

Pokroky matematiky, fyziky a astronomie

Jan Pícha

Hlubinné teplo Země a perspektivy jeho využití

Pokroky matematiky, fyziky a astronomie, Vol. 1 (1956), No. 4, 397--405

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/137428>

Terms of use:

© Jednota českých matematiků a fyziků, 1956

Institute of Mathematics of the Academy of Sciences of the Czech Republic provides access to digitized documents strictly for personal use. Each copy of any part of this document must contain these *Terms of use*.



This paper has been digitized, optimized for electronic delivery and stamped with digital signature within the project *DML-CZ: The Czech Digital Mathematics Library* <http://project.dml.cz>

HLUBINNÉ TEPLA ZEMĚ A PERSPEKTIVY JEHO VYUŽITÍ

Vědci a technické zaměřují dnes své úsilí na rychlejší řešení nových problémů, jež souvisí s využitím obrovských přírodních zásob surovin a energie. K jednomu z nich patří využití hlubinného tepla Země jako nového zdroje energie.

Nejprve vyložíme, o jaký zdroj energie jde a jaké jsou jeho projevy. Dále uvidíme, kde a jak se dnes hlubinného tepla Země využívá a stručně pojednáme o perspektivách dalšího jeho využití.

Hlubinné teplo Země a jeho projevy

Odpověď na otázku, co představuje nový zdroj energie — hlubinné teplo Země, nám dává *geothermika* (věda o tepelném stavu nitra naší planety a o tepelných projevech zemské kůry). Tepelnými projevy zemské kůry jsou na př. výbuchy sopek, výrony (exhalace) horkých plynů a par — fumaroly, periodicky vystřikující sloupce horké vody a vodní páry — gejsíry, vývěry horkých pramenů (vřídla) a pod. Kromě toho všude, jak na souši, tak i pode dnem oceánů a moří, pozorujeme zvyšování teploty s rostoucí hloubkou pod povrchem zemským. To vše nasvědčuje tomu, že kdysi v hlubinách Země existuje velmi horký, možná žhavotekutý materiál. Proto již v dávné minulosti vznikla a rozšířila se u různých národů představa o žhavotekutém stavu látek v zemském nitru, které jsou uzavřeny více či méně tlustým, pevným obalem, tak zvanou zemskou kůrou.

Nebudeme hovořit o vývoji názorů o vzniku Země ani o představách o jejím tepelném stavu, jež s předchozími názory souvisí. Uvedeme pouze, že do nedávna byl značně rozšířen názor, že Země byla kdysi žhavotekutá a že postupně chladla, při čemž se pokrývala pevnou kůrou.

Tento názor byl potvrzován výlevy (effusemi) žhavotekuté lávy z hlubin, unikáním horkých plynů a par ze Země a horkými prameny. Jakmile začaly (s rozvojem techniky v hornictví) šachty pronikat stále hlouběji, bylo pozorováno, že teplota s hloubkou pod povrchem zemským vzrůstá. Potvrzovala to i pozdější geothermická měření v hlubinných vrtech.

Rozvoj geofyziky, geologie a astronomie a nashromáždění nových, mnohem přesnějších údajů o stavu a stavbě zemského nitra však stále více ukazovaly na neudržitelnost dřívějších představ o žhavotekutém nitru Země.

Byla však také objevena nová vlastnost některých látek — *radioaktivita*. Tento dalekosáhlý vědecký objev z konce 19. století hluboce zaujal představitele nej-různějších věd; v čtených státech byly budovány speciální laboratoře a ústavy, vznikla bohatá literatura a rychle vyrůstala nová věda, tak zvaná *radiologie*. V její historii zůstane navždy památný rok 1896, kdy francouzský fyzik B e c q u e r e l objevil v Paříži, že uranové sloučeniny vyzařují neviditelné paprsky, které účinkují na fotografickou desku, způsobují popáleniny živé tkáně a pod. Za několik let zjistila M. C u r i e o v á - S k l o d o w s k á radioaktivitu thoria a společně se svým manželem objevila nové prvky, nazvané radium a polonium, mnohokrát účinnější než uran a thorium.

V Rusku se hluboce zajímal o radioaktivitu látek význačný vědec, zakladatel geochemie, akad. V. I. V e r n a d s k i j. Jako první z ruských vědců pochopil dalekosáhlý význam radioaktivity pro život člověka.

R. 1903 objevil P. C u r i e novou překvapující vlastnost radioaktivních prvků,

a to jejich schopnost uvolňovat teplo. Další výzkumy ukázaly, že všechny horniny obsahují radioaktivní prvky, avšak jejich množství v různých horninách není stejné.

Nejbohatší na ně jsou t. zv. horniny kyselé (to jest horniny bohaté na kyselinu křemičitou), na příklad žuly. Chudé na ně jsou zásadité (basické) horniny (to jest horniny chudé na kyselinu křemičitou), na příklad basalty (čediče). S hloubkou množství radioaktivních prvků ubývá a musí se tedy zmenšovat i množství jimi uvolňovaného tepla. Je zcela možné, že nejvíce radioaktivních prvků je nehluboko pod zemským povrchem (v hloubce 15—20 km), to jest uvnitř zemské kůry. Jsou v ní rozděleny nerovnoměrně a tvoří jednotlivá zhuštění. Ukázalo se též, že radioaktivní energií lze vysvětlovat četné geologické procesy probíhající na Zemi.

Studium stavby zemského nitra různými metodami (zejména analýsa elastických kmitů, které vznikají v horninách při silných zemětřeseních) ukázalo, že Země není tělesem stejnorodým, nýbrž že sestává ze soustředných obalů, tak zvaných *geosfér*, jež se vyznačují různými fyzikálně chemickými vlastnostmi. Svrchní geosféra tloušťky 40—70 km nazývá se *zemskou kůrou*. Další mezivrstva zasahuje do hloubek 2900 km a obepíná tak zvané zemské jádro, o jehož podstatě není dosud jednotného názoru. Pravděpodobně je metalické, snad pevné, a jeho teplota možná není vysoká. Nás však nyní zajímá zemská kůra a síly v ní působící.

Jedinou přímou cestou k získávání dat o teplotách Země jsou měření teplot hornin v hlubinných dolech a ve vrtech. Použitím zvláštních přístrojů lze dnes měřit teploty ve zdánlivě velkých hloubkách až 6 km. Tyto hloubky představují však pouze asi 0,001 zemského poloměru a ze získaných údajů nemůžeme proto činit žádných závěrů o teplotách v hloubkách značně větších.

Teploty Země v hloubkách pouze několika km mají však též značný theoretický i praktický význam. Změříme-li teploty v hlubinném vrtu, můžeme vypočítat *geothermický gradient*, t. j. lze určit zvětšování teploty (ve stupních) na jednotku hloubky.

Bylo nashromážděno již mnoho údajů o teplotě Země. Tento materiál ukazuje, že pro zemskou kůru je charakteristická různost hlubinných teplot a tudíž i geothermických gradientů: někde gradienty nepřevyšují 5°/km, jinde dosahují 150°/km až 250°/km.

Co způsobuje tak rychlé zvětšování teploty s hloubkou? Nejpravděpodobněji to, že v poměrně malé vzdálenosti od zemského povrchu, v hloubkách 10—20 km, jsou dosud horká magmatická tělesa (vniková, intrusivní) různého tvaru a rozměrů, která vnikla ze zemského nitra do zevních částí zemské kůry. Geologové je nazývají intrusemi.

Někdy vystupuje žhavotekuté magma po trhlíně vzniklé v zemské kůře a vylévá se na povrch jako láva. V tom případě mluvíme o všeobecně známém výbuchu sopky. Láva, popel a sopečné pumy se hromadí kolem trhlíny čili kanálu a postupně vyrůstá hora kuželovitého tvaru, tak zvaný sopečný kužel. Jindy však magma nedosáhne zemského povrchu a nevylije se jako láva. Zůstane v jisté hloubce a vytvoří tak horninu intrusivní.

Mladá žhavotekutá intruse, která vystoupila z velkých zahřátých hlubin k zemskému povrchu, kde je teplota značně nižší, se ochlazuje. Ochlazování probíhá velmi pomalu a může trvat desítky, statisíce a u značně velkých intrusí i miliony let. Během ochlazování a krystalisace se uvolňují horké plyny, které pronikají po trhlínách a zlomech k zemskému povrchu. Cestou se setkávají s vodonosnými horizonty a zahřívají vodu často na velmi vysokou teplotu.

Žák akad. V. I. Vernadského, akad. A. J. F e r s m a n, popisuje ochlazování žhavotekutého magmatického tělesa takto: »Magma je složitý vzájemný roztok — roztavenina ohromného množství látek. Dokud vře v nedostupných hlubinách, nasycené vodními parami a těkavými plyny, probíhají v něm jeho vnitřní děje a jednotlivé chemické prvky se slučují v hotové (ještě však kapalné) minerály. Jakmile začne teplota klesat, při celkovém ochlazování, způsobeném tím, že magma vniká do chladnějších a vyšších zón, začne magma tuhnout a vylučovat jednotlivé látky. Některé sloučeniny přecházejí v pevnou fázi dříve než jiné, vykrystalisují a plouvou nebo padají ke dnu ještě kapalné masy. Ke vzniklým pevným částicím jsou velmi pomalu přitahovány krystalisačními silami stále další a další částice; pevná látka se shlukuje a odděluje od kapalného magmatu. Magma tak přechází ve směs krystalů, v minerální masu, kterou nazýváme krystalickou horninou.

Složení pevné horniny není zdaleka takové jako složení vlastního žhavotekutého magmatického ohniska. Obrovské množství těkavých sloučenin nasycuje jeho žhavotekutou směs, mohutně se vylučuje a proniká příkrovem. Pouze nepatrná část těchto plynů zůstane ve ztuhlé mase, ostatní pronikají k zemskému povrchu jako výrony plynů.

Většina těchto těkavých sloučenin však nedosáhne zemského povrchu. Obrovská jejich část se sráží již v hlubinách, vodní páry kondensují; podél trhlin a žil pronikají k zemskému povrchu horké prameny, které se pomalu ochlazují a postupně z roztoků vylučují minerál za minerálem. Část plynů nasycuje vody, které pronikají na zemský povrch jako vřídla nebo gejsíry; jiná část brzy nalézne pro sebe další cesty a vytváří pevné sloučeniny.

Horké prameny . . . — to jsou cesty, jež spojují život magmatu s životem na povrchu zemském . . . Z nich vznikají dnešní vodní zdroje, které z hlubin přinášejí látky nevyskytující se na povrchu zemském. Na stěnách trhlin, na jemných trhlinkách, začínají se usazovat minerály, sirníky těžkých kovů. Tak vznikají z těkavých sloučenin hlubinného magmatu ložiska rud a užitečných nerostů, které člověk tak dychtivě vyhledává pro svůj průmysl.«

Horká voda a přírodní pára při pronikání podél trhlin k zemskému povrchu nesou však s sebou nejen cenné chemické prvky a jejich sloučeniny, ale také teplo z hlubin Země, kterého se člověk naučil s úspěchem využívat k vytápění i k získávání elektrické energie.

Zdálo by se, že k využití hlubinného tepla Země jsou vhodnější činné sopky, jež vydávají ohromné množství tepla. Avšak není tomu tak. Výbuchy sopek jsou jednak jevy krátkodobé a za druhé, což je nejdůležitější, jsou tak mohutnými zdroji tepelné a mechanické energie, že žádné stavby, vybudované člověkem, nemohou obstát proti síle výbuchu. Výbuchy sopek vedou často ke zničení celých měst a k záhubě jejich obyvatel. Tak na př. r. 1815 při výbuchu východoindické sopky Tamboro na ostrově Sumbava zahynulo asi 92 000 lidí. Při výbuchu sopky Mt. Pelée na ostrově Martinique přehnal se sestupující a žhavá mračna městem St. Pierre a v několika minutách je zničila a sežehla veškeré jeho obyvatele, asi 30 000 lidí.

Hlubinného tepla Země lze využívat v oblastech, kde pronikají na zemský povrch četné výrony horkých plynů a par či horké prameny, nebo tam, kde měření teplot ve vrtech ukazuje rychlé zvyšování teploty, souvisící s tím, že nedaleko pod povrchem zemských je značně teplé intrusivní těleso. V Asii, Africe, Americe, Evropě, na ostrovech Atlantického a Tichého oceánu vyvěrá na zemský povrch velmi mnoho horkých pramenů; na četných místech vyrážejí se sykotem

a pískotem erupce plynů a par, zahrátých na několik set stupňů; do výšek několika desítek metrů vystřikují sloupce horké vody — gejsíry. Tak na př. v Japonsku, v zemi sopek a zemětřesení, bylo prostudováno na 6000 horkých pramenů; v Yellowstoneském národním parku (USA) bylo zjištěno asi 7000 pramenů vroucích vod a více než 80 gejsírů; známé na bohaté výrony plynů je Údolí deseti tisíc dýmů na Aljašce; tisíce horkých pramenů jsou na Novém Zélandu a na Islandu, kde je též asi 30 gejsírů; v SSSR se vyskytují gejsíry a horké prameny na Kurilských ostrovech, v Údolí gejsírů na Kamčatce, na Krymu, na Sibiři atd.

Všechny tyto projevy mohutných hlubinných sil Země souvisí s pozoruhodnou oblastí, jež obepíná Zemi v rovnoběžkovém pásu, který jde od břehů Tichého oceánu přes jihovýchodní Asii, Himalaje, Irán a záp. Evropu a který geologové nazývají oblastí vrásnění alpského. Dva další pásy ve směru téměř poledníkovém jdou jeden podél západního pobřeží Tichého oceánu (asijská větev), druhý podél vých. pobřeží (americká větev). Charakteristickými rysy těchto oblastí jsou častá a silná zemětřesení a místy značné prohřívání Země magmatickými krby, jež jsou blízko zemského povrchu. Vidíme tedy, že hlubinného tepla Země lze využívat především v oblasti alpského vrásnění.

Sopečně výbuchy, výrony horkých plynů a par a horké prameny vynášejí na zemský povrch a částečně rozptylují v atmosféře obrovské množství různých chemických látek. Tak na příklad miliony fumarol v Údolí deseti tisíc dýmů na Aljašce, jež tvoří z 99% čistá voda, poskytují za vteřinu 23 milionů litrů páry teploty až 600° C. Během jednoho roku uniká zde do atmosféry a rozptýluje se v ní asi 1 250 000 tun kyseliny chlorovodíkové a asi 200 000 tun kyseliny fluorovodíkové. Voda horkých pramenů obsahuje někdy tolik rozpuštěných minerálních látek, že se získávají pro průmyslové účely. Tak na příklad z karlovarské horké vody se každoročně získává asi 6 tun fluoridu vápenatého, 800 tun uhličitanu sodného, 1300 tun Glauberovy soli atd. Na Novém Zélandu je horký pramen o koncentraci kyseliny sírové a solné až 10%.

Řekli jsme již, že ochlazování žhavotekutých intrusivních těles probíhá velmi pomalu. Na četných místech lze najít příklady, jež potvrzují theoretické výpočty geochemiků. Tak na příklad v blízkosti některých horkých pramenů ve Francii se zachovaly rozvaliny římských lázní z doby Caesarova pobytu v Gallii a charakter minerálních usazenin, prostudovaných geology, ukázal, že v posledních dvou tisíci letech se jejich výkon, složení a teplota prakticky nezměnily. Stáří některých vřidel na Islandu se odhaduje na 10—15 tisíc let, v Yellowstoneském parku na 20 000 let. Od r. 1870, kdy bylo začato se soustavným studiem tepelných projevů tohoto parku, zjistili někteří badatelé zmenšení a v četných případech i přerušení činnosti jednotlivých gejsírů a vřidel. Myslelo se, že magmatický krb, který vyvolával život všech těchto nádherných projevů, ochladl. Nebylo to však potvrzeno. Zmenšení a v některých případech přerušení činnosti gejsírů nebo pramenů pouze ukazuje, že přirozená podzemní soustava trhlin a kanálů, jež přivádějí horké vody k zemskému povrchu, se uzavřela nebo zanesla usazeninami solí. R. 1946 vyrazil nový gejsír dlažbou a asfaltem v Yellowstoneském parku blízko jedné z budov musea. Později se přeměnil ve fumarolu.

Sopečná činnost v oblasti Yellowstonekého parku skončila asi před 1 000 000 let. Jak však ukázala měření ve zvláštních vrtech, je teplota v hlubinách přesto ještě značně vysoká a již v hloubce 80 m pod povrchem převyšuje 200° C. Tato značná zásoba tepla je zde koncentrována v magmatickém krbu velmi pomalu chladnoucím a vylučujícím horké plyny.

Seznámili jsme se krátce s povrchovými projevy tepelné energie zemského

nitra. Z faktů, jež jsme uvedli, vidíme, jak mohutný a prakticky nevyčerpatelný zdroj tepelné energie je k dispozici člověku.

Využití hlubinného tepla Země

K využití hlubinného tepla Země je třeba velkého množství vody nebo přírodní páry vysoké teploty. Pro energetické účely může být tedy využito hlubinného tepla pouze tam, kde jsou vhodné podmínky k vyvedení horké vody nebo páry na povrch v dostatečném množství. Je to především v oblasti vrásnění alpinského, kde existují žhavotekutá intrusivní tělesa blízko pod zemským povrchem.

Lze se domnívat, že již pračlověk využíval pramenů horké vody pro své každodenní potřeby, na příklad k uvaření jídla. Jejich využití pro bytové potřeby (koupele, praní prádla atd.) ve středověku a dnes je rovněž dobře známo.

Nás však nyní zajímá využití hlubinného tepla Země pro účely průmyslové. Postupuje se při tom zpravidla takto:

1. Horká voda z pramenů se přivádí potrubím k vytápění obydlí a jiných budov a staveb.

2. Horká voda ohřívá kotle s těkavou kapalinou, která se přeměňuje v páru pohánějící turbogenerátor, jenž poskytuje elektrický proud.

3. Hlubinnými vrty se získává ze Země přírodní pára, která se čistí a přivádí do turbin na výrobu elektrického proudu.

Dnes se horké vody hojně používá k vytápění na Islandu; elektrickou energii využitím přírodní páry získávají v Itálii, na Novém Zélandu a v malém množství i jinde.

Seznámíme se nejprve s tím, jak je hlubinného tepla Země využíváno na Islandu, v zemi ledů a sopek.

S geologického hlediska představuje ostrov Island štítovitý výzdvih, složený hlavně z basaltu. Sopečná činnost trvá na něm s přestávkami více než 30 milionů let a dosud nepřestala. Je tam více než 100 sopek, z nichž 28 je činných. Poslední mohutný výbuch sopky Hekla nastal r. 1947. Na ostrově je mnoho gejsírů a vyvěrá tam tisíce pramenů horké vody, jejíž teplota převyšuje 100° C. V jižní části Islandu se tyto prameny seskupují směrem od jihozápadu na severovýchod, rovnoběžně s hlubokými trhlinami a velkými zjištěnými zlomy.

Mnohé prameny závisí na zemětřesné činnosti uvedené oblasti, jež má za následek, že některé prameny zanikají, avšak místo nich se objevují opět jiné. Vysoká teplota pramenů je způsobena plyny, které uvolňuje magmatický krb.

S ekonomického hlediska je Island málo vyvinut. Přírodní zásoby jsou chudé; nafta a uhlí se musí dovážet ze zahraničí. Proto obyvatelé Islandu již před několika sty lety obrátili pozornost k využití horkých pramenů, jichž je u nich dostatek. Tak na př. v četných obydlených místech byly vybudovány veřejné prádelny, farmáři odvádějí horkou vodu na svá pole a do zelinářských zahrad k urychlení dozrávání ovoce a obilovin. Od r. 1928 konají se na ostrově soustavné geofyzikální, geologické a vrtné práce. Po druhé světové válce bylo skutečně úplné zásobování teplem celého hlavního města Islandu Reykjavíku o 53 000 obyvatelích. Horká voda o výkonu 16 000 l/min a teploty 87° C je přiváděna do města potrubím délky 16 km.

Klima a půda na Islandu nedovolují zde vyrůst mnohým zahradnickým a sadovým kulturám. Přesto tam dozrávají okurky, rajská jablíčka, víno i ananas. Dozrávají v četných teplárnách, vybudovaných na různých místech v blízkosti pramenů horké vody.

Elektrickou energii z přírodní páry na Islandu ještě nezískávají, avšak nedávno tam začali stavět pokusné geothermické stanice na 3000 kW.

Podobně jako na Islandu, používá se odedávna vody horkých pramenů pro bytové potřeby v Japonsku: rolníci vytápějí své domy během vlhké a chladné zimy; na četných místech jsou vybudovány lázně. Horká voda se přivádí na rýžová pole a do zelinářských zahrad nejen k prohřívání půdy, nýbrž i jako hnojivo tam, kde voda obsahuje soli amoniaku a fosforu. Horké vody používají i k odpařování kuchyňské soli z vody mořské. Výzkumné a vrtné práce umožnily vyvést na zemský povrch vodu o vysoké teplotě a ve velkém množství, jejíž chemické složení umožnilo průmyslové získávání tak vzácných prvků jako je caesium, aktinium x , thorium x , radium a též chlorid lithia.

V některých místech získávají za měsíc až 100 tun kuchyňské soli, 10 tun chloridu draselného, 0,5 tuny kyseliny borité atd. Ke studiu využití hlubinného tepla Země byla nedávno zřízena v Japonsku zvláštní komise.

Pramenů horké vody se používá k vytápění obytných budov, zejména hotelů, na četných tichooceánských ostrovech, v Jižní Americe, na ostrově Severním (Nový Zéland) atd. Ve státě Oregon (USA) využili vody horkých pramenů k prohřívání strmých úseků horských silnic, pokrytých v zimě ledem, kde před tím často docházelo k dopravním nehodám.

Nyní se seznámíme s využitím přírodní páry. Geofysikové a geologové ji vyhledávají a přivádějí vrty na zemský povrch. Chemikové i energetikové ji čistí a používají v turbinách k získávání laciné elektrické energie. Po prvé se to podařilo r. 1904 v Itálii.

Geologové považují Apeninský poloostrov za mladý horský hřbet, který se geologicky zformoval nedávno (ve čtvrtohorách) a který se dosud vyvíjí. Podél Apeninského hřbetu dochází k četným a často ničivým zemětřesením. Thermální činnost magmatických krbů se projevovala a dosud se projevuje prameny horké vody, vroucími jezírky (lagunami), výrony horkých plynů a par a mohutnými výbuchy sopek — Vesuvu, Etny, Stromboli, Vulcáno. Kromě těchto činných sopek (Vesuv soplil naposled roku 1944, Stromboli je činná neustále) jsou na poloostrově desítky již neaktivních sopečných kuželů.

V sev. části Neapolského zálivu je velké sopečné ohnisko s četnými malými struskovými kuželi (vytvořenými r. 1538 sopkou Monte Nuovo) a s různými projevy hlubinné magmatické činnosti. Je to oblast t. zv. Flegrejských polí.*) Jeho západním pokračováním v Tyrrhenském moři je malý ostrůvek Ischia se sopkou Epomeo a mnoha horkými prameny.

Na hořlavé nerosty je Itálie chudá; v malém množství se těží hnědé uhlí a nafta, avšak zásoby vodní energie, zejména na severu, jsou značné a jsou využívány četnými vodními elektrárnami. Podle údajů z r. 1954 byl výkon všech elektráren v Itálii 10059 tisíc kW. Z toho připadalo na vodní elektrárny 7852, na teplárny 1942 a na geothermické stanice 265 tisíc kW.

Výkon geothermických stanic se týká zejména stanic v toscanské oblasti, jež byly vybudovány z počátku nedaleko od Florencie v městečku Larderello a později i v okolních oblastech. Larderello je dnes světoznámé. Ostatně tato oblast byla známa již dávno jako bohatá na četné horké prameny, laguny a výrony páry (soffioni) unikající z četných trhlin v holé a sežehnuté půdě, prosté rostlin.

R. 1776 byla zde objevena kyselina boritá, která se kromě ostrova Vulcáno nikde v Evropě nevyskytovala. Do objevení minerálů obsahujících bor byla ky-

*) Pěkně je popsán G. D. B o g e m s k i j v knize *Po gorodam Italii*, Geografiz, 1955, str. 220.

selina boritá hlavní světovou surovinou na bor. V Toscaně objevil kyselinu boritou německý chemik G. C h e f f e r. Využívat zemského tepla k jejímu odpařování navrhl r. 1817 francouzský emigrant F. L a r d e r e l l. Tehdy tam odpařovali za rok až 80 000 tun vody, ze které získávali až 1600 tun kyseliny borité.

R. 1904 pokusil se Ing. G. C o n t i využít jako zdroje energie páry unikající pod tlakem ze Země. Usměrnil výron páry na parní stroj, který uváděl do pohybu zařízení továrny na kyselinu boritou a generátor na výrobu elektrického proudu k osvětlování. Tak byl položen základ k dalšímu úspěšnému využívání nového zdroje energie — hlubinného tepla Země jak v Itálii, tak i později v jiných státech. Brzy se však ukázalo, že plyny obsažené v páře poškozují parní stroje. Aby k tomu nedocházelo, používalo se přírodní páry k zahřívání odpařovače s čistou vodou, který poskytoval páru bez škodlivých příměsí. Výkon takového zařízení z r. 1912 činil 200 kW a r. 1916 byly uvedeny do chodu již tři agregáty, každý o 2500 kW.

Žíravé plyny obsažené v páře nejenom ničily části zařízení, nýbrž i bránily úplné kondensaci páry. Byl proto navržen způsob, jímž se odstraňovalo z páry asi 90 % těchto plynů.

Později byly pístové stroje nahrazeny turbinami. Za 50 let exploatace přírodní páry v Toscaně se její teplota, tlak, výkon a složení nezměnily. Složení páry v Toscaně má také značný ekonomický význam. Získává se zde ročně asi 8000 tun kyseliny borité, 4500 tun boraxu a pod.

Se zdokonalováním techniky a se zpřesněním geologické stavby oblasti v okolí Larderello vzrostl též výkon zařízení. Tak na příklad bylo v roce 1932 získáno 50 milionů kWh energie, roku 1939 již 500 milionů kWh. Škody způsobené druhou světovou válkou snížily výkon zařízení na 90 %, avšak již r. 1948 získávali v Itálii jednu miliardu kWh ročně a r. 1952 asi dvě miliardy kWh, což činilo 5,8 % veškeré tam vyráběné elektrické energie. Roku 1933 bylo na získání energie 1 kWh zapotřebí asi 20 kg páry, roku 1951 stačilo již pouze 10 kg.

Při plánování geothermické stanice není až do skončení všech průzkumných a vrtných prací předem známo, kolik páry se získá a tudíž nelze předem stanovit výkon zařízení. Praxe ukázala, že je vhodnější budovat takové stanice, jejichž výkon lze zvětšovat podle toho, jak budou objevovány nové zásoby páry.

V Itálii používaná schemata zařízení lze shrnout do tří skupin:

1. Hlubinná pára přichází do protitlakové turbíny, to jest s vypouštěním páry do atmosféry; turbína je spojena s generátorem.

Stanice, které pracují podle tohoto schématu, jsou nejprostším a nejlacinějším typem stanice, avšak je pro ně třeba příliš mnoho páry. Takové stanice se stavějí tam, kde je výtěžek přírodní páry malý, kde však je možné jej zvětšit na základě dalších průzkumných prací.

Turbíny pro tento typ stanic mají charakteristiky: dvě skupiny turbin na 3000 kW (tlak u ventilu 4,4 atm, tlak u výstupu 1,08 atm, teplota páry 180° C, 3000 ot/min) jsou spojeny s třífázovým generátorem o napětí 4500 V. Potřeba páry 19 kg/kWh. Upotřebená pára se dále používá v chemickém průmyslu.

2. Hlubinná pára přichází do výměníku tepla, který napájí parou turbínu s kondensací, spojenou s generátorem.

Na stanicích pracujících podle tohoto schématu je reaktivní turbína spojena s třífázovým generátorem na 15 000 kW, 900 V. Každý generátor je spojen s třífázovým transformátorem na 1500 kW, zvyšujícím napětí na 130 000 V. Podle tohoto schématu bylo v Larderello vybudováno sedm nejmodernějších agregátů. Dnes pracují též čtyři agregáty tohoto druhu v Castelnovo. Potřeba páry je 14 kg/kWh.

3. Hlubinná pára přichází do turbíny s kondensací, spojenou s generátorem.

Na stanicích pracujících podle tohoto schématu jsou turbíny poháněny přímo hlubinnou parou, obsahující až 4 % chemicky aktivních plynů. Proto kov nesmí podléhat účinkům koroze.

Dnes se buduje v Larderello podle tohoto schématu velká stanice, ve které budou čtyři skupiny turbin; v každé z nich je reaktivní turbina o výkonu 26 000 kW (tlak páry 4,7 atm, teplota 185° C, 3000 otoček/min). Potřeba páry činí 9,5 kg/kWh.

Když vrt narazí na velké množství páry, nastane opravdový výbuch, jistý druh erupce, při které vyrazí do vzduchu hlinitý roztok (používaný při vrtbě) a kousky hornin. Takový bouřlivý výron páry nazývají Italové »soffionissimo«. Explosi vždy předchází zvýšení teploty ve vrtu, takže lze časem zvýšit ostražitost potřebnou k zabránění škod. Jaké síly takové explose někdy dosahují, lze usoudit z výsledků nehlubokého vrtu provedeného v Larderello již ve třicátých letech: vyrazivší pára vytvořila vysokou fontánu, jejíž řev bylo slyšet do vzdálenosti 50 km. Vrt byl hluboký asi 250 m, průměru 480 mm, tlak páry u výstupu 4,5 atm, její teplota 205° C. Za hodinu poskytoval 220 tun páry. Ve druhém případě byla při explozi těžká vrtná věž odhozena, její ocelové části zohýbány a kolem vrtu se vytvořil kráter hloubky 18 m.

Teplota páry je na různých místech různá; kolísá od 140° C do 296° C. Výkon rovněž značně kolísá od několika t/hod až do 300 t/hod; tlak bývá 4 atm u povrchu, až 18 atm v čelbě vrtů.

Po druhé světové válce byly v Itálii rozvinuty rozsáhlé průzkumné a vrtné práce, zejména v jižních oblastech, chudých na vodní energii. Podle mínění specialistů převyšují tam zásoby hlubinné páry mnohokrát zásoby páry v Toskánské oblasti. Velké perspektivy se ukazují zejména v Campagni, v oblasti Flegrejských polí a též na ostrově Ischia. Roku 1954 bylo na těchto místech provedeno 90 vrtů a již byla získána pára teploty od 150° C do 296° C o výkonu 100 t/hod.

Četných horských pramenů ostrova Ischia se již dávno využívá k léčebným účelům a též k urychlení dozrávání zeleniny a ovoce. Nejranější zelenina a ovoce přichází na italské trhy právě odtud.

Před několika lety byla vybudována na západním břehu ostrova malá geothermická stanice, kde bylo po prvé použito horké vody k ohřívání snadno těkavé kapaliny ethylchloridu (jehož bod varu je 12,5° C), který poháněl malou turbínu. Stanice má výkon 300 kW, k pohonu je třeba 1,5 t ethylchloridu a jeho zásoba 0,5 t k případnému nepatrnému doplňování.

Po druhé světové válce začaly se konat výzkumné, průzkumné a vrtné práce k získání hlubinné páry na Novém Zélandu, na ostrově Severním. Tento ostrov oplývá horkými prameny, mohutnými gejsíry a činnými sopkami. Teplou vodou se zde vytápějí hotely a nemocnice, hlubinnou parou je poháněna pila, tuzemské obyvatelstvo odedávna používá horké vody k přípravě jídla. V oblasti Waikarea bylo provedeno 13 vrtů a získána téměř čistá pára o teplotě 230° C a výkonu až 90 t/hod. Pokusně byla spuštěna geothermická stanice na 134 500 kW. Vláda Nového Zélandu schválila r. 1952 zvláštní zákon o průzkumu a exploataci hlubinné páry k energetickým účelům. Kromě toho Komitét pro atomovou energii Velké Britannie a vláda Nového Zélandu založily akciovou společnost, jejímž cílem je získávat těžkou vodu z přírodní páry. R. 1957 bude proto vybudována ještě jedna geothermická stanice a závod, který bude každoročně vyrábět několik tun těžké vody.

Itálií a Novým Zélandem jsou v podstatě vyčerpány oblasti, kde se dnes ve

větší míře využívá hlubinného tepla Země k získávání elektrické energie. Pro úplnost ještě uvedeme, co bylo v tomto oboru uděláno v Kalifornii a v Japonsku.

Ve vzdálenosti asi 100 km severně od San Franciska je s hlediska geothermiky a geochemie velmi zajímavá oblast, nazývaná »Oblast gejsírů«. Gejsíry tam však nejsou, nýbrž podél hřbetu Majakema a velkého zlomu v zemské kůře vyvěrají horké prameny a holou půdou, místy pokrytou inkrustací solí, proráží pára. Teplota pramenů je 98° C, což odpovídá bodu varu v tomto místě.

Mělké vrty na několika místech poskytly větší množství páry o teplotě až 200° C (v jednom vrtu dokonce téměř 600° C), jež stačilo k pohánění malé turbíny, která zásobovala elektrickou energií blízké domy a zařízení.

V Japonsku na ostrově Kiu-šiu byla prozatím vybudována malá pokusná stanice a na r. 1954 bylo projektováno zřízení geothermické stanice o výkonu 3000 kW.

Úspěchy italských a novozélandských energetiků daly podnět k výzkumným a průzkumným pracím v San Salvadoru, Nicaragua, v Chile, na ostrovech Malé Antilly, v rovníkové Africe a na některých tichooceánských ostrovech.

V SSSR je rovněž věnována velká pozornost využití hlubinného tepla Země, jehož důležitost potvrdilo presidium Akademie věd již r. 1937. Jde zejména o oblasti Kamčatky, Čukotského poloostrova, Kavkazu, Pamíru, Ťan-Šanu, střední Asie a jiné.

Odvážně naznačil perspektivy využití hlubinného tepla Země v Sovětském svazu akad. A. J. F e r s m a n: »Magmatický oceán, kypící pod našima nohama, obrovské množství tepla, ukryté v zemském nitru — to vše bude dostupné člověku . . . zahřeje Zemi tepelnými stanicemi zemského nitra, zastaví ničení lesů, zažene bezúčelné spalování uhlí, tak nezbytného pro chemické procesy; přestane se používat nafty pro tepelná zařízení.

Milióny kalorií přivedou na zemský povrch potrubí z hlubin, jež poskytnou teplo nejen lidským obydlím a závodům, nýbrž zahřeje též celé oblasti svým horkým dechem, roztaví ledy polárních krajin a změní klima.«

Neomezené možnosti se objevují před geofysiky, geology, hydrogeology, energetiky atd. při studiu a využívání po věky činných zdrojů nové energie — hlubinného tepla Země.

Volně zpracoval podle stejnojmenné práce (S. A. Kraskovskij, *Glubinnoje téplo Zemli i perspektivy jeho ispolzovanija*, Vsesojuznoje obščestvo po rasprostraněniu političeskich i naučnych znani, ser. III, č. 31) dr Jan Pícha