve později byly do materiálů určených k odlévání záměrně přidávány. Srovnáním množství strusek a množství odvalů z oblasti východních Alp,

datovaných do střední doby bronzové, lze odhadnout produkci mědi, která v této oblasti trvala od roku 1700 před n.l. a rozvinula se v rozmezí let 1300 až 800 př.n.l. zhruba na 20 000 t mědi. Z prostředí českých zemí nejsou pro toto období žádné archeologické doklady těžby měděných rud. Byla však exploatována ložiska Slovenského Rudohoří, odkud existují doklady těžby od starší doby bronzové, doložené nálezy motykovitých mlatů ze starých hald ve Španie dolině.

K využití přírodní mědi a mědi získané redukcí kysličníkových a karbonátových rud došlo ve středoevropském prostředí od 4. do počátku 3. tisíciletí př.n.l.

Nejstaršími kovovými výrobky pocházejícími ještě ze samého sklonku neolitu jsou měděné předměty z okruhu lengyelské kultury (ploché sekery, motykovité sekery), bohužel však z nestratifikovaných nálezů. Původ těchto předmětů je patrně v oblasti jihovýchodní Evropy. Polovina jedné z nejstarších kamenných forem pro odlitek dýčky z Luděrova na Olomoucku může ukazovat na hypotetické využívání jesenických měděných rud lidem kultury zvoncovitých pohárů. Poněkud nejasným dokladem hutnické činnosti z období staršího metalika je nález reliktní tavicí peci ze sídliště pod Klucaninou u Tišnova, případně nález poloroztaveného bochníku bronzoviny s dosud neroztavenými zlomky předmětů z Horního Spáleníště ve východních Čechách. Od nejstaršího eneolitu je v Čechách prokázáno slevačství mědi nálezem kelímků na sídlišti kultury nálevkovitých pohárů v Makotřasech. Ze staré doby bronzové z období únětické kultury pocházejí početné soubory odlitků seker, dlát a dýk. Absence slévárenských forem může být dána užitím hliněných forem pro vytavitelné voskové modely. Ojedinělým je nález otevřené formy pro odlitek ploché dýky z Prahy–Vysočan. Nálezy trvalých slévárenských forem, kamenných kadlubů, pocházejí až z mladších období. Jejich rozšíření je nápadné při dolním toku Ohře a na Slánsku, odkud pochází zhruba polovina nálezů (cca 60 kusů) v koncentraci přesahující evropský průměr. Tyto formy, většinou dvoudílné, mají již všechny konstrukční náležitosti užívané dodnes pro odlévání jak jednoduchých odlitků (hromadné stomečkové odlévání jednoduchých ozdob, nášivek, kroužků), případně hmotnější odlitky plochých seker, seker s lištami a seker s laloky, nožů, břitev, srpů s lištami – tak pro odlitky dutých předmětů s použitím hliněného jádra (např. sekyrky s tulejí). Otvory ve složitějších odlitcích byly vytvářeny buď pomocí nepravých jader, gravírovaných přímo ve formě, nebo pomocí hliněného jádra umístěného buď na podpěrkách z drátů, nebo fixovaných známkou ve formě. Způsob výroby odlitku lze ve většině případů odvodit podle technologických stop zanechaných na odlitku, na němž i po opracování kameným brouskem nebo pilníkem, či dlátkem zůstávají švy dělicích rovin, případně stopy vtoků a výfuků. Je také možno rekonstruovat způsob výroby z částí, případně i zlomků trvalých – ve vzácných případech i hliněných forem. Kamenné lící formy byly často kombinovány tak, že byla využita jak líc, tak ostatní plochy formy, v nichž byl rytím vyhotoven negativní tvar předmětu určeného k odlití. Vzájemným pootáčením formy bylo možno odlít další předměty. Formy byly opatřeny vtokovou soustavou, případně jemně rytou soustavou odvodu vzdušných kanálků, zaváděcími kolíky zajišťujícími části formy proti vzájemnému přesazení. Z této doby existují hmotné doklady nálezů základního nářadí dokládající kovářské operace a úkony při opracování odlitků (kladiva, kleště, dlátka, sekáče, pilníky jednoduchých forem) pocházející jednak z výrobních okrsků, jednak z hrobové výbavy řemeslníků, případně z přítomnosti nářadí v depotech. Existovaly rozdíly v lících technikách užívaných v různých oblastech Evropy, jak je zřejmé z vtokových soustav seker s tulejí, kde se v oblasti západně od Slovenského Rudohoří užívalo dvou vtokových kanálků, zatímco na východ pouze jediného. Odlévání na ztracený vosk bylo užíváno více v oblastech Skandinávie, než ve střední Evropě, kde bylo této metody užíváno jen ojediněle a to spíše v pozdějších obdobích. Vzácně se nacházejí i bronzové formy. Na opakované využívání materiálu ukazují depoty zlomků již užitých předmětů.

Pro odlévání předmětů do forem bylo později užíváno hlavně slitin mědi, které měly lepší mechanické a technické vlastnosti než čistá měď. Lépe se odlévaly a byly tvrdší, to podle druhu a množství příměsí. Nejprve to byly patrně bezděčně přítomné příměsi mající původ v tavené surovině. Tak prvními bronzí byly slitiny s obsahem arzenu, typické pro bronzí balkánského původu. Některé drobné odlitky římských metalurgů mají ještě podobné složení. Není jasné, jakým způsobem došlo k záměrné přípravě klasické bronzí, slitiny mědi s cínem. Pravděpodobně se tak stalo při tavení měděných rud s příměsí kasiteritu ve vsázce. Tyto slitiny se objevují na Předním východě od 3. tisíciletí před n.l., ve střední Evropě zhruba o tisíc let později. Zdroj cínu, jehož bronzí obsahují 5 až 10 %, není spolehlivě vysvětlen, patrně byl získáván z dnes již vyčerpaných ložisek v horách Íránu, Afghánistánu a Pakistánu. Úvahu, že cín pro bronzové odlitky únětické kultury byl získáván z oblasti Krušných hor, případně, že byl předmětem dálkového obchodu do území Malé Asie (Trója), případně Mesopotamie (Ur), je nutno opustit. Samotná únětická kultura je navíc chudá a retenční.

Metalurgická pec se lišila od ostatních typů pecí (chlebových, keramických, resp. sklářských). Jak již bylo řečeno, její původ souvisí s činností pecí pro výpal keramiky. Ovšem pro keramickou pec z tohoto období nejsou hmotné doklady. Existuje domněnka, že úpravou této pece, případně změny konstrukce, které si vynutila nová technologie, vedly k novému typu pece. Měděná ruda může být natavena již při teplotě 800°C, zatímco čistá měď při 1083°C, což jsou teploty, jichž bylo v keramických pecích dosahováno. Pece, do nichž byl dmýchán vzduch, mohly být užity nejen pro tavení surového kovu, ale mohlo z nich být přímo odléváno. Aby se vyloučilo působení paliva na tavený kov, byl kov v některých případech taven v kelímcích, které byly zhotoveny buď z jílu, nebo směsí jílu a písku. Takový kelímek mohl být vkládán do jakékoliv pece. Kromě tavení v kelímku, které bylo užíváno spíše pro práci s menším množstvím vzácných kovů (např. zlata), bylo nejprve užíváno kotlovité zahloubené nístěje vymazané jilem, do níž byl přiváděn vzduch systémem otvorů, tohoto typu pece bylo užíváno na Blízkém Východě v rozmezí 3. a poloviny 2. tisíciletí př.n.l. (Ras el Timná, Izrael). Roztavená měď byla nalita do kamenné formy v níž byly odlity tyčky nebo malé ingoty. Postupně byla nístěj obklopena kruhem z kamene, nebo jílu, který se postupně zvyšoval – nejprve při zadní stěně pece – až vytvořil šachtu pece. Takový typ pece byl v Evropě postupně užíván od 2. tisíciletí. Byl převzat z oblasti východního Středomoří. Vrstvy dřevěného uhlí a rudy vyplnily nístěj pece, do níž byl přiváděn vzduch z prostoru za nístějí. Roztavený kov se sbíhá a slévá do lupy v nístěji pece. Nálezy zlomků keramických dyšen dokládají užití umělého dmýchání vzduchu do prostoru pece. Otázka užití dmýchání vzduchu (větru) nutného pro dosažení tavicí teploty materiálu není spolehlivě vyřešena. Bez použití dmýchání vzduchu nemohou být některé těžké tavitelné kovy (např. zlato) roztaveny. Pro roztavení malého množství kovu, jak se jej používá např. v klenotnictví, stačí použít trubice, do níž se fouká vzduch ústy. Egypťané používali kovových trubic s jílovou keramickou hubicí, která dostala v pozdější době tvar jednoduché dyšny ústící do pece. Prostší byly rákosové trubice užívané ke stejným účelům Sumery a Babyloňany. Větší množství dmychaného vzduchu a hlavně jeho plynulou dodávku vyžaduje efektivnější řešení. Nejjednodušší je užití zvířecí kůže jako měchu. Výhodnější je užití diskovitých měchů. Dvě, nebo více nádob je pokryto volnými kůžemi. Trubice z nádob ústí do dyšen volně, aby škvírou mohl být do nádoby nasáván vzduch, který je posléze tlakem na kůži vháněn do pece.

Se vzrůstající produkcí železa dochází k postupnému omezování využití bronzů, kterých se postupně užívá spíše k výrobě drobných předmětů ozdobného nebo votivního charakteru. Výjimku tvoří odlitky uměleckého charakteru, které se objevují již v kulturách Předního východu, často z kombinovaných materiálů – původně tepané. Po roce 1800 před n.l. vznikají na Krétě drobné bronzové idoly, plakety a modely labyrintu, z Mykén pak známe lité ataše kotlů, zrcadla a rhytony. Etruskové odlévali drobné rituální sošky, ale i sochy tvořené pod řeckými vlivy. Vrcholu dosáhla tvorba v období klasické řecké kultury, což dokládají

tenkostěnné odlitky postav bohů, heroů a atletů, často z nálezů z vraků. Model postavy byl vytvořen z hlíny, na nějž byla natažena tenká vrstva vosku o síle stěny odlitku. Po vytavení modelu a odlití formy došlo k cizelování odlitku, zahlcení nerovností, odstranění technologických stop, vyhlazení povrchu a vyznačení detailů rydlem (vousy, vlasy). Do bronzového odlitku byly vkládány další materiály, jako rty z mědi, zuby ze stříbra a oči pokryty skelnou pastou. Povrch odlitku byl vyleštěn do červenavé barvy. V počátcích Říma se odlévají drobné plastiky podle předloh starších severoitalských kultur, teprve později sochy politiků inspirované řeckými vlivy, nebo kopie řeckých originálů. Z keltských dílen jsou to lité mince, drobné figurky, lité konvice vyráběné pod etruskými nebo řeckými vlivy (kratér z Vix). Pro východní kočovné kmeny jsou typické lité kotle.

Po několikastaleté odmlce dochází k nové vlně výroby hmotných odlitků, jako jsou např. odlévané chrámové dveře, křtitelnice a konečně odlévání zvonů. Ty byly odlévány již od 4. století římskými řemeslníky, ale ke skutečnému rozvoji této specializované výroby došlo až po roce 1000. Nejstarší zvon na území českého státu byly snad již ve 12. století v Sázavském klášteře. Z datovaných zvonů byl nejstarší zvon z Trhových Svinů (1261, bohužel roku 1826 roztavený), nejstarší zachovaný zvon je deponován v chebském muzeu, je datován 1286 a jedná se snad o import z Dalmácie. Ze 14. století pochází již celá řada zvonů patrně domácí produkce (celkem na 32 exemplářů), z 15. století celkem 417 zvonů, již klasického profilu zvonového žebra užívaného dodnes. Kromě odlitků různého nádobí dochází od konce 14. století k odlévání dělostřeleckých hlavních a znovu uměleckých odlitků z nejrůznějších materiálů na bázi slitin mědi, často s vysokým obsahem olova a dalších přísad. Příkladem může být socha sv. Jiří, odlitek zhotovený bratry z Klausenburka (Kluže), pocházející z doby kolem roku 1375, původně součástí sbírky na Budínském hradě. Z dalších století známe celou řadu zvonů, fontán a soch i se jmény jejich výrobců (Tomáš Jaroš z Brna, Vavřinec Křička z Bítýšky – autor „Návodu k lití zvonů a děl...“). Kovolitecké řemeslo dosáhlo vrcholu v 16. století, kdy desítky dílen pracovaly v českých městech, kde zpracovávaly kutnohorskou měď, která byla vedlejším produktem při zpracování stříbra. Kromě kutnohorské mědi byla získávána měď také z kyzových ložisek s obsahem mědi v západní části Krušných hor. O dolování u Kraslic jsou písemné doklady z roku 1412, dolovalo se zde však patrně nejméně v předchozím století. Dolování pokračovalo po 15. století, vrcholu však dosáhlo ve století 16. Po přerušení zaviněném třicetiletou válkou se podařilo těžbu v menším měřítku obnovit, ta však skončila v 18. století. Od poloviny 15. století se dolovalo u Měděnce a na Hoře sv. Kateřiny. Těžbu financovalo těžářstvo rudokupců ve spojení s norimberskými obchodními domy. Spolu s postupným omezováním těžby se snižovala také produkce zvonařských dílen, na jejichž provoz měla vliv třicetiletá válka a její hospodářské následky. Tradiční výroba však trvala až do 19. století.

Železo

Terminologický exkurz:

Železo (ferrum) je chemický prvek s atomovým číslem 26, čisté železo je stříbrně bílý kov, jeho měrná váha je 7,84 a bod tání 1529 C. V čisté podobě se prakticky nevyskytuje, i když se tu a tam udává, že z čistého železa je tzv. Kutubský sloup u Delhi v Indii. V technické praxi a tedy i v dějinách techniky se používá pouze železo s přísadami, a to zejména s těmi, které jsou úmyslně k železu přidávány pro dosažení určitých vlastností (uhlík, mangan, křemík, nikl, chrom, molybden, wolfram, vanad, kobalt atd.) Dále bývají přítomny příměsi nežádoucí,

kteře se nepodařilo při výrobě odstranit a kteře technickou kvalitou kovu zhoršují (fosfor, síra, dusík). Železo s žádoucími (i nežádoucími) přísadami se v odborné technické terminologii již nenazývá železo, nýbrž podle obsahu uhlíku se výsledná slitina železa a uhlíku (a případně dalších kovů) nazývá buď ocel – do 1,8 % uhlíku nebo litina s obsahem uhlíku vyšším.

Název „železo“ se ovšem vyskytuje (zvláště v historických studiích) ve spojení „železo svářkové“ a „železo plávkové“. Jako železo svářkové se označuje železo, které při svém zkujňování nedosáhlo tavicí teploty a došlo tedy pouze těstovité konzistence, což bylo především železo zpracovávané pudlováním, zatímco železo plávkové je to, které při zkujňování zůstává tekuté. Jiným ustáleným spojením je termín „železo kujné“ a „železo nekujné“. Sám název napovídá, jaké je zde rozlišující hledisko. Teoretickým rozhraním je 1,75% C, avšak v praxi mají kujná železa zřídka přes 1,5 % C. nekujné je především surové železo, které může mít až 7% C. Surové železo buď podstupuje zkujňovací proces, spočívající především ve snížení obsahu uhlíku, nebo je přetaveno na litinu, u níž se obsah uhlíku pohybuje kolem 2,5 %, a která tedy patří mezi slitiny nekujné.

V pojednáních, věnovaných dějinám techniky se ovšem platná odborná terminologie obvykle nedodržuje. Běžně se mluví o „železe“, „železné době“, „železných nástrojích“, „železných výrobcích“, „výrobě železa“, ačkoliv by se takřka ve všech případech mělo mluvit o oceli, případně surovém železe nebo litině. Na tuto terminologickou nepřesnost je nutno si zvyknout a převádět si případně v mysli tradičně nepřesně užívané výrazy do platné odborné terminologie.

Počátky výroby železa ve starověku

Železo, které s výjimkou meteoritů (tzv. nebeského kovu) nebylo v přírodě k dispozici v ryzí podobě, se vlivem obtížně tavitelných rud opozdilo ve svém nástupu do světové techniky za jinými kovy. Jeho záměrná výroba byla podmíněna nashromážděním potřebných metalurgických zkušeností a objevila se až kolem roku 2000 před n.l. v Anatolii, v zemi s dlouholetou kovohutnickou tradicí. Nejprve se železné předměty objevují vzácně na celém území tzv. úrodného půlměsíce spíše jako části luxusních předmětů (dýky z Théb, Alaca Hyuk I). O dalším rozšíření železa existují písemné prameny (hliněné tabulky) ze středoasyrského (13. stol. před n.l.) a novoasyrského prostředí, hmotné doklady však chybí. Od 9. stol. před n.l. je součástí výzbroje asyrské armády železná dýka (patar parzilli) o délce 40 cm a šupinové brnění ze železných a bronzových částí. Neexistují žádné hmotné doklady o výrobě. Železo bylo získáváno kořistěním v okolí a ukládáno v královském paláci (160 t Chorsabad za Sargona II.), z něhož král železo přiděloval. Z tohoto materiálu jsou známy metalurgické rozborů (Pleiner, 1972). V 8. a 9. století je v pramenech zmiňováno na 40 kovářů. V této době dochází k výrobě železných nástrojů; radlic, špičáků, motyk, teslic, sekyr, pil a dalšího zboží, např. hřebíků. Odtud postupovala znalost výroby železa do ostatních částí Starého světa, zejména do středomořské kulturní oblasti. V oblastech dnešní Sýrie a Palestiny, případně Řecka, se užití železa objevuje na počátku 1. tisíciletí před n.l. Je pouze málo známých lokalit vztahujících se k počátkům metalurgie na Blízkém a Středním východě. Z oblasti severní Sýrie (Tel Siuhh a Fawquani) pocházejí železné strusky, včetně polotovarů a drobných výrobků datovaných do 8. až 7. století před n.l. V Kolchidě (dnes západní Gruzie) na pontickém pobřeží byly zkoumány 4 lokality s 28. hutěmi, vybavenými buď 1 nebo 2 pecemi datovaných metodou C 14 do období od 18. po 6. století před n.l. Z oblasti Řecka a Egejských ostrovů jsou známy pouze struskové haldy z Thráckého pobřeží, datované teprve do 2. století před n.l.

Po dlouhodobé exploataci měděných rud (asi od roku 4000 před n.l.) došlo již v 9. století před n.l. k těžbě a zpracování železných rud ložisek středomořského ostrova Elba. Místní významné železářství vznikalo ještě v prostředí villanovské kultury, na jejíž základech se formovala etruská civilizace, s níž je rozvoj místní metalurgie železa spojen. Je uvažována také účast řeckých kolonistů z tzv. Velkého Řecka. Šachtové železářské pece byly zakládány na východním a severním pobřeží ostrova v blízkosti výchozů magnetitických a hematitických železných rud, případně na samém východním pobřeží ostrova. Názor na rozměry etruské šachtové pece se různí. Tak je uváděna výška šachty až několik metrů, případně po realističtější údaj 120 cm. Nepřetržitá intenzivní výroba vedla k postupnému odlesnění ostrova a od 4. století před n.l. k přenesení výroby na břehy Toskánska, kde pracovaly železářské huti v okolí Populonie a ve dvacítce dalších hutí v zátoce Follonica po dvě další století. Export výrobků směřoval do celého Středomoří. Jeho uživateli byli Řekové, Etrusci a Řím. Odhaduje se, že do změny letopočtu bylo vyrobeno na 500 000 t železa. Od 3. století docházelo k překrývání starších výrobních objektů mocnými vrstvami strusek na ploše 80 ha, které byly od počátku 20. století pro svůj vysoký obsah železa postupně zpracovávány moderními železárnami. Při exploataci strusek byly zničeny takřka všechny hmotné doklady místního železářství, které mělo zásadní vliv na šíření nové technologie.

Souběžně s dozívajícím etruským železářstvím se rozvíjí železářství Keltů. Jeho rozvoj lze sledovat jak na britských ostrovech, tak na kontinentě. Nejprve se tak děje v sídelních komorách, tedy v okrscích v nichž dochází v hutích o několika pecích k výrobě pro místní potřebu. Jednalo se o zahlobené pece hruškovitého až polokulovitého pracovního prostoru, jejichž vývoj dále nepokračoval. Později se formují významná výrobní centra, postupně využívaná Římem ponejvíce pro zbrojní účely. Kromě jiných lokalit na území Galie Narbonensis byla zkoumána lokalita Les Martys v pohoří Montagne Noir, kde v letech kolem změny letopočtu pracovaly huti, které vyprodukovaly během svého provozu na 1,5 milionu tun strusek (které byly také využity, tentokrát k výrobě speciálních cementů). V případě Les Martys byly při archeologických výzkumech odkryty relikt šachtových pecí o předpokládané výšce šachty 220 až 240 cm a půdorysném rozměru nístěje 90 x 70 cm. Celková produkce se odhaduje na 4000 až 7000 tun železa. Provoz hutí (faktorii) byl řízen z Masilie římskými úředníky. V Lyonu je uváděn procurator ferricarum. Severně limitu je známo několik center výroby s desítkami železářských pecí s pracovním kopulovitým prostorem, jako v Siegerlandu, Schwarzwaltu nebo při bavorském oppidu Kehlheim. Také při oppidu Magdalensberg v Korutanech pracovala řada hutí, které zpracovávaly místní limonity s vysokou příměsí manganu v pecích, někdy s kopulovitě rozšířenou šachtou, opatřenými 3 až 5 vzduchovými kanály. Obchodní záznamy o dálkovém obchodu s předměty zhotovenými z pověstného norického železa dodávaného do celého římského světa se našly na stěnách místní taberny. Jednalo se většinou o kovadliny, skoby, prsteny a sekery.

Cílevědomá výroba se tedy datuje až 1500. Stalo se tak v Anatolii, a odtud se výroba rozšířila i do barbarských končin Evropy. K železu ovšem nedospěla žádná předkolumbovská kultura v Americe. Na našem území začíná věk železa v 7. stol. ante, a to zejména ve vazbě na keltské osídlení.

Železo se získávalo v zahlobených redukčních pískách přímou redukcí dřevěným uhlím za teplot kolem 1300-13500 C. Vyžadovalo to ovšem použití pečlivě rozdrčené a vytríděné rudy, případně i pražené. Dřevěné uhlí (u nás nejčastěji borové) se smísilo s rudou a založila do pícky. redukční proces pak probíhal podobně jako v pozdějších vysokých pecích, pouze s tím rozdílem, že nedošlo k takovému nauhličení, aby bylo dosaženo tekutého kovu. Toto nízké nauhličení je ovšem v jiném smyslu předností, protože z tohoto procesu vychází kujné železo. Výsledná houba měla tedy zpočátku 5, později až 12 kg. byla to směs strusky a částec železa o nízkém obsahu uhlíku. Takové železo je nejen kujné, ale i dobře svařitelné v ohni. Kováním se z tohoto železa odstraňovala struska, částice zeminy a jiné nečistoty.

Jelikož se získává přímo použitelný kov, nazývá se tato cesta přímou výrobou železa. K většímu rozšíření výroby železa dochází až po roce 1000. Železo je "demokratický" kov – výskyt rud železa je mnohem častější než rud mědi či cínu. Proto železo sehrálo také velkou roli při kolonizaci "barbarů", i při odlesňování a kultivaci půdy, zpracování dřeva a dalších lidských činnostech. Vzestup Chetitů je přímým důsledkem jejich schopnosti vyrábět železo.

Hutnění železa bylo složitým procesem, který mohli provádět pouze velmi zruční specialisté. Získávání i zpracovávání železa bylo spojeno s mnoha magickými představami, namnoze zapracovanými do pozdějších alchymistických názorů na železo. Železo záhy ovlivnilo další vývoj civilizace, a to mimo jiné i proto, že zemský povrch je na železné rudy poměrně bohatý. V železe byl tedy objeven levný kov, který postupně vytlačil vše ostatní.

O významu železa pro starověké kultury svědčí i to, že mezi poklady assyrských vládců bylo neuvěřitelné množství zlata, stříbra a železa. V troskách paláce v Khorsabádu našel v polovině minulého století francouzský badatel Viktor Place skladiště železa, ve kterém, v jedné místnosti, ho bylo asi 160 000 kg. Byly to většinou kusy dlouhé necelého půl metru, a ve středu, kde byly nejširší - asi 14 cm měly kruhový otvor prům. 2 cm. jednotlivé kusy vážily 4-20 kg. V této podobě, navlečeno na provaz, patrně přicházelo surové železo na trh. Most přes Eufrat v Babylonu, postavený Nabukadnezarem, byl 900 m dlouhý, a jeho dřevěná konstrukce spočívala na kamenných pilířích, postavených ve vzdálenostech necelých 4. metrů. kameny těchto pilířů byly navzájem spojeny železnými svorkami. V mezinárodním obchodě Féniciánů stálo železo hned za stříbrem, mědí a bronzem. Důležitým výrobcem železa byl např. Kypr. V jednom městě, kde bylo mnoho zlata, ale málo železa, prý Féniciáné prodali i řetězy a kotvy svých lodí. Středisko výroby železa i oceli bylo v Mezopotamii a Armenii, v říši Chetitů, odkud Egypťané dostávali železo jako poplatek. Hojněji se začíná železo vyrábět v Egyptě až od 13. stol., a v té době také začíná vlastní, tzv. železný věk.

Jedním z míst, proslulých svým železářským uměním je syrské město Damašek – železo bylo jeho štěstím i neštěstím. Damascénská ocel byla proslulá již dávno ve starověku. Ocel totiž možno obdržet také tavením kujného železa s uhlíkatými látkami. Tento způsob nenašel žádné uplatnění ve velkopřůmyslu, je ale základem výroby oceli pro proslavené sečné a bodné zbraně damascenské. Taková ocel se vyráběla z kujného svářkového železa, vytaveného dřevěným uhlím přímo z rud, které se žihalo s kousky dřeva v kelímku. Tam, kde bylo železo ve styku se dřevem, převzalo uhlík, čímž se snáze roztavilo a zalilo prostory mezi neroztavenými částmi kujného železa. Po vychladnutí a rozbití kelímku se obdrželo kujné železo, prostoupené četnými žilkami oceli. Materiál měl tedy jak houževnatost kujného železa, tak tvrdost oceli. Po vykování se zbraně leptaly, čímž se měkká místa vyhloubila a vznikly nepravidelné obrazce. Právě to je charakteristickým znakem damascenské oceli. Prohlubně se vyplňovaly stříbrem nebo zlatem. Damascenskou ocel je možno také získat bez kelímků svařením tenkých vrstev měkkého kujného železa a tvrdé oceli. Z desek o tloušťce asi 8 mm a šířce 80 mm se kovářským svařením vytvoří svazek. Prodloužená tyč se po vykování rozdělí, a každý díl se zpracuje samostatně. Každý díl se pak ohne a přeloží a svaří znovu. To se opakuje asi 4x. Japonci opakovali tento postup ještě víckrát, čímž obdrží jemně žilkovanou ocel.

Damašek byl městem, proslulým i zpracováváním mědi a bronzů, z čehož plynulo značné bohatství. Bohatá města ovšem přitahovala kořistníky jako lampa můru. Aby se města zachránila před pleněním, platila výpalné. Tak musel Damašek v roce 800 ante zaplatit assyrskému králi výpalné 8000 talentů mědi a 5000 talentů železa (79 t. mědi a 131 t železa). Horší však bylo, když si nájezdníci odváželi do zajetí železáře. Takovým hromadným únosem se chlubil assyrský král Nabukadnézar.

Vyvinutá metalurgie železa byla v Číně - ze železa byly odlévány např. sochy symbolických zvířat a různé kultické předměty. To svědčí o bezvadné formě a dokonalém lití, protože tloušťka stěny odlitku je průměrně 9 mm. Jednotlivé díly sochy, vysoké až 4 m,

byly odlévány zvlášť, a poté sestaveny a natřeny pestrými barvami. Soudí se, že slévárenství železa je ještě starší, asi z doby 3000 ante. Čínské umělecké odlitky jsou pozoruhodné právě svou malou tloušťkou svých stěn, vyžadujících všestranné formířské i slevačské mistrovství. Už za císaře Ju 2357 byly podmaněné národy povinny platit tribut m.j. i v železe a oceli.

Výroba železa měla své dávné a pevné místo i ve východních kulturách. Symbolem japonské metalurgie železa je samurajský meč. Při výrobě tohoto jedinečného výrobku jsou rovněž uplatněny některé postupy, charakteristické pro ocel damascenskou, a celý proces výroby je chápán jako obřad, prostoupený magií. Magické úkony však mají, jak tomu namnoze bývá hluboký a dobrý technologický význam. Při nedostatku jakýchkoliv měřidel a pouze tradičně předávaném umění vždy hrála velkou roli intuice a smyslová zkušenost, schopná určit podle barvy rozžhaveného kovu jeho teplotu a schopnost dosáhnout pro každý krok teploty optimální. To, že se meč koval v zatemněné místnosti mělo krom magického významu i ten praktický efekt, že bylo možno podle barvy rozžhaveného kovu lépe určit teplotu.

V Řecku se ovšem neobejdeme bez bájesloví, a báje zde mluví o Kyklopech, silácích, kteří sice sami železo z rudy netavili, ale zato byli zručnými kováři. Dodávali ukované blesky samotnému hromovládnému Diovi. Vůdcem party Kyklopů byl ovšem Hefaistos, takto syn Diův a Hérin. Jistou roli tam hraje pozemšťan Daidalos, vynálezce sekery, kružidla a vrtáku. Když mluví Homér o kovech, jsou ještě vždy dovezeny, takže se železo v jeho době v Řecku ještě nevyrábělo. Zmiňuje se však o kovadlině, měchu, a jiných kovářských nástrojích. Bylo mu známo kalení oceli. Ve Spartě za doby Lykurgovy byla železné peníze a na železné předměty byly zvláštní trhy.

Známým železným předmětem je tříramenný stojan vytepaný Glaukem z Chios a určený pro držení obětní nádoby věštírny v Delfách. Dle popisu má podobu jakési zužující se věže, s boky z příčných prutů. Navrchu se rozšiřuje a do jisté míry obepíná nádobu. Známými umělci, kteří zhotovovali celé sochy ze železa byl Rhokosos a jeho syn Theodor, a to však ne z železa litého, nýbrž kujného, sekaného a cizelovaného. Spíše to byla dřevěná socha potažená tepaným plechem. Tepat železný plech bylo ovšem mnohem pracnější než tepat zlato, stříbro či měď. Se vzrůstajícím blahobytem dekorativní funkce železa ovšem ustupovala. Železo vyráběli a zpracovávali otroci, a jediné inovace, které nastávaly, se týkaly zbraní. Byly celé dílny, manufaktury na výrobu železných předmětů. Malou zbrojovečku s asi 30 otrockými silami měl i otec slavného Demosthena. Římané na těchto manufakturách později postavili své vlastní císařské zbrojařské podniky.

Podle Aristotelovského a alchymistického pojetí bylo železo považováno za zhuštěné a ztuhlé páry kovu vzniklého uvnitř země. Podle učení alchymistů vzniklo železo, právě tak jako ostatní kovy, ze dvou principií, ze síry a rtuti. Síra svou přirozenou horkostí vaří a praží rtuť v hlubokých zemských rozsedlinách za vysokého žáru tak, až z tohoto spojení obou vznikají rozmanité kovy. Všechny kovy jsou tedy stejné podstaty, co je dělá různými je jejich různá čistota. Ve zlatu jsou nejčistší. Železo je ovšem kov ze všech nejméně čistý. Ocel byla považována za železo poněkud čistější.

Řím – znalost řemesel a výtvarný smysl zdědili Římané od Etrusků, houževnatého národa, dolujícího rudy na ostrově Elba. Těžili je desítky metrů hluboko. Hledali ovšem především měď, železo jim bylo pouze okrajovou záležitostí. Rudu tavili hned na místě, a když spotřebovali všechno dřevo na ostrově, vozili rudu na ostrov Korsiku. Z jejich výrobků jsou zvláště obdivuhodné sochy a sošky bohů a bohyň, a to z litých kovů nebo vykované. Mezi římskou kořistí v odvezenou z města Volsinie bylo na dva tisíce takových soch. Římané nosili železné prsteny, odznaky statečnosti. V dobytých zemích zřizovali Římané hutě v blízkosti svých opevněných táborů a pracím nutili domácí obyvatelstvo. Výroba železa je popsána v díle Plinia Staršího „Historia naturalis“ popisuje pece, nástroje a výrobky. Z dochovaných nálezů lze soudit na dobrou kvalitu železa, umožňující tepání za studena.

Známí byli pancéřníci z Mantovy, Mečíři z Lucy, veronští štítaři, zámkaři z Noly. Proti rezivění se železné tyče zalévaly do bronzu. Sortiment železářských výrobků byl velmi široký, od zemědělského nářadí po hřebíky mnoha druhů. Z těchto výroben pak zřídili Římané své vlastní zbrojářské podniky. Římské zbrojařské podniky byly pak roztroušeny od Toleda po Damašek.

Indie – kutubský sloup v Delhi, vztyčen ve 4. stol. průměr 40 cm, 7,25 m vysoký, z kujného železa, dle rozšířené pověsti nerezaví. Jiná svědectví však říkají, že sloup je ohlazen dlaněmi poutníků, kteří se nepřetržitě v celých zástupech přesvědčují, že skutečně nerezaví.

Metalurgie železa ve středověké Evropě

První hutníci vyráběli železo ve výhni, bylo to obyčejné ohniště, kde hořelo dřevěné uhlí, na které se dala kusovitá železná ruda a přikrývá se opět vrstvou dřevěného uhlí, případně i hlínou. K hoření bylo třeba větru, proto se tyto výhně zapalovaly na kopcích. V 16. stol. se ovšem výhně stěhují do údolí k potokům a řekám, proto se tam nahrazoval větrem umělým, vháněným do pece koženými měchy. Ty byly později poháněny vodními koly. Aby byl proud vzduchu nepřerušovaný, používaly se dva měchy. Tyto výhně už byly větší, asi 0,5 m. ve výhních se tavily především rudy s vysokým obsahem železa, snadno tavitelné, jako třeba hnědel apod. Nikdy se nedosáhlo bodu tání železa, nýbrž dosáhli pouze husté kašovité železné hroudy o váze 4-5 kg. Později až 50 kg. Později už obyčejné ohniště nestačilo pro nesnadněji tavitelnou rudu. Kamenné ohrazení rostlo do výšky, byly to zděné nástavce 2-6 m vysoké. Vznikla šachtovitá pec, do které se nakládá více dřevěného uhlí a v níž je vyšší žár. Jsou to pece kusové, zvané též selské nebo dýmačky, zvané též pece vlkové, neboť vlkem byla zvana výsledná hrouda železa. Vytahování takové hroudy bylo složité a musel se obvykle vybourat předek pece. Při jednom tavení, které trvalo 8-12 hod. a vyrobilo se až 12 q železa. Používala se obří dmychadla, dlouhá i přes 5 m. Vsázka rudy i dřevěného uhlí byla dvojnásobkem váhy získaného železa. Na zvýšenou výrobu železa bylo však již nutno použít vodní buchar. Výška kusové pece nadále stoupala a dosáhla postupně až 10 m. A to jsou už pece šachtové, předchůdci dnešních vysokých pecí. Z této pece totiž již vytékalo roztavené surové železo. Toto železo se však po ztuhnutí nehodilo ke kování – když se však ve výhni znovu roztavilo a namáčely se do něho kusy vlka, bylo možno vše kovat a získala se tak velmi dobrá ocel. Výroba železa se pochopitelně opírala alespoň do jisté míry o teoretické úvahy, objesňující smysl jednotlivých dějů a operací.

Albertus Magnus o tom píše: „Ocel není žádný jiný druh kovu, než je železo, jen je čistější, protože vodní součásti železa se vypařily destilací, čímž se železo stalo hutnějším a pevnějším, čemuž se napomohlo silou ohně. Odstraňováním zemních nečistot se čistí, stává se bělejší, tvrdne, a když je přespříliš tvrdé, dá se kladivem rozbít na kousky“. Ocel, která se podobala stříbru, byla tedy důkazem možnosti přeměny, transmutace, jednoho kovu v druhý. Stříbro se z oceli nestalo jen proto, protože k tomu by bylo třeba mnohem většího žáru, při kterém by však ocel mohla shořet. Ze spojení síry s rtutí v železe byly odvozovány léčivé vlastnosti železa a oceli. Železo bylo v alchymistické nomenklatuře prohlášeno za suché a chladné, proto také působilo jako lék vysoušecí a chladicí. Věc však nebyla tak jasná a železo bylo používáno mnohostranně, což vneslo do celé věci zmatek, který jasně a logicky rozuzlil alchymistický učenec Munardo: železo se skládá z nejžhavější síry a nejchladnější rtuti. Povaha rtuti je kapalná, vlivem v ní obsažené vody, a proto by železo působilo jako prostředek chladivý, kdyby horko síry z něho nedělalo léčidlo oteplující. Protože ocel je do

značné míry zbavena síry, působí daleko více jako chladivý prostředek, zatímco železo je možno považovat za zahřívající.

Ve 13. stol. nastává zlepšení ve výrobě železa zavedením šachtových pecí, zřízených nad ohništěm. Tím se vyhoví požadavku vyšší teploty a rychlejší tavby. Dmychadla byla zvětšena do té míry, že je již nebylo možno pohánět rukou a byla poháněna vodním kolem. V peci bylo ovšem vyrobeno jiné železo, než jaké dostal člověk v ohništi - muselo být teprve v peci zpracováno, aby se stalo kujným. Zvětšená pec byla schopna dosáhnout tavící teploty, a tak se roztavené železo s vysokým obsahem uhlíku (3,5-4,5 %) objevuje v Evropě již ve 13. stol., avšak technické problémy s jeho využíváním oddálily jeho využívání ve větším měřítku. Surové železo bylo ovšem možno lít do forem. Na trhu se tedy objevují předměty z litého železa, jako kamna, domácí náčiní, děla a dělové koule. Na kování přetavených kusů byly třeba vodní hamry. krom vodorovných výhní, které popisuje Agricola se používalo i pecí stojatých, zejména při výrobě trvalé a pokud možno nepřetržitě. Horem se sypala ruda s vápencem, spodem se vypouštěla struska, a poté vylévalo houbovité, kujné železo. postupně se stavěly tyto pece vyšší a vyšší, a zesilovalo se i dmychání vzduchu, na přelomu 14. a 15. stol. byl všeobecně zaveden vodní pohon, a tu houbovitěho železa ubývalo a objevovalo se víc a víc železa tekutého.

Až do 16. století se železo tavilo pomocí dřevěného uhlí převážně přímo z rud. Pec se skládá z nístěje asi 1,1 m hluboké o průměru asi 1,6 m, kde ve středu je ještě asi 0,5 m prohlubeň. Mistr převezme určité množství rudy, do jamky vhodí nejprve uhlí a potom rudu s nehašeným vápnem. Pak přihazuje střídavě uhlí a rudu. Mírně skloněná hromádka se pak taví, což je podporováno vháněním větru. Tavba trvá 8, 10 nebo až 12 hodin. Vyrobená hrouda váží dva nebo tři centy, po vypuštění strusky se nechá hrouda vychladnout a s pomocníky ji sochory vylomí z nístěje. Dřevěnými kladivy se otluče zbylá struska, železo se pak zpracuje kováním. Tak popisuje proces Jiří Agricola r. 1556. Tu se objevila se litina, což první významný převrat v hutnictví. První vysoká pec, vyrábějící litinu, se připomíná v Siegerlandu v Německu. V r. 1517 složil na vysokou pec svého otce velkou vzletnou ódu 14 letý Nicolas Bourbon.

Se zvětšující se velikostí šachtových pecí s zvyšováním intenzity dmýchaného větru se zvyšovala i teplota, které bylo možno dosáhnout. Výsledkem redukce byl tekutý produkt, zvaný surové železo. první takové pece se objevily v západní Evropě v první polovině 15. stol. byly to masivní stavby z kamene ve tvaru komolého jehlanu, a později i kužele, vysokých původně jen málo metrů, posléze však až 14,5. velikost byla limitována pevností dřevěného uhlí - při jeho nadměrném slisování byla znemožněna cesta redukčních plynů. Vápenec jako struskotvorná přísada se začal používat až v 18. století. Do té doby plnily tuto úlohu jalové horniny obsažené v rudě. Odpichy se děly ve stále se zkracujících intervalech a výroba nabývala povahy kontinuálního procesu. V horní části pece dochází k redukci oxidem uhlíku, ve spodní s vyšší teplotou přímo uhlíkem. Nauhličení sice na jedné straně snížilo tavící teplotu, na straně druhé bylo vysloveně přílišné a výsledný produkt byl prakticky nepoužitelný, byl křehký a nekujný. To vyžadovalo další proces, ve kterém by se obsah uhlíku z asi 4% zmenšil na několik desetin. Jde o proces zkujňování. Při něm jde ovšem i o odstranění dalších nežádoucích příměsí, a to především síry, fosforu a křemíku.

Nepřímá výroba železa

Zvětšení rozměrů pece a dosažení tavící teploty přineslo tedy do jisté míry problém a komplikaci, nutnost zkujnění surového produktu. Nepřímý způsob je ovšem navzdory určitému zápornému intuitivnímu vyznění toho slova produktivnější. Umožňuje zpracovat i

chudší rudy a zmenšuje ztráty kovu ve strusce. Ty byly u přímého způsobu až 40%. Nevýhodou však byla obrovská spotřeba dřevěného uhlí. Proto se v zemích s dostatkem bohatých a dobře redukovatelných rud udržela přímá výroba až do poloviny 19. stol. (Štýrsko, Slovensko). Novým způsobem se však vytěžilo z rud nepoměrně vyšší procento železa a výroba vzrostla na 750 kg za 24 hodin. Mimo to bylo možno zpracovávat rudy chudší železem. Velmi ne hospodárná byla spotřeba dřevěného uhlí, vysoká pec, produkující 20 q litiny denně pohltila za rok dříví ze 324 jiter lesa (186 ha 35 a). Železářské kraje se rychle odlesňovaly a výroba upadala, v pol. 18. stol. se v Anglii vyrobilo něco málo přes 17 tis. tun ročně, a již tím byla ohrožena stavba lodí, též závislá na dřevu. (Při přechodu na kamenné uhlí, resp. koks začali ovšem majitelé lesů hořekovat, protože přišli o zisky. Šířili rovněž poplašné zprávy, že zplodinami z uhlí utrpí plet' urozených dam)

Na poli teoretického poznání je možno vidět několik děl, z nichž největší patří muži jménem **Vanoccio Biringuccio**. Narodil se v Sieně r. 1480, studoval přírodní vědy, matematiku, a jeho první zaměstnání bylo v mosaznické dílně v Miláně. Později mu byla svěřena železářská huť v Bocheggianu. Byl úspěšný a byl mu svěřen důl na stříbro. Jeho znalosti a dovednost byly tak znamenité, že přežil i politické a mocenské převraty. Stal se dokonce velitelem městské zbrojnice a hlavním městským stavitelem, ale především byl velkým znalcem hutnictví. Pověst o něm došla až do Říma a stal se vedoucím papežské slévárny a zbrojní továrny. Rok po tomto jmenování sice zemřel, ale to již bylo na světě jeho desetisvazkové dílo *De la Pirotechnia* z r. 1540. je v něm vše, co znal o kovech, a to formou živého vyprávění. Hlavní bylo ovšem odlévání děl, ale jinak je to především o metalurgii. Začíná dobýváním rud, jejich čištěním, vlastnostmi dřevěného uhlí, formování. Slevačství je velmi složitá a zodpovědná práce a proto se nelze divit, píše, že slevač je popudlivý. Biringuccio a Agricola jsou první spisovatelé obsažných naučných spisů o metalurgii.

Železářská huť v 17.-18. stol byla u nás součástí feudálního velkostatku. Sestávala z vysoké pece, drtírny rudy a strusky a dvou hamrů se zkujňovacími výhněmi a buchary. tam se vedle zkujňování vyráběly i 2 základní polotovary - tyčové železo (stabeisen) a plech. veškerá zařízení byla poháněna vodou - tak tomu bylo až do poloviny 19. stol Železářství bylo zvláštním oborem, který se neřídil cechovními pravidly, nýbrž horním řádem. od 15. století byly patrný prvky manufakturního podnikání.

Poměry v Anglii

Jak je všeobecně známo, sehrála v dějinách metalurgie železa rozhodující roli Anglie. Již na počátku 18. stol. tam nestačily domácí zdroje krýt spotřebu dřevěného uhlí. Kubická spotřeba dřevěného uhlí byla desetinásobkem spotřeby rudy. Tím výrazně stoupl tlak na hledání náhrady. Současně se zvyšovala těžba uhlí, umožněná parními čerpadly. Tyto dvě skutečnosti spolu volaly po tom, aby z nich vyplynulo nové řešení. To však nebylo jednoduché.

Pokusy o nahrazení dřevěného uhlí kamenným začínají na samém počátku 17. stol. Roku 1612 dostal Němec usazený v Anglii, Simon Sturtevant, patent na „žihání, tavení a zpracování kovových rud všeho druhu, železa a oceli uhlím mořským, podzemním, povrchovým a vyrubaným“. Svůj vynález vylíčil ve spise *Pojednání o kovech* (*Treatise of Metallica*), ale dosti nejasně. Zmiňuje se na jednom místě, že se pokoušel zbavit uhlí škodlivých látek, což by mohlo znamenat pokus o koksování, ale není to jisto. Patent ostatně za rok propadl a pokoušeli se jiní. Byl to třeba John Rovenzon chránělec waleského prince,

ale ani ten nesvedl nic. Poté se vynořil levoboček lorda Dudleye, pána na Dudley Castle ve Worcestru a majitele velkých železáren, Dud Dudley. Ten bývá považován za prvního hutníka, kterému se podařilo vytavit železo kamenným uhlím. Dotvrdit je to ovšem možno pouze jeho vlastním spisem, nazvaným "Metallum Martis". Spis vyšel roku 1665 a je to směs líčení neuvěřitelných objevů a technických dobrodružství. Proto se ovšem toto Dudleyovo prvenství považuje za pochybné a za skutečného průkopníka je považován teprve rod Darbyů.

Pokusy o využití uhlí jsou spojeny se všemi 3 generacemi rodu Darbyů, a začínají 1709. Nejstaršímu z Darbyů se podařilo 1713 vytavit železo směsí uhlí a koksu, byť zatím ještě nepoužitelné. Jeho syn již použil pouze koks, a kvalita získaného železa se blížila dřevouhelnému. Byly z něj odlévány i válce atmosférických strojů. Železářny Darbyů v Coalbrookdale se staly vedoucím hutním podnikem v zemi. Třetí Darby vše dovršil zavedením parních strojů. K vytavení tuny železa bylo třeba 2 tuny rudy a 6 tun koksu (dnes již množství koksu kleslo pod 1/2 t) Koks svou pevností umožňuje zvětšení pece, což však již nemohou utáhnout měchy. Proto jsou nahrazeny dřevěnými pístovými skříňovými dmychadly, poháněnými nejprve vodními koly, a posléze pístovými litinovými dmychadly poháněnými parním strojem. První takové dmychadlo sestrojil již 1768 John Smeaton. Dále pak tato dmychadla vyráběla firma Boulton a Watt, a první 1777 pro Wilkinsonovy železářny.

Tyto pece měly i důsledky sociální - nebyly již v silách šlechty, a proto vznikaly akciové společnosti. Poslední dřevouhelná pec vyhasla v Anglii 1829, tj. o sedm let dříve, než byla ve Vítkovicích zapálena naše první koksová.

Za zmínku stojí několik střípků ze života onoho velkého hutníka, jakým byl Abraham Darby. Darby byl členem sekty kvakerů, nejdříve mu po rodičích patřil malý mlýn v Bristolu, ale brzy si raději postavil dílnu Baptistmills, kde pak vyráběl mlýnská zařízení pro své věřící spolubratry v celé Anglii. Zajel k souvěrcům i do Holandska, a tam se naučil odlévat železné součástky, které pro baptistické mlýny potřeboval. Vrátil se zpět s několika nizozemskými železáři a učinil s nimi skvělý objev, jak odlévat železo do pískových forem. Za to získal 1708 královský patent a věčnou památku mezi slevači. To byl začátek, který ho natrvalo svedl od mlynářské dráhy. Rozešel se se svými společníky, opustil baptistické mlýny a přestěhoval se do polorozbořené vysoké pece v Coalbrookdale. tam začal znovu odhalovat recept na tavení železa kamenným uhlím, který byl s Dudem zdánlivě pohřben. Pět let končily všechny jeho pokusy zklamáním. pak přišel rok 1713, kdy se opět zjistilo, že není čím topit. Abraham Darby učinil slib: vystoupím na temeno vysoké pece a nesestoupím dříve, než se mi podaří první tavba kamenným uhlím. Strávil tam 10 dní. Konečně vyteklo první surové železo. Nedlouho potom zemřel ve 40 letech. Jak již bylo řečeno, toto první "kamenouhelné" železo bylo k nepotřebě, a teprve po čtvrtstoletí zkoušek Darby II. poznal, v čem jeho otec bloudil. Přišel na to, že do vysoké pece se nemůže vsázet přímo kamenné uhlí, nýbrž se musí nejprve pálením v milířích proměnit v koks. Tak teprve od roku 1735 začal druhý z Darbyů tavit železo s tímto koksem. Teprve ovšem Abraham Darby III. po dalších 30 letech dospěl k poznání, že se mýlil jeho otec i dědeček. Jejich železo nechtěl nikdo kupovat, protože bylo křehké, neboť obsahovalo příliš mnoho síry. Třetí Darby převzal hut' když mu bylo 18 let. Vybudoval obrovská dmychadla, která poháněl Wattovými parními stroji, zvýšil pece, a doplnil je hamry a válcovny. nejvíce však přesvědčil Anglii tím, že postavil první železný most a začal po něm vyvážet železo za cenu, se kterou nemohl nikdo soutěžit. I on zemřel ve 40 letech a z jeho železáren vyrostly největší železářny tehdejšího světa.

Koks snese vyšší vrstvu zásypu, mohou být vyšší pece, proces se stává produktivnější a efektivnější. Železářství se poté začíná stěhovat od hvozdů k uhelným či pánvím. I další zdokonalení bylo, jak se tomu v tomto oboru stává často, dílem člověka "odjinud", z jiného oboru. Skot J. B. Neilson byl synem strojníka na šachtě a vypracoval se na plynárenského odborníka. Roku 1824 byl požádán o radu, jak zlepšit dmychání větru do vysoké pece. Navrhl vháněný vzduch nejprve ohřát. To bylo ovšem proti všem zkušenostem starých

hutníků - dmychadla pracovala lépe v zimě, a v létě byl vzduch dokonce hnán přes studenou vodu. Záhada je v tom, že studený zimní vzduch je sušší a při stejném vháněném objemu je ho relativně více - zahřátí však tyto "přednosti" dokonale vyvážilo. Předehřívání vháněného vzduchu (hutnický "větru") se ušetřila třetina paliva, ovšem ujalo se i tak teprve až za 4 roky.

Zkujňovací procesy

Nepřímá výroba železa předpokládá, že surové železo, mělo-li být dále kovářsky zpracováno, válcováno či jinak tvářeno, bude nejprve zkujňeno. Bylo nutno odstranit přebytečný uhlík a případné škodlivé příměsi, pocházející z rudy či koksu. Nejstarším a skutečně pouze malovýrobním byl proces zkujňování ve zkujňovacích výhních. Do této výhně byl vložen kus surového železa a další bylo věcí lidských rukou, kladiva a kovadliny. Krůpěje oduhličeného železa, objevující se kusu surového se neustále "nabalovaly" na tyč kujného železa a stále se přikovávaly.

O nápravu se pokoušeli četní hutníci – částečný úspěch měl John Roebuck, majitel proslavených železáren v Carronu, ten asi 1762 připadl na způsob podobný pozdějšímu pudlování, o 4 roky později objevili něco podobného hutní dělníci Thomas a Georg Cranageové.

Kelímková ocel

Dobrá ocel však byla přesto vzácností. S pokrokem železářství bylo možno a nutno uvažovat o rozhodném pokroku při výrobě oceli. To je spojeno se jménem Němce, usazeného v Anglii. Je to Benjamin Huntsmann, vyučený hodinář a tím i znalec ocelových pružin. Byl též kvaker, jemuž zbožnost předepisovala dobročinné skutky. Ocel, která se k výrobě hodinových pružin odebírala z Německa, byla ovšem též špatné kvality. První pokusy konal v Doncasteru, poté se odstěhoval do Sheffieldu, proslulého svými nožiři. Léta trvala jeho cesta k úspěchu, na jeho zahradě se našly zahrabány tony neúspěšných taveb, až konečně 1750 přišel na to, jak tavit ocel v hliněných kelímcích.. I on měl co činit s konkurencí a průmyslovou špionáží, kdy jakýsi Walker, převlečený za vandraka v Huntsmannově závodě jeho tajemství shlédl a prolomil. Železo se tavilo v hliněných kelímcích s práškovým dřevěným uhlím a skelným práškem za vysokého žáru. I přes silnou konkurenci nestačila jeho malá ocelárnička objednávkám a tak je jedním z mála, kdo se dožil úspěchu a ten mu trval až do smrti.

I v této fázi zasahují do hutnictví odborníci, snažící se definovat teoretickou podstatu problémů. Francouzskému fysiku **Réaumurovi** se podařilo zkujnit surové železo v kelímku již roku 1722. Réaumur se také jako první zabýval teoretickými procesy, nastávajícími při tuhnutí a krystalizaci. Používal k tomuto zkoumání mikroskop. Nespokojil se s pouhým popisem, ale chtěl znát i příčiny dějů. Byl prvním technikem a fyzikem, který se vážně a systematicky snažil vysvětlit fyzikální a chemické procesy, nastávající v hutnictví. Na začátek svého myšlení kladl zvědavost a pochyby o tom, zda se to, co se "nějak dělá", dělá správně a je to tak nezměnitelné. Byl v tom pravým vědcem a prvním vědeckým hutníkem. Druhým velkým teoretikem je **Michail Vasiljevič Lomonosov**. (1711-1768) Ve svém díle „První základy hutnictví čili využití rud“ z r. 1742 nejen popsal hlavní zásady prací tehdy v hutnictví užívaných, nýbrž vyslovil i myšlenky na které došlo teprve později. Poprvé doporučil čištění rud.

Další postavou z dějin teoretického hutnictví je švédský náboženský reformátor, duchař, průmyslník, důlní úředník, **Emanuel Swedberg**, později Swedenborg. Zasazoval se o desítkovou soustavu měr, a to r. 1719, zatímco tato myšlenka byla zavedena až francouzskou

revolucí. Jeho hlavní dílo bylo o železe „De Ferro“ 1734. Byl to spis pro praxi a jako takový měl velký úspěch.

Kelímková ocel byla celkem vytlačena elektrickými pecemi, avšak v Anglii zůstává kelímková ocel na nástroje nejoblíbenější. Pochod probíhá v pecích, které pojmu až 100 kelímků. Velkým využíváním kelímkové oceli byly proslaveny Kruppovy železářny v Essenu.

Pudlování

V Huntsmanových kelímcích bylo možno vyrobit najednou nejvýše 20 kg čistého kovu, ale průmyslová revoluce potřebovala tuny. Kujné železo pro anglické loďstvo sháněl a nakupoval **Henry Cort**. Narodil se 1740 v Lancasteru, jeho otec byl zedník, a Henry se musel brzo sám žít. Po letech se stal nákupčím železa pro britské námořnictvo. Kujné železo se nakupovalo ve Švédsku, v Rusku a v Americe. V Americe ovšem 1773 začíná revoluce, a celá americká území byla záhy pro Anglii ztracena. Toho využili ostatní dodavatelé a zvýšili ceny. Henry Cort věděl velmi dobře o špatné jakosti anglického železa – bylo dokonce vyloučeno ze státních dodávek. Odebíralo se železo ruské, to však právě roku 1770 trojnásobně zdražilo. Cort tedy vycítil příležitost, vzdal se svého povolání a zařídil si ve Fontley u Portsmouthu železářnu. Za společníka si vzal syna pokladníka Admirality Jellicoe, a od jeho otce si půjčil peníze. To se mu stalo osudným. Zprvu šlo všechno dobře. Získal dva patenty – první roku 1783 na svařování kusů železa v jednolitý celek a na zpracování železa kováním a válcováním, druhý v příštím roce na **pudlování**. Pudlování odstranilo překážku, která bránila užití uhlí při zkujňovacím procesu. Kov zde nepřichází s uhlím do styku, protože přes roztavenou litinu se pouští pouze plamen z topeniště. Pudlovací pec je tedy tvořena oním odděleným topeništěm, ze kterého prochází kanálem plamen do vlastního zkujňovacího prostoru, tvořeného mělkou pánví a klenutým stropem. Plamen ubírá litině, stále míchané, část uhlíku. Vsázka se pohybovala mezi 200-500 kg. Vlastní proces trval několik hodin a probíhal takto: surové železo se nejprve v nístěji roztavilo, načež se do topeniště zvýšil přívod vzduchu, aby spaliny měly oxidační účinky. Roztavený kov se promíchal železným hřeblem, vsunutým postranním okénkem do pece. Hořením a snižováním obsahu příměsí tavenina houstla, když množství uhlíku kleslo pod 0,1 %, proces se zastavil, zkujňovaný kov se sbalil do několika hrud zvaných lupy o hmotnosti 30-40 kg a ty se po vyjmutí z pece prokovaly na bucharu. Získaný kov nebyl ovšem zcela homogenní, měl "dřevitý lom" a nebyl plně srovnatelný s kelímkovou ocelí.

Cortovo pudlované železo bylo poměrně kvalitní a šlo dobře na odbyt. O licenční poplatky se však musel věčně soudit. Roku 1789 však přišla na Corta pohroma – zemřel jeho věřitel Jellicoe, a to za podezřelých okolností, a při kontrole jeho účetních knih se přišlo na zpronevěru 90 000 LST, ze kterých asi 55 bylo investováno u Corta. Machinacemi se majitelem Cortova podniku stává mladý Jellicoe. Dalšími machinacemi s licencemi bylo dosaženo toho, že Cortovy nároky byly ošacovány na pouhých 100 LST. Tím byl Cort, který měl 12 dětí, uvržen do naprosté nouze. Teprve 1794 mu uvolnil parlament roční pensi 200 LST. Zemřel 1800. Pudlování objevil takřka současně Angličan P. Onion 1783, Cortův způsob se však ujal a byl zlepšen až 1835 Tunnerem.

Pudlování bylo procesem nesmírně namáhavým, bylo učiněno několik pokusů nahradit doslova krutou ruční práci pudlařů strojem, avšak bez většího úspěchu. Jistý lidský prvek, intuice a zkušenost, se ukázaly být v tomto případě nenahraditelné. Pudlování ovšem zcela nezmizelo hned, jak byly nalezeny efektivnější technologie. Jistá zvláštní "vláknitá" struktura pudlované oceli byla ještě dlouho vítána při výrobě šroubových matek a článků lodních řetězů.

Bessemerův pochod

Henry Bessemer popisuje počátek své cesty ke konvertoru takto: "Když vypukla krymská válka, vytušil jsem svou velkou příležitost. Postavil jsem nové dělo a nové náboje, a nabídl obojí anglické královně Viktorii" Henry Bessemer se narodil roku 1813 v Charltonu v Anglii, ale jeho rod pocházel z Holandska, kde pěstovali tulipány. Vynalézavou hlavu zdědil po otci, který byl za své objevy dokonce přijat do francouzské akademie, ale za Velké francouzské revoluce odtud byl vyloučen a pro jistotu rychle prchl do Anglie. Také mladý Henry byl posedlý vynalézáním, a odmítl proto i jít do jakékoliv školy, aby se zbytečně nezdržoval. Již v 18 letech měl za sebou hezkou řádku vynálezů. Vynalezl například přístroj na tisk nepadělatelných kolků, tužky, plněné lisovaným grafitem, falešné zlato, brikety, vlakovou brzdu a asi dalších 120 patentů. Krymská válka 1853 tedy obrátil jeho pozornost i k výrobě děl. Vynalezl a nabídl rotující střely, jenže královna Viktorie jeho nabídku ponižujícím způsobem odmítla. Obrátil se k Francouzům, kde byly před vánocemi 1854 zkušební střelby. Všichni byli velice spokojeni, pouze hlavní expert posměšně řekl, že „k tomu bude muset vynalézt také nové železo na hlavně“. To byla jiskra do Bessemerovy hlavy. Konvertor neboli hruška stály však ještě měsíce dřiny. Nejprve foukal vzduch na hladinu, čímž se sice zkujnila malá vrstva, ale jinak nic. Teprve trubka, dmýchající vzduch a ponořená do taveniny proměnila po půlhodině 19 liber v plátkové železo (ocel). Učinil nečekaný objev - nebylo třeba nádobu zahřívat, spalováním uhlíku a hlavně křemíku se teplota taveniny zvýšila o 300° C. dalším vývojem došel k hruškovitému tvaru. Během tří neděl prodal licenci za těžké peníze. O první patent požádal již 10. ledna 1855. Pak však přišla pohroma - nefungovalo to. Jedinou jiskrou naděje byl dopis jeho přítele ze Švédska, že vše jde k plné spokojenosti. Proč však zrovna v Garpenbergu? Užívali tam železo ze švédských železáren v Dannemora a totéž železo při svých zkujňovacích pokusech používal Bessemer. Toto železo ovšem, na rozdíl od anglického, neobsahuje fosfor. Postavil si železářnu v Sheffieldu, kde zpracovával bezfosforové železo. Na slavné výstavě v Londýně vystavoval celou škálu svých výrobků od břítů až po kanony také kolejnice, lodě, atd. Za tři roky zakoupil licenci Krupp a 1866 i Vítkovické železářny. Žel, železa bez fosforu zde nebylo mnoho. I tak za 14 let se jeho kapitál znásobil 57 x, královna Viktorie poznala svůj omyl a povýšila ho do šlechtického stavu. Dále ještě Bessemer vynalezl lodní salon na závěsech proti kymácení a mořské nemoci, to je však již jiná historie, která nás nyní nezajímá. Ostatně, loď Bessemer ztroskotala, ale Sir Henry Bessemer se dožil v klidu 86 let.

Bessemerování je schopno za půl hodiny zkujnit 100-200q surového železa, což by pudlováním trvalo 1,5 dne. V Čechách bylo bessemerování zavedeno 1872 v Teplicích a 1875 na Kladně. Dyšné trubice o průměru 10 - 30 mm, jejich počet dle velikosti konvertoru od 50 do 200. Dno velmi trpí a vydrží 10-20 tavení, proto se osazuje zvlášť. Vyzdívka vydrží 3000 - 5000 taveb. Tlak vzduchu 1,5 - 2 atm.

Proces zkujňování v konvertoru je úžasným divadlem. Nejprve vyraží z úst hrušky s ohlušujícím rachotem několik metrů dlouhý zelenobílý plamen, svědčící o spalování uhlíku. Hukot se poněkud uklidňuje, mění se i barva plamenů, a hnědý těžký dým pak svědčí o spalování manganu. Na konci reakce se dým stává temně červeným. Na konci reakce je třeba vsázku douhličit přidáním surového železa, což je provázeno novým hukotem a deštěm jisker. Konvertorová ocel se používá k válcování kolejnic, drátů, profilů, plechů a pod.

Thomasův pochod

Sydney Gilchrist Thomas procházel londýnskou výstavou r.1862 Bylo to v obrovském Křišťálovém paláci, kde vystavoval vše z oceli také Alfréd Krupp, Měl na konvertorovou ocel patent od Bessemera. Sydney Gilchrist měl tehdy 12 let. Zde patrně i jeho mysl zasáhla "jiskra". Thomas se vrhl nejprve na humanitní studia, poté zatoužil stát se lékařem. V 17

letech však osiřel a musel si nalézt obživu. Zkoušel to všelijak i jako písař. Ve dvaceti letech, roku 1870 jednoho večera zašel do Birkbickova institutu, kde vyslechl přednášku profesora George Chaloner o železářské chemii, kde se mluvilo o Bessemerovi, Martinovi a Siemensovi, a také o záhadě, že se v hrušce může tavit jen bezfosforečné železo, s čímž si kapacity marně lámou hlavy. V jednom londýnském sklepě začal pokusy se železem, teprve po šesti letech ho pustili do kabinetu institutu. Teprve pak si vzpomněl, že má bratrance Percyho Gilchrista, který pracuje jako chemik v avonských železárnách. Za ním jezdí každý pátek a dělají pokusy. Jen Thomas si povšiml, že vyzdívka konvertoru obsahuje mnoho kyslíčnicku křemičitého a je tedy kyselá. Což tak ji nahradit zásaditou z dolomitu? Opět to nešlo hned, ale až poté, kdy bylo do vsázky přidáno pálené vápno. První pokus se povedl v tyglíku se šesti librami železa, ale pak se šesti sty a pak v konvertoru s půl tunou. V listopadu 1877 získal první patent. Ani jemu nevěřili, až ředitel Richards z železáren Bolkow a Vauxham slíbil nezávaznou zkoušku. Už první zkoušky přinesly radostné překvapení. 13. května 1879 se v Middlesbro odehrála první velká tavba Thomasovy oceli. V září již byla Thomasova ocel tavena v Porůří, ve Vítkovicích již v prosinci 1879 a zakrátko v Kladně a v Teplicích. Sydney Gilchrist Thomas zemřel 1. února 1885 v 35 letech v Paříži na tuberkulózu.

Thomasův proces se rychle uplatnil v Německu a USA, Bessemerovny a pudlovný v Anglii se postavily ostře proti. Ohrožovalo ohromné investice v technickém zařízení těchto podniků. Zejména pudlovný nasadily všechny síly, a podařilo se jim dokonce v této zdánlivě beznadějně situaci pudlovací proces do jisté míry zlepšit a zlevnit. Thomasův proces měl ještě další významný dobrý efekt - získaná struska byla prvním strojeným fosforečným hnojivem

Pochod Siemens-Martinův

Zpočátku šlo o problém odpadků ze starého železa, které se hromadilo v železárnách, a zejména opotřebovaných kolejnic. Po Bessemerově vynálezu začali všichni provozovatelé železnic vyměňovat pudlované za Bessemerovy. Hromady starého železa tím nezadržitelně narůstaly. Roku 1856 vynalezl August Friedrich Siemens pec, vytápěnou horkým plynem. Byly s ní konány v Anglii pokusy při výrobě oceli, avšak nebyly úspěšné. Pec byla používána ve sklářství. Roku 1864 předal Siemens náčrtek své pece Pierru Martinovi, ten ji zdokonalil a přizpůsobil výrobě oceli ve velkém. O vlastnictví patentu však vypukl mezi Siemensem a Martinem soudní spor, který Martin prohrál a musel zaplatit velké soudní výlohy. Ani konkurenční boj se Siemensem Martin neudržel a byl zničen. Jeho příběh však končí happy endem, i když poněkud smutným. V roce 1912 kdosi Martina poznal mezi žebráky na pařížském předměstí. Jak se píše, svědomí ocelářských králů se hnulo, dostalo se mu slávy a ocenění. Záhy nato však zemřel.

V Siemens-martinské peci byly dvě dvojice regenerativních ohříváků. Celé zařízení umožňovalo dva procesy

- rudný, kdy se do pece vsadilo surové železo a jako oxidační činidlo se přidalo přiměřené množství železné rudy ve formě oxidů železa a vápence jako struskotvorné přísady, nebo
- odpadkový, kdy se do pece vsadí jen 20 - 30 % obsahu surového železa v tekutém stavu, ke kterému se pak přidá 70-80% zoxidovaného šrotu, případně něco koksu. V obou případech se získá ocel lepší kvality než z konvertoru.

Martinův způsob vytlačil nejen pudlování, ale do jisté míry i bessemerování.

Talbotův pochod

Tento zkujňovací proces byl zaveden poprvé 1898 v severní Americe. Talbotova pec je v podstatě velká sklopná siemens-martinská pec, umožňující odlévání taveniny. Odléváním asi 1/3 taveniny vede jednak ke kontinuálnímu procesu, a dále je využito jevu, že při obsahu uhlíku pod 1,5 % je oduhličování rychlejší. Po odlití se znovu doplní surové železo z mísidla a potřebné příměsi, kterými je vápno a ruda, případně šrot. I z železa chudšího na fosfor se tak získá velké množství fosforečné strusky, která se používá jako hnojivo. Na rozdíl od Thomasova pochodu nejsou ztráty výhozem. Pro velké množství strusky je také právě tento pochod takto vymyšlen právě pro fosfornatější železo.

Elektrické pece

Jednou z nespočtu aplikací elektrického proudu je právě ocelářství. Elektrické pece představují relativně čerstvé dějiny, resp. přítomnost, proto se o nich zmíníme pouze v přehledu. První pec s elektrickým obloukem sestrojil Američan **R. Hare**, a to r. 1839, nezávisle na něm r. 1853 **Pichon**. Teprve od **Wilhelma Siemense** však pochází pec, která byla prakticky využitelná, na rozdíl od předcházejících spíše pokusných zařízení. To se stalo roku 1879. Odporová elektrická pec byla sestrojena roku 1883 **Faurem**, zdokonalena 1885 **Cowlesem**, v dalších letech pak ještě **Héroutem**, **Stassanem** a **Moissanem**. Indukční pec byla sestrojena roku 1890 **Colbym** a zlepšena roku 1900 **Kjellinem**.

Základní suroviny a jejich zpracování¹⁵		
Zlato	3.-2. tis. ante	V Egyptě je zpracováváno tepáním zlato z Nubie. Kolem 1300 otevřeli Egyptané zlaté doly v Nubii, kde hutnický zpracovávali zlatonosné minerály
	1350	Řekové získávají zlato rýžováním zlatonosných písků.
	Přelom ltp.	Ve Španělsku těží Římané zlato vyplavením rozrušené zlatonosné horniny
Stříbro	3.-2. tis. ante	V Egyptě je používáno zlato, je přineseno Féničany. Je používána slitina 75-80 % zlata a 25 - 20 % stříbra
	8.-5. stol.	Homér píše o využití stříbra v Řecku, vyráběny z něj šperky a užité předměty
	Přelom ltp.	V Římě se používá nejen čisté stříbro, nýbrž i rudy, v nichž je mimo stříbra i olovo.
Měď	5.-2. tis.	Egyptané využívají naleziště měděných rud na Sinai, zpracovává se malachit a chrysokol
	1. stol. ante	V Řecku je hutnický zpracovávána i sirná sloučenina mědi, pyrit
	Přelom lto.	Římané několikanásobným tavením získávají takřka čistou měď
Cín	3. tis. ante	Cín je znám Féničanům, Egyptanům i obyvatelům Mezopotámie. Existuje obchod cínovými rudami, přesahující hranice kulturních oblastí. Cín je v Řecku a Římě často zaměňován s olovem.
Bronz	3. tis. ante	V Mezopotámii je znám bronz, využíván pro svou nižší tavící teplotu než měď a tvrdost, srovnatelnou s kamennými nástroji. Slouží k výrobě zbraní a užitečných předmětů.
Olovo	2. tis. ante	Olovo je známo v Egyptě, Mezopotámii a Indii. Používá se jako střešní krytina, závaží při předení a tkaní, při přípravě kosmetických přípravků.
	1. stol. ante	Při těžbě a zpracování olova pracují v Řecku a Římě tisíce otroků, doly jsou především ve Španělsku. Používá se k výrobě střel do praků. Závaží na lodích, nádoby, sochy a hračky
Železo	1500	Chetitům se poprvé podařilo získat železo z rud. Na rozdíl od meteorického železa je železo z rud velmi měkké, a teprve kolem 1200 se podařilo vyrobit ocel. Používá se především na výrobu zbraní a užitečných předmětů.
	1400	V Indii je krom kujného železa známa i litina
Keramika	Kolem 7000	Po období pokusů s hliněnými nádobami sušenými na slunci se ve střední době kamenné objevují nádoby vypalované keramiky
	Kolem 2400	V Babylonii a Asýrii je výroba keramiky na vysoké úrovni. Krom keramických nádob se vyrábí i obkladové glazované cihly,
Sklo	5400	Z této doby pochází skleněná perla, objevená v jednom egyptském hrobě.
	4000	Počátky sklářství v Mezopotámii a Egyptě
	3500	V Alexandrii a Thébách jsou vyhlášena střediska sklářství, odkud se toto umění šíří do Fénicie, Palestiny a Řecka
	1. stol. ante	Féničané v městě Sidon vynalezli píšťalu k foukání skla

Několik jednoduchých kontrolních otázek:

1. Ve kterém myšlenkovém okruhu se poprvé objevil názor, že původcem všeho je hmota?
 - a) Marxův dialektický materialismus
 - b) Ionská filosofie
 - c) Egyptské náboženství
2. Kovy byly ve starověku využívány především k výrobě
 - a) Kultických předmětů a zbraní
 - b) Zemědělských nástrojů
 - c) Stavebních konstrukcí
3. Železo z vysoké pece muselo projít procesem
 - a) Vulkanizace
 - b) Zkujnění
 - c) Sedimentace
4. Inženýr Martin se zasloužil o
 - a) Využití sklářské regenerační pece ke zkujňování surového železa
 - b) Vynález pece na tavení litiny
 - c) Zdokonalení vysokých pecí vháněním ohřátého větru