

U. AGUR



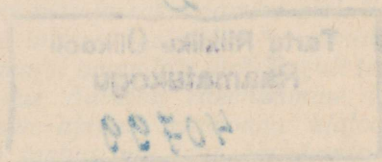
Tuleviku
ENERGIAALLIKAD

-21219 II

U. Agur

TULEVIKU ENERGIAALLIKAD

SP



EESTI RIIKLIK KIRJASTUS
TALLINN 1956

SISSEJUHATUS

Ukski inimene ei saa elada söömata. Toiduainete vara! taastame oma võimet liikuda, töötada ja mõtelda, omandame uut energiat. Täpselt samuti vajavad energiat tööstus ja transport, põllumajandus ja kommunaaletevõtted, et hoida käigus masinaid ja sõidukeid, kütta ja valgustada ruume ning täita tuhat muud ülesannet. Öeldakse: «Süsi on tööstuse leib.» Tuleks lisada: mitte üksnes tööstuse, vaid kogu rahvamajanduse. See võrdlus iseloomustab suurepärast energia osatähtsust meie elus; on ju kivisüsi koos naftaga tänapäeval tähtsaimateks energiaallikateks.

Kogu inimkonna arengut tähistavad verstepostidena saavutused energia tootmise ja rakendamise alal. Tule avastamist võime lugeda inimese eelajaloo suurimaks saavutuseks. Antiik- ja keskajal omandati järk-järgult tuule- ja veejõu kasutamise oskus. Aurujõu rakendamine tööstuses ja transpordis avas uue ajastu inimkonna ajaloo. Vaevalt sada aastat hiljem saabus aga taas järjekordne murrang: XIX sajand — «aurusajand» andis aset «elektrisajandile», mis nüüd on muutumas «aatomisajandiks».

Käsi käes maakera elanikkonna kasvuga, tehnika ja kultuuri arenguga ning elutingimuste paranemisega kasvab vajadus nii inimeste leiva kui ka tööstuse «leiva» järele. Vaatamata laastavatele sõdadele on inimkonna energiavajadus viimase 30 aasta vältel kahekordistunud. Nõukogude Liidus on aga energiatarvidus võrreldes tsaari-Venemaaga kasvanud kuuekordseks.

Kust ammutada tohutuid energiahulki, mida vajame iga aastaga üha enam ja enam? Kas piisab olemasolevaist energiaallikaist või tuleb otsida uusi? Missugused on uute energiaallikate kasutamise võimalused ja väljavaated? Neile küsimustele püüab anda vastuse käesolev raamat.

ENERGIA JA SELLE KASUTAMINE

MIS ON ENERGIA?

Avame füüsikaõpiku ning loeme: «Energia on võime teha tööd.» Energiavarusid leidub kõikjal meie ümber. Oma lihaste energia varal sooritavad tööd inimene ja teised elusolendid; kärestikus raevutsev jõgi on võimeline pöörama vesiratast või elektrijaama turbiini. Energiavarud peituvad tuule stiihias ning merelainete möllus, aga ka üleskeeratud kellavedrus.

Samuti on iga soojusallikas ühtlasi energiaallikaks. Soojust võime ühel või teisel viisil rakendada kasuliku töö saamiseks, kas või näiteks aurukatla ja aurumasina vahendusel. Seega peitub energia ka päikesekiirguses ja vulkaanide kuumas rüpes. Suured energiahulgad on varutud kütustes. Kivisöes, naftas või turbas sisalduv energia muundub põlemisel soojuseks ja paneb tööle sõiduki mootori või elektrijaama turbiini.

Suurimad energiahulgad peituvad aatomituumades. Vabanedes hetkelise raevuka plahvatusena, purustab see energia terveid linnu. Ka see on füüsiku seisukohalt «töö», kuigi mõttetu ja õudne. Aatomituumade energia võib aga sama hästi anda kasulikku tööd, näiteks aatomielektrijaamas.

Seega ümbritsevad meid igast küljest kõige mitmesugusemad energiaallikad. Püüame neid liigitada, lähtudes sellest, millisel kujul me energiaga tehnikas ja looduses kokku puutume.

ENERGIALIIGID JA NENDE MUUNDUMISED

Mehaaniline energia, mis on meile igapäevases elus väga hästi tuntud, võib esineda kahel kujul. Potentsiaalne ehk paigalseisuenergia on varutud paigal-

seisvais kehaes, näiteks ülestõstetud kellapommis või üleskeeratud kellavedrus. Samuti on elektriiaama paisu taha kogunenud veel potentsiaalse energia varu.

Kineetiline ehk liikumisenergia on liikuvatel kehaes, näiteks masina pöörlev hooratas, voolav jõevesi või tuul (viimasel juhul on tegemist õhu liikumisega).

Soojusenergia on samuti hästi tuntud energia-vorm. Soojusenergia peitub köetud ahjus, aurukatlasse kogunenud kuumas aurus, aga ka soojades tuultes või merehoovustes.

Keemilist energiat omavad mitmesugused keemilised elemendid või ühendid; selle vabanemine toimub keemiliste reaktsioonide puhul. Näiteks sisaldub kivisöes suurel hulgal keemilist energiat, mis vabaneb söe põlemisel soojusena; samuti sisaldavad keemilist energiat lõhkeained, aga ka laetud akumulaator.

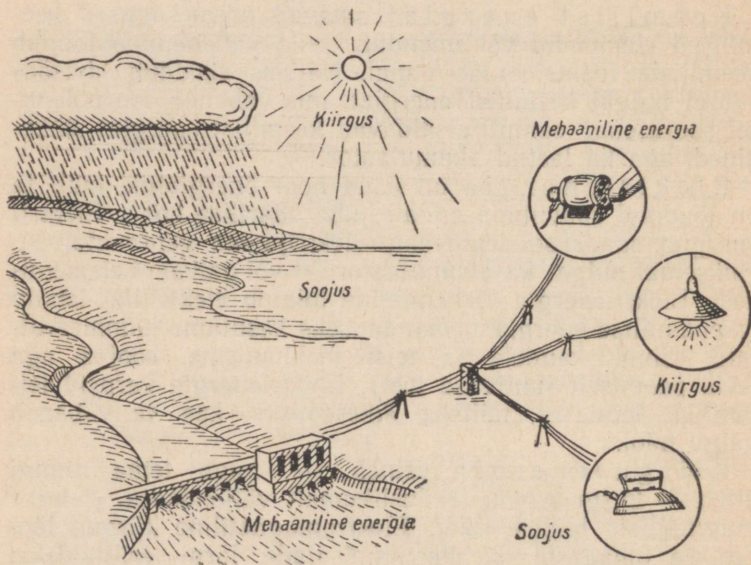
Elektrienergia on üsna noor energialiik, kuid ta on jõudnud saavutada endale juba väärilise koha. Elektrienergiat saadakse teatavasti elektriiaama generaatoreist, väiksemal hulgal ka akumulaatoreist või galvaani elementidest. Elektrienergia ülekandmine toimub elektriliini kaudu (mehaanilise energia ülekandmiseks kasutame hammasrat-taid, rihmülekandeid ja teisi mehhanisme, soojus aga levib peamiselt juhtivuse teel). Elektrienergia varusid leidub ka looduses, näiteks äikesepilves, kus ta vabaneb välgu näol.

Kiirgusenergia esineb — nagu tema nimigi ütleb — kiirguse või, teaduslikumalt väljendades, elektromagnetiliste lainete näol. Elektromagnetiline kiirgus jaotatakse omaduste ja kasutamisalade järgi eriliikideks: raadiolained, soojuskiirgus (soojuskiirguse teel annab Päike oma energiat Maale), röntgenikiired, valgus jne. Kõik need kiirgused kannavad endaga kaasas teatavat energiahulka. Kõige selgemini märkame seda päikesekiirguse puhul. Röntgenikiirgus on aga oma energia varal võimeline läbi tungima paksust metallikihist.

Tuumenergia ehk, nagu tavaliselt öeldakse, aatomenergia on peidus aatomituumades ja vabaneb alles tuumareaktsioonide puhul — aatomituumade purunemisel või liitumisel. Tuumenergia vabaneb, olgugi väga aeglaselt, ka radiumi kiirguse näol; äärmiselt äge tuumareaktsioon toimub aatomipommi lõhkemisel.

Ülalloetletud kuus energialiiki ammendavad kogu meid

ümbritseva mitmekesisuse. Kuid juba selle liigituse juures oli raske vältida mõisteid «energia vabanemine», «energia muundumine». Tõepoolest, energia üheks tähtsamaks omaduseks ongi võime muunduda ühest liigist teise. Näiteks võib elektrienergia elektripliidis või ahjus muunduda soojusenergiaks, elektrimootoris aga mehaaniliseks — liikumisenergiaks, neoontorus valguseks, s. t. kiirgusenergiaks, akumulaatori laadimisel aga keemiliseks energiaks. Muundumised võivad toimuda ka teiste energialiikide vahel.



Joon. 1. Energia muundumisi looduses ja tehnikas.

Energia muundumised alluvad raudsetele seadustele, millistest kõige olulisemaks on energia jäävuse seadus — üks tänapäeva loodusteaduse nurgakividest. Selle seaduse väljendas esialgsel kujul Mihhail Lomonossov enam kui kakssada aastat tagasi. Hiljem, XIX sajandil tegeles energia muundumistega rida loodusteadlasi ja see seadus omandas lõpliku kuju saksa teadlase Helmholtzi töödes. Energia jäävuse seadus kõlab järgmiselt: energia ei teki mittemillestki ega muutu

mittemillekski, ta võib ainult muunduda ühest liigist teise kindlas vahekorras.

Energia «tootmine» elektri jaamas või mujal — see on tegelikult ühe energialiigi muundamine teiseks, meile vajalikuks ja kasutamisel mugavaks liigiks. Energia tootmise ja jaotamise küsimustega tegeleb eriline tehnikaharu — energeetika, mis omakorda jaguneb elektroenergeetikaks, soojusenergeetikaks, hüdroenergeetikaks jne. On selge, et energeetikute üheks peaülesandeks on välja selgitada, misugused energia muundumised on kõige otstarbekohasemad ning kuidas neid läbi viia tehniliselt võimalikult lihtsalt ja odavalt.

Tänapäeval on põhimõtteliselt teostatavad peaaegu kõik vastastikused energialiikide muundumised, olgu siis laboratoorses või tööstuslikus ulatuses. Paraku ei ole igal muundamisel praktilist väärtust. Üheks põhjuseks võivad olla suured tehnilised raskused. Teame ju kõik, millised hiiglaslikud jõupingutused on pühendatud näiteks tuumaenergia rakendamisele. Teiseks põhjuseks võib olla muundumise väike kasutegur.

Kõik energialiigid muunduvad eriti hõlpsasti soojuseks (mehaaniline energia hõõrdumisel, elektrienergia voolu läbiminekul juhtmet, kiirgusenergia neeldumisel). Seetõttu tekib iga energia muundumise juures nii-öelda kõrvalsaadusena soojust: soojenevad mootorite laagrid, elektrimasinate mähised, kuumeneb põlev elektrilamp. Lisaks sellele jääb soojusmootorites osa kuuma auru või gaasi soojust kasutamata ja paisatakse välja kuumade gaaside või auruga.

Kogu see soojus hajub tavaliselt ümbruskonnas ja läheb meie jaoks kaotsi. Seetõttu on energia muundamisel saadud kasulik energia väiksem kulutatud energiast. Kasuliku energia ning kulutatud energia suhet nimetatakse energi muundava seadme, näiteks mootori, kasuteguriks.

Arvutame «elava mootori» — hobuse kasuteguri. Keskmise hobune suudab suurima jõudlusega töötades kaheksatunnilise tööpäeva vältel arendada võimsust 900 vatti (ühiikutest on juttu tagapool). Seejuures vajab hobune toiduaineid toiteväärtusega 36 000 kilokalorit. Seega kasutegur on

$$\frac{900 \text{ vatti} \times 8 \text{ tundi}}{36\,000 \text{ kilokalorit}};$$

võttes arvesse vastavaid seoseid ühikute vahel (vt. lk. 12), saame kasuteguri väärtuseks 17%. See on pisut väiksem automootori kasutegurist. Kasutamata jäänud energia eraldub osalt soojusena (higistamisel, hingehõhus jne.), osalt aga kulub keha sisemuses toimuvaks tööks (süda, kopsud jne.).

Üksikute muundumiste juures võib kasutegur ulatuda mõnest miljondikust protsendist kuni saja protsendini. On selge, et mida väiksemad on energiakaod, seda suurem on kasutegur — seda kasulikumalt töötab energiat muundav seade. Energeetikute töö seisabki suurelt osalt visas võitluses kadude vähendamise eest, võitluses iga protsendi ja selle murdosa pärast.

Tabelis on toodud lühike kokkuvõte tänapäeva teaduse ja tehnika saavutustest energia muundumiste alal, ära näidates energiat muundava seadme looduses ja tehnikas (näitena) ning suurima saavutatud kasuteguri. Tabelist on välja jäetud tuumaenergia kui liialt uus ja väheuuritud ning -rakendatud energialiik.

Seoses soojusenergia muundumistega on vaja puudutada veel üht olulist seadust, mis kannab tehnikas termininaamika II seaduse nime ning mille avastas prantsuse insener Sadi Carnot. Seadust võime sõnastada järgmiselt: soojust saab muundada mehhaaniliseks tööks vaid seal, kus on olemas temperatuuride vahe. Nii nagu vee-energiat saame rakendada vaid vee langemisel kõrgemalt niivoolt madalamale, nii võime ka tööd soojuse arvel saada vaid soojuse üleandmisel kuumemalt kehalt külmemale. Niisiis, et saada tööd, ei piisa üksnes soojusest, vaid on vaja ka külma.

Kui oletaksime, et termodünaamika II seadus ei kehti, siis oleks võimalik ehitada näiteks laevamootor, mis töötab mereveest võetava soojuse arvel, jahutades sealjuures merd. Kuna meres peitub tohutu palju soojust (olgugi võrdlemisi madalal temperatuuril), siis oleks selline mootor sama hea kui perpetuum mobile — igavese liikumise masin, mille leiutamise kallal on sajandite vältel oma päid murdnud tuhanded leidurid.

Kõigutamatud loodusseadused aga nõuavad, et soojusallika — mere kõrval oleks ka «külmaallikas» — jahutaja. Pealegi on saadav kasulik energia seda suurem, mida suurem on soojusallika ja jahutaja temperatuuride vahe.

ENERGIA MUUNDUMISED LOODUSES JA TEHNIKAS NING KASUTEGURID

Energia muundub ↓ →	mehaaniliseks		soojuseks		keemiliseks		elektriliseks		kiirguseks	
	looduses	tehnikas	looduses	tehnikas	looduses	tehnikas	looduses	tehnikas	looduses	tehnikas
Mehaaniline energia	liikumine	mehaaniline jõu- ülekanne 98%	hõõrdumine	külmutusmasin 25%		kõrge rõhu all arenevad reaktsioonid	hõõrdumise- elekter	elektri- generaator 97%	kristallide helen- dumine kõrge rõhu all	
Soojus-energia		sisepõlemis- mootor 40%	soojus- ülekanne	aurukatlad 95%		kõrgel temp. arenevad reaktsioonid		termo- element 10%	leek põlemisel	kehade kiirga- mine kõrgel temp. 10%
Keemiline energia	loomade lihaste- jõud 30%	plahvatus	põlemine	kütuse põletamine kolle- ktes 95%	keemilised reakt- sioonid	süntee- tilise ve- delekütuse tootmine 70%		akumu- laatorid, galvaani- elemen- did 85%	helendu- mine kõ- dunemisel, jaan- ussike	kemi- luminest- sents
Elektri-energia	elektri- line erosioon	elektri- mootor 96%		elektri- katlad, ahjud 99%		elektro- lüüs 80%		transfor- maator 99%		gaas- lahen- duslam- bid (neoon- lam- bid jt.) 12%
Kiirgus-energia	valguse- rõhk		atmosfää- ri, pin- nase ja vee soo- jenemine	päikese- katlad 10%	foto- süntees taimedes			foto- element 10%		foto- luminest- sents

Seoses tuumaenergia rakendamisega on vaja käsitleda veel üht loodusseadust, mis avastati alles käesoleva sajandi algul Albert Einsteini poolt ning mis loob seose aine ja energia jäävuse seaduste vahel. Seadus kõlab järgmiselt: energia muutumisega käib alati kaasas massi muutumine, kusjuures need muutused on omavahel kindlas vahekorras — $E=mc^2$, kus E tähendab energiat, m — massi, c on valguse kiirus.

Toodud seaduse alusel võib näiteks arvutada, kui suur on massi muutus ühe tonni kivisöe täielikul põlemisel. Sealjuures vabanev energiahulk on keskmiselt 6 miljonit kilokalorit, vastav massi muutus kolm kümnetuhandikku grammi. Kindlaks teha sellist kaalu muutumist tuha ja ligi nelja tonni põlemisgaaside (suitsu) kaalumise teel — on muidugi lootusetu ettevõte.

Väike massi muutumise määr on iseloomustav kõigile keemilistele protsessidele. Seevastu tuumareaktsioonide juures vabaneb energia hulgal, mis ei vasta enam mõnele sajamiljondikule osale massist, vaid juba mõnele sajandikule. Sellega ongi seletatav, kuidas tühise hulga tuumakütuse «põletamisel» võivad vabaneda tohutud energiahulgad. Tuumaenergiaga tutvume lähemalt tagapool — VI peatükis.

Vaatleme pisut lähemalt tähtsamaid tänapäeval kasutatavaid energialiike¹.

Üle poole kogu energiast kasutatakse tänapäeval otseselt soojusena — kütteks ning tööstuslikeks protsessideks. Sellised tööstusharud, nagu metallurgia, paberitööstus, toiduainetetööstus, klaasitööstus jt., vajavad suurel hulgal soojust sulatamiseks, keetmiseks, kuivatamiseks ja teisteks otstarveteks. Samuti on soojuse tarbijateks kommunaal-ettevõtted — saunad, sööklad, pesumajad, ja lõpuks elamud. Soojusenergia tootmiseks kasutatakse esmajoones kütuseid — kivisütt, turvast, gaasi, puitu, põlevkivi, naftat, mõnikord aga ka elektrienergiat.

Kõige mugavamaks energialiigiks on osutunud elektrienergia, ja seda esmajoones oma kasutamisevõimaluste mitmekesisuse poolest. Elektrienergiat võib väi-

¹ Ülevaate üksikute energialiikide kasutamise ulatusest annab joon. 82, lk. 146.

keste kadudega muundada mis tahes teiseks energialiigiks. Piisab, kui loetleda mõningaid näiteid:

muundamine mehaaniliseks energiaks: elektrimootorid tööstuses, põllumajanduses, transpordis, majapidamises;

muundamine soojusenergiaks: elektriahjud ja elektrikatlad tööstuses, elektrisoojendusriistad majapidamises;

muundamine keemiliseks energiaks: elektrolüüs keemiatööstuses, elektrometallurgia (metallide tootmine elektrolüüsi teel — selliselt toodetakse kogu maailma alumiinium ja elektrotehnikas kasutatav vask);

muundamine kiirgusenergiaks: raadio, televisioon, elektrivalgustus.

Elektri osatähtsus kasvab üha. Elektrijaamad on kujunenud keskusteks, mis varustavad energiaga tehaseid, elamuid ja põllumajandust. Seetõttu pöörame ka edaspidi erilist tähelepanu elektrienergia tootmisele. Tänapäeval saame suurima osa elektrienergiast soojuselektrijaamadest, mis kasutavad kütuste energiat; tunduvalt väiksema osa annavad veejõujaamad.

Umbes veerandi kogu energiast tarbib praegusel ajal transport — raudteed, laevad, autod, lennukid. Siin valitsevad esialgu mitmesugused soojusmootorid — autodel ja lennukitel sisepõlemismootor, raudteedel aurumasin ja diiselmootor, laevadel diiselmootor ja auruturbiin. Ka nemad kasutavad energiaallikana kütuseid — kivisütt, naftat ja naftasaadusi. Raudteetranspordis on üha suuremal määral võetud kasutusele ka elektrienergia.

Kogu energia tarbimine jaguneb tänapäeval üksikute rahvamajandusharude vahel ligikaudu järgmiselt:

metallurgia — 20—30%,

ülejäänud tööstus — 25—40%,

transport — 10—25% (sõltuvalt territooriumi suurusest),

kommunaalettevõtted, majapidamine, põllumajandus — 25—30%.

MÕNI SÕNA MÖÖTÜHIKUTEST

Edaspidi tuleb paratamatult kokku puutuda mõnede energia ühikutega, et saada ülevaadet energiavarudest ja nende vahetustest. Mehaanilise energia ühikuna kasutatakse sageli kilogramm-meetrit (kgm) — see on töö, mis sooritatakse ühekilogrammise raskuse tõstmisel ühe meetri kõrgusele.

Soojusenergiat mõõdetakse tavaliselt kilokalorites (kcal) — see on soojuse hulk, mis kulub ühe liitri vee soojendamiseks ühe kraadi võrra. 1 kg kivisütt annab põlemisel keskmiselt 6000 kilokalorit soojust.

Elektrienergiat mõõdetakse kilovatt-tundides (kWh) — seda ühikut on igaüks kohanud elektriarvel.

Kuna üksikud energialiigid võivad muunduda üksteiseks kindlate vahekordade alusel, siis võime ühe ja sama ühiku abil mõõta kõiki energialiike. Siinjuures valitsevad ühikute vahel järgmised vahekorrad:

$$1 \text{ kcal} = 427 \text{ kgm},$$

$$1 \text{ kWh} = 860 \text{ kcal}.$$

Peale energia ühikute on meil tegemist ka võimsusega. Mingi seadme võimsus — see on töö, mida seade sooritab ajaühiku, näiteks sekundi vältel. Praktikas kasutatakse kaht võimsuse ühikut: kilovatti (kW) ja hobujõudu (HJ). Nende vahekord on järgmine:

$$1 \text{ kW} = 1,36 \text{ HJ}.$$

Inimese keskmine võimsus kaheksatunnilise tööpäeva vältel ei ületa üht kümnendikku hobujõudu; automootorite võimsus on mõnekümnest mõnesaja hobujõuni; vedurite võimsus on mõnituhat hobujõudu.

Et illustreerida energia ühikute vahelisi vahekordi, toome mõne näite. Vanni valmistamiseks on vaja soojendada keskmiselt 100 liitrit vett 30 kraadi võrra. Selleks kulub soojust 3000 kcal, mis vastab mehaanilisele tööle $3000 \times 427 = 1\,280\,000$ kilogramm-meetrit. Sellest tööst piisaks, et tõsta inimene kaaluga 65 kilogrammi 19,7 kilomeetri kõrgusele, s. t. sügavaimast ookeani põhjast kõrgeima mäe tippu!

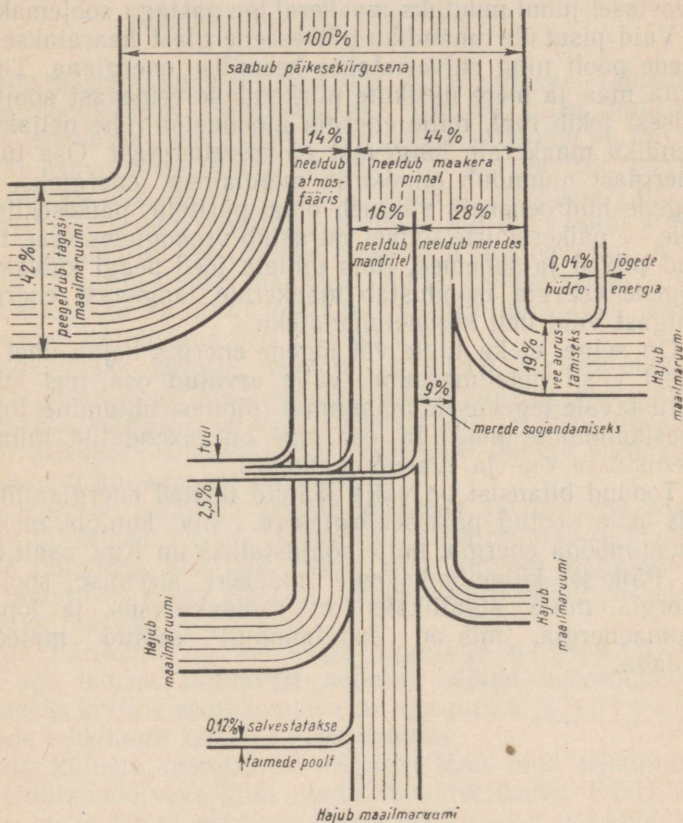
Kui inimene tahaks soojendada vannivett oma lihaste töö arvel, peaks ta töötama täie jõuga ümmarguselt 45 tundi, seega terve töönädala!

Toome veel ühe näite. Kilogrammis kivisöes peitub keskmiselt 6000 kcal energiat. Põletame selle söehulga elektri-jaama katla koldes. Olgu jaama kasutegur 30%, s. t. kaotsi läheb ühel või teisel kujul 70% kivisöes peituvast energiast. Siis muundub elektrienergiaks 1800 kilokalorit, mis vastab elektrienergia hulgale $1800 : 860 = 2,32$ kilovatt-tundi hinnaga 93 kopikat (tariifi puhul 40 kop/kWh). Sellest energiast jätkub tolmuimejale või elektriteekannule neljaks tunniks.

MAA ENERGIABILANSS

Nagu eespool nägime, on tänapäeval tähtsaimateks looduslikeks energiaallikateks maapõues ja maapinnal leiduvad, põhiliselt taimse päritoluga kütused ning jõgede voolava vee energia. Kasutamiskõlblike energiaallikate hulka kuuluvad veel tuul, merelained jt. Kõik need energiaallikad võlgnevad oma olemasolu Päikesele.

Päikesekiirguse näol langeb maakerale igal aastal kujuteldamatu energiahulk — 1330 kvintiljonit² kilokalorit. See



Joon. 2. Maa energiabilanss.

² Triljon on miljon miljonit (10^{12}), kvintiljon — miljon triljonit (10^{15}).

ületab 30-kordselt kõigi kütuste varud, mis on kogunenud maakeral miljonite aastate vältel. Maakerale langeva päikesekiirguse üldvõimsus on 174 triljonit kilovatti, seega 70 000 kW iga maakera elaniku kohta!

Päikeseenergia jagunemisest annab ettekujutuse joonisel 2 toodud skeem — energiabilanss. Ligi pool päikesekiirgusest peegeldub otsekohe tagasi maailmaruumi. Ülejäänud osa neeldub maakera pinnal või atmosfääris, muundudes sealjuures soojuseks. Kogu see soojusehulk hajub varem või hiljem atmosfääri kaudu taas maailmaruumi (vastasel juhul muutuks maakeral iga aastaga soojemaks!).

Vaid pisut üle tuhandiku päikeseenergiast haaratakse taimede poolt ning salvestatakse keemilise energiana. Tingituna maa ja mere üksikute piirkondade erinevast soojenemisest tekib tuul, mille energia moodustab ühe neljakümendiku maakeral langevast päikeseenergiast. Osa tuuleenergiast muundub omakorda merelainete energiaks. Ka jõgede hüdroenergia võlgneb oma päritolu päikesekiirgusele — päikesekiirte toimetel aurustub veekogudes vesi, tekiavad pilved ja sademed, ilma milleta jõed peagi kuivaksid. Jõgede energia moodustab maakeral langevast energiahulgast vaid neli kümnetuhandikku.

On selge, et ka tuule või jõgede energia hajub ühel või teisel viisil maailmaruumi, välja arvatud osa, mis kulub purustavale tegevusele maapinnal (pinnase uhtumine, tolmu edasikandmine jne.), ja osa, mis on rakendatud inimese teenistusse vee- ja tuuleõujaamades.

Toodud bilansist on välja jäänud mõned energiaallikad, mis pole seotud päikesekiirgusega. Siia kuulub merede tõusu-mõõna energia, mille põhjustajaks on Kuu, osalt aga ka Päikese külgetõmbejõud; maakera sisemise soojuse energia, mille algallikaks on radioaktiivsus, ja lõpuks tuumaenergia, mis on lahutamatult seotud mateeria endaga.

KÜTUSTE ENERGIA TÄNAPÄEVAL JA TULEVIKUS

KÜTUSED JA NENDE VARUD

Nagu nägime eelmises peatükis, on tänapäeval tähtsaimaks looduslikuks energiaallikaks kütused, mida inimene õppis kasutama juba ammu. Kütuste kasutamine on tänapäeval saavutanud tohutu ulatuse. Üksnes kivisöe tarvidus kasvas möödunud 75 aasta jooksul 10 korda. 1950. aastal toodeti kogu maailmas poolteist miljardit tonni kivi-sütt; selle koguse vedamiseks oleks vaja raudteerongi, mis ulatub 12 korda ümber maakera. Naftatoodang samal aastal ületas pool miljardit tonni ja suureneb üha; 1954. aastal toodeti naftat juba 670 miljonit tonni.

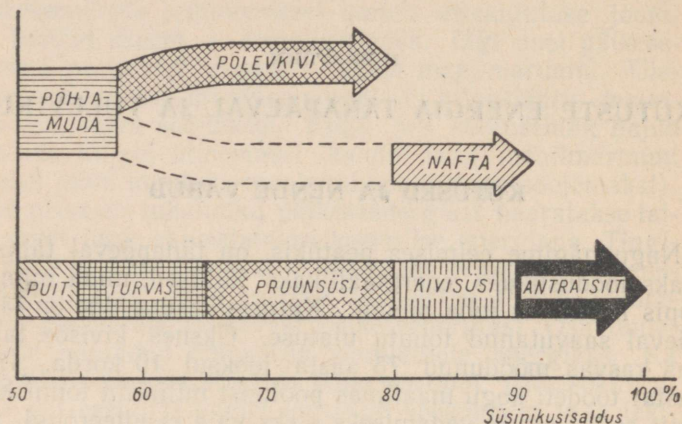
Tähtsaimaks kütuste seas on kivisüsi, mis annab ümmarguselt poole kogu maailmas kasutatavast energiast. Ka varude suuruselt on kivisüsi teiste kütuste seas ülekaalukalt esikohal: temale kuulub vähemalt üheksa kümnekümmend kogu kütustes varutud energiast.

Kivisüsi on tekkinud sadade miljonite aastate eest kasvanud taimedest. Kivisöeajastu üliilopsaka taimestiku kõdunevad jäänused, mis jäid hiljem neid katvate maakihtide alla, muutusid kõrge rõhu ja temperatuuri mõjul raskeks mustaks massiks — kivisöeks.

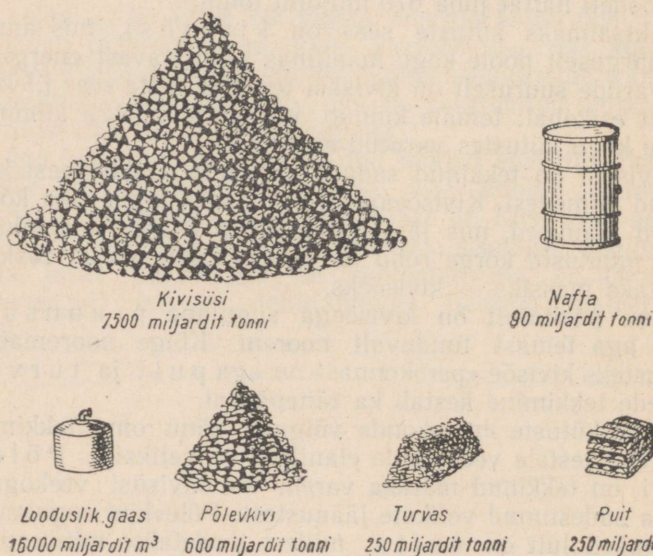
Oma päritolult on kivisöega sugulane pruunsüsi, olles aga temast tunduvalt noorem. Kõige nooremateks liikmeteks kivisöe «perekonnas» on aga puu ja turvas, millede tekkimine kestab ka tänapäeval.

Teine kütuste «perekond» võlgneb tänu oma tekkimise eest fillukestele veekogude elanikele — vetikaile. Põlevkivi on tekkinud märksa varem kui kivisüsi veekogude põhja sadestunud vetikate jäänustest. Põlevkivi sugulaseks oma päritolult on nafta, millest toodetakse mitmesuguseid teisi vedelkütuseid — petrooleumi, bensiini, diiseliõli jne. Nafta on samuti tekkinud põhjamudas leiduvatest

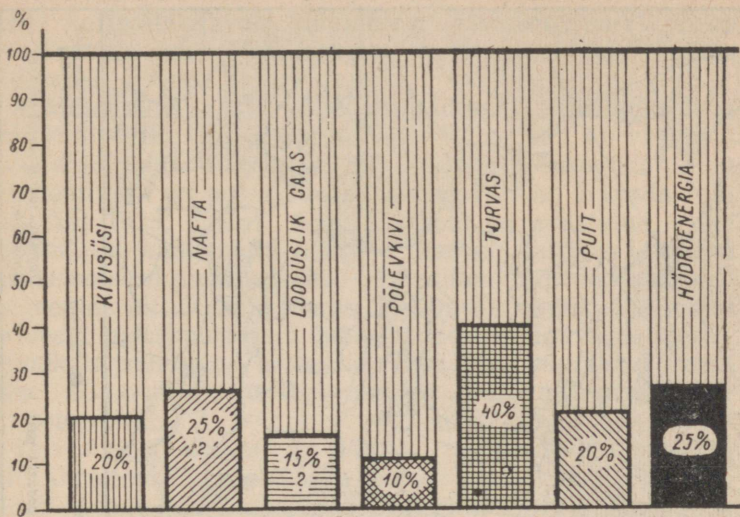
vetikatest, kuid erinevates tingimustes. Tuleb märkida, et nafta tekkimise küsimus on lõplikult lahendamata; mõnede teadlaste arvates on nafta tekkinud mitte vetikate jäänustest, vaid mineraalainetest.



Joon. 3. Kütuste kaks perekonda.



Joon. 4. Kütusevarud maakeral.



Joon. 5. Nõukogude Liidu energiavarud võrreldes maailmavarudega.

Naftaleiukohtades, aga ka mujal, tungib kohati maa-põuest välja looduslik gaas — samuti väärtuslik kütus.

Võrreldes kivisöega on kõigi teiste kütuste varud tunduvalt väiksemad. Ettekujutuse praegu teada olevaist kütusevarudest³ annab joon. 4.

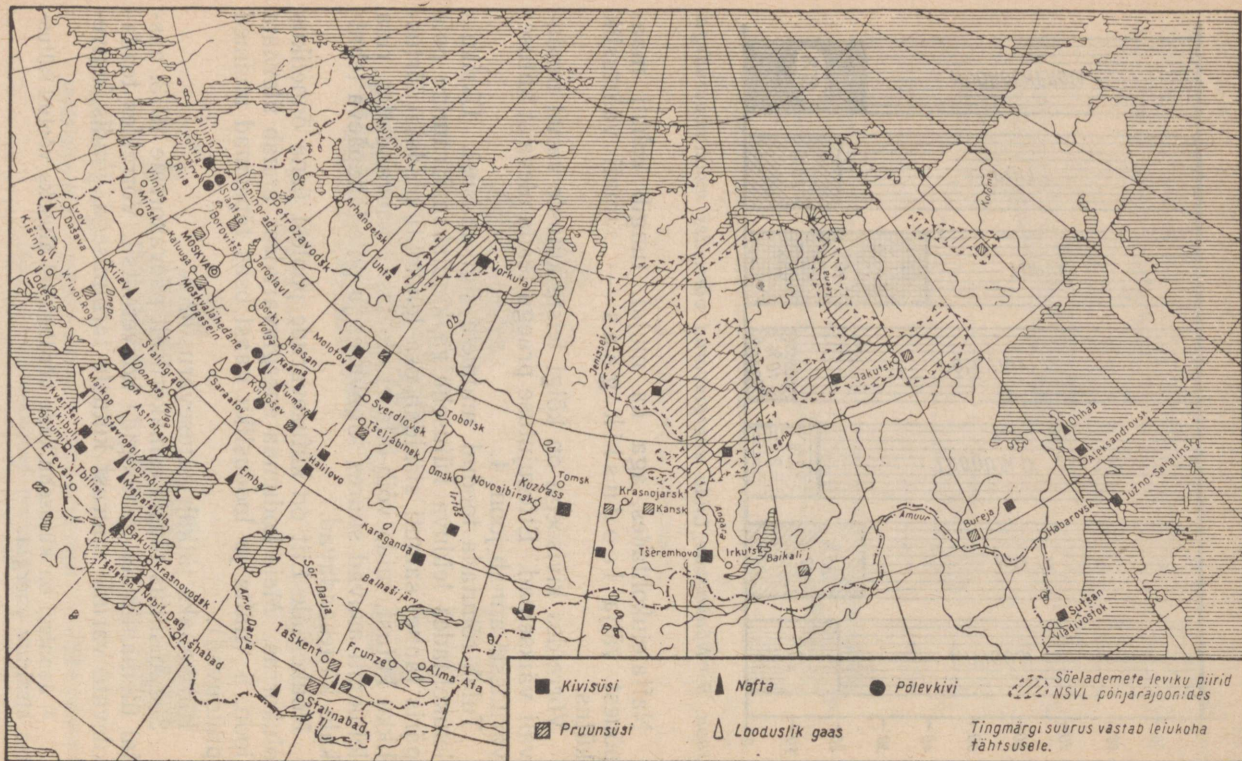
Tuleb rõhutada toodud andmete ligikaudsust. Üksikuis leiukohtades leiduva kütusehulga kindlaksmääramine pole päris täpne; samuti sisaldab osa leiukohti madalaväärtuslikku kütust, mida võib-olla ei ole tasuv kaevandada; rida leiukohti asuvad suures sügavuses ja pole tänapäeva tehnikale kättesaadavad.

Nõukogude Liit on kütusevarude poolest üsna õnnelikus olukorras. Meie kodumaa energiavarudest annab ülevaate joon. 5 (nafta ja loodusliku gaasi osas täpsemad andmed puuduvad).

Kui kauaks jätkub kütusevarusid?

See küsimus tõusis esmakordselt päevakorrale 1913. aastal ülemaailmsel geoloogide konverentsil. Võrreldes teadaolevate varude suurust kütuste tarbimisega, jõudis konve-

³ Joonisel on kütusehulkade võrdlemisel aluseks võetud kütustes sisalduv energia.



Ioon. 6. Nõukogude Liidu tähtsamad kütuste leiukohad.

rents kartusttekitavale järeldusele: kivisöövarusid piisab inimkonnale vaid 1500 aastaks, naftavarusid aga vähem kui sajaks aastaks.

Möödunud 40 aasta vältel on osutunud vajalikuks teha neis kaalutlustes palju parandusi. Kõigepealt on vahepeal avastatud palju uusi leiukohti. Näiteks Nõukogude Liidu territooriumil on praegu teada kivisöövarusid 7 korda rohkem kui 1913. aastal. Suuri varusid on avastatud — ja avastatakse kahtlemata veelgi — Aasias, Aafrikas ja mujal väheasustatud piirkondades. Ulatuslikud lademed peituvad ka merede all. Kaspia meres, Kalifornia rannikul ja mujal seisavad naftapuurtornid juba 20 meetri sügavuses meres. Tehnikale muutuvad kättesaadavaks üha suuremad maapõue sügavused; naftapuuraugud ulatuvad maa sisse 5 kilomeetrini.

Teiselt poolt kasvab ka kütuste tarbimine iga aastaga, eriti kiirelt nafta osas. Nafta tootmine kogu maailmas suureneb praegu iga aastaga 5 protsendi võrra, Nõukogude Liidus aga kaks korda kiiremini.

See sunnib meid pidama ülaltoodud järeldusi küllaltki usaldusväärseiks. Tänapäeva andmete alusel on põhjust oletada, et kivisöövarud maakeral on ammendatud 300—500 aasta jooksul, naftavarud aga hiljemalt 100—150 aasta jooksul. Teatav kütusepuudus peaks end tunda andma märksa varem. Üksikuis maades on olukord eriti raske. Inglismaa kannatab juba mõnda aega kivisööpuuduse all — kaevandused ei suuda katta tarvidust, samal ajal halveneb toodetava kivisöö kvaliteet. 100—200 aasta pärast on kaevandused tühjad. Ameerika Ühendriikides kardetakse peatset naftavarude lõppemist; osalt sellega on seletatav Ameerika monopolide suur huvi Lähis-Ida nafta vastu.

Mida aga tähendaks kütusevarude lõppemine? See ei tarvitse küll tähendada tsivilisatsiooni hukku — masendavaid pilte väljasurnud linnadest ja liikumatuks tardunud tehaseist, nagu neid armastavad maalida mõned kirjaniidud. Kahtlemata suudame selleks ajaks leida piisavalt uusi energiaallikaid.

Kuid ikkagi oleks kütuste lõppemine raskeks, peaaegu asendamatuks lõögiks. Kütused pole üksnes energiavarudeks; nad on sama tähtsad või veelgi tähtsamad keemiatööstuse toorainena. Tänapäeva keemiatööstus toodab üksnes kivisöö utteproduktidest sadu aineid: värve, arstimeid, lõhkeaineid, kunstlikku kautšukit, plastmasse jne. Tohutuid

kivisöehulki vajab metallurgia malmi tootmiseks. Sama väärtuslikuks tooraineks on nafta. Juba Mendelejev kirjutas: «Nafta pole kütus, kütta võib ka paberrahaga» — s. t. nafta põletamine on üliväärtusliku keemilise tooraine andestamatu raiskamine. Sama on kehtiv ka teiste kütuste kohta: kiirelt areneb turbakeemia, turbast saab toota juba 200 erinevat ainet; puit annab meile suhkrut, piiritust, tselluloosi, olles samal ajal üliväärtuslik ehitusmaterjal: paljutootavaid edusamme teeb põlevkivikeemia.

Kõik see kohustab meid olema kütustega ülimal määral säästlikud. Kui veel tsaari-Venemaal üle poole kogu energiast saadi puidu põletamisel — puiduküttel töötas nii aurukatlaid kui ka vedureid —, siis kasutatakse praegu puitu kütusena vaid vähesel määral, selle tõrjuvad välja turvas, kivisüsi ja gaas. Naftasaadusi kasutatakse kütusena vaid sõidukitel, kuna elektrijaamades on meil nafta kasutamisest loobunud. Suur osa elektrijaamu kasutab madalaväärtuslikke kütuseid — kivisöejääke, kolmanda sordi põlevkivi, turvast. 1950. aastal tootis Nõukogude Liit turvast 4 korda enam kui kõik kapitalistlikud maad kokku.

Siiski tuleb tunnistada, et madalaväärtuslike kütuste kasutamisega oleme kohati laskunud teise äärmisse — oleme suurendanud nende kütuseliikide tootmist ka seal, kus see end majanduslikult ei õigusta. Näiteks Moskva-lähedase basseini pruunsüsi on isegi transportimisel 200 km kaugusele tunduvalt kallim Donbassi kivisööst selle transportimisel 1000 km kaugusele (võrdlemisel on aluseks võetud mitte kütuse kaal, vaid energiahulk). Kapitaalmahutused uute kaevanduste rajamiseks on aga Moskva-lähedases basseinis isegi 2,5 korda suuremad!

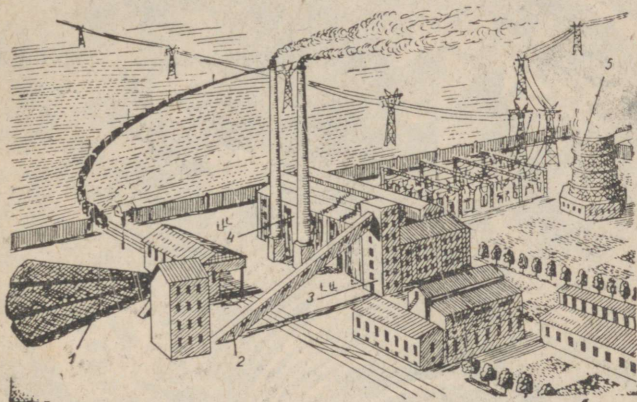
Samal ajal oleme tugevasti maha jäänud kõige odavama ja mugavama kütuse — loodusliku gaasi tootmises, mis nõuab 16 korda vähem kapitaalmahutusi kui kivisüsi. Käesoleval viisaastakul laiendatakse tunduvalt loodusliku gaasi tootmist. Uute kaevanduste rajamist Moskva-lähedases basseinis, aga ka mõnes teises rajoonis, tuleb piirata.

Muidugi peame varem või hiljem võtma kasutusele ka madalaväärtuslikud kütused. Ent selleks on vaja rakendada uusi, eesrindlikke meetodeid, näiteks allmaagaasistamist.

Kütuste lõppemise oht, kuigi praegu veel küllaltki kauge, vajutab oma pitseri kogu energeetikale ja kohustab pingutama jõude kütuste paremaks ärakasutamiseks, ühtlasi ka uute energiaallikate leidmiseks ning rakendamiseks.

SOOJUSELEKTRIJAAMAD JA NENDE ARENG

Käesoleval ajal ületab maailma kütuste aastatoodang 3 miljardit tonni. Sellest hulgast üks viiendik põletatakse soojuselektrijaamade koldeis. Kogu maailma elektrienergia toodangust annavad ligi kolm neljandikku soojuselektrijaamad ja vaid 27 protsenti hüdroelektrijaamad.



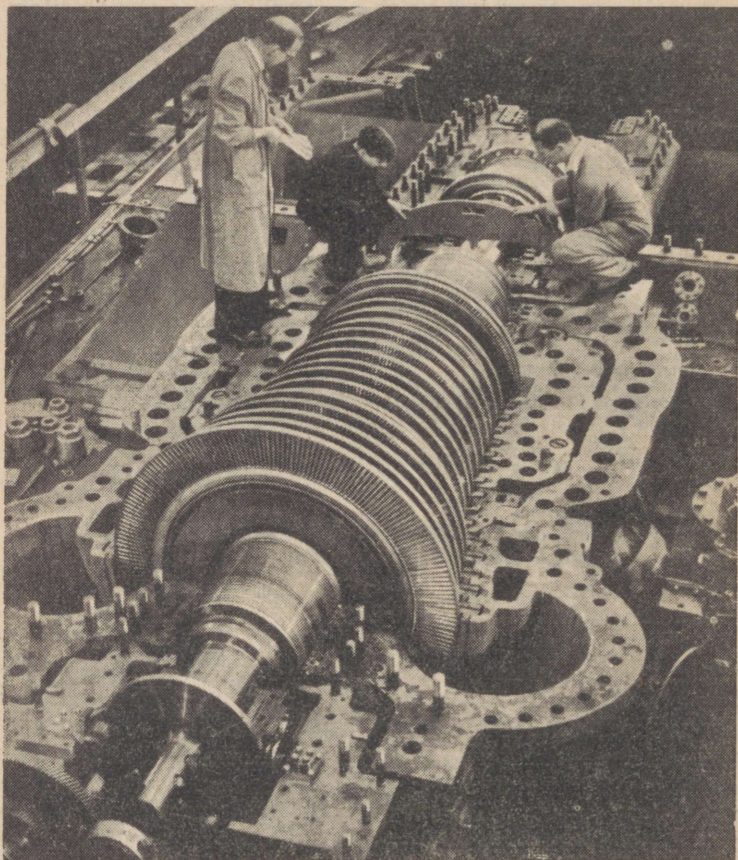
Joon. 7. Soojuselektrijaam: 1 — kütuseladu, 2 — transportöör, 3 — kütuse jahvatamine, 4 — katlamaja, 5 — jahutustorn.

Kuidas töötab tänapäeva moodne soojuselektrijaam? Kaevandusest saabuv kütus viiakse kütuselattu, sealt rändab see transportöörliintide abil kütusepunkritesse. Edasi järgneb kütuse peenendamine kuul- või šahtveskites peeneks tolmuks, et kergendada tema põlemist (kasutatakse ka põletamist tükkidena). Edasi viib kütuse tee küttekolde, kus ta ära põleb. Põlemisel vabaneb kütuse keemiline energia ja muundub soojuseks. Põlemisgaasid kuumendavad aurukatla torusid, kulgedes edasi korstnasse. Aurukatlais aurustub vesi.

Kaasaegsed aurukatlad on hiiglavõimsusega ja suurejoonelised ehitised. Ameerika Ühendriikides on ehitamisel aurukatel, mis annab auru rõhuga 422 atmosfääri ja temperatuuriga 650 kraadi. Torude üldpikkus katlas on 240 kilomeetrit! Katel toodab 700 tonni auru tunnis, s. t. igas sekundis muutub seal auruks ligi 200 liitrit vett. Selline

katel üksi neelab ööpäevas 2400 tonni, s. o. 2 rongitäit kivisütt.

Aurukatlast saadav aur juhitakse auruturbiini, kus ta paneb pöörlema turbiini tööratas (turbiini labidatega



Joon. 8. Auruturbiin (ülemine kaas on eemaldatud).

varustatud tööratas on joonisel 8 hästi näha). Seega toimub siin soojusenergia muundamine mehaaniliseks. Turbiini pöörlemiskiirus on tavaliselt 1500 või 3000 pööret minutis. Auruturbiin on ühendatud elektrigeneraatoriga,

milles mehaaniline energia muundub elektriliseks — generaator annab elektrivoolu.

Kaasaja suurimate auruturbiinide ja elektrigeneraatorite võimsus ulatub 275 000 kilovattini, see on ümmarguselt 3 miljoni inimese võimsus! Kuna aga masin võib töötada ööpäevas 24 tundi, siis võime öelda, et selline turbiin asendab ligi 10 miljoni inimese lihaste jõu. Ühest sellisest generaatorist piisaks mitme Tallinna-suuruse tööstuslinna elektrienergiaga varustamiseks:

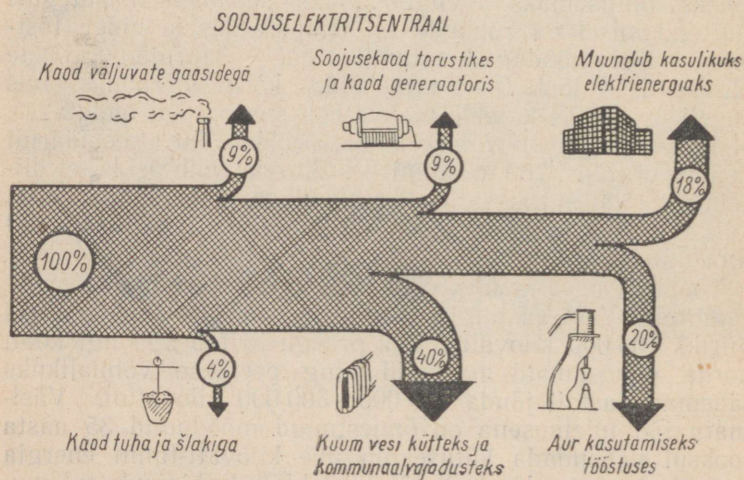
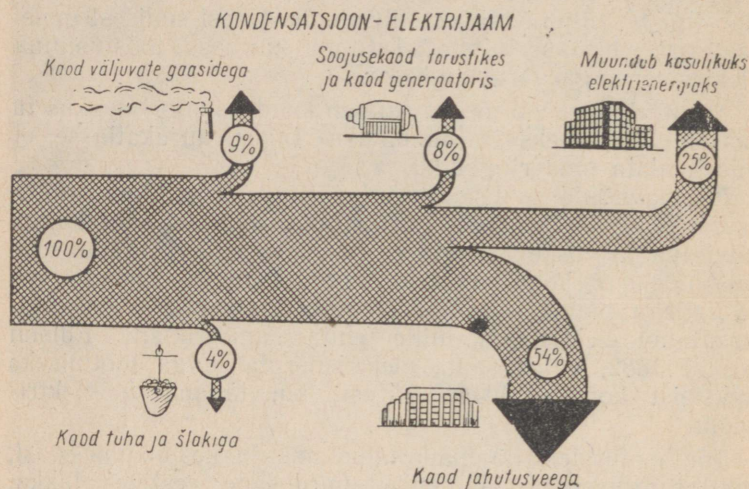
Auruturbiinist väljuv aur kulgeb kondensaatorisse, kus ta taas muutub veeks ja pumbatakse tagasi aurukatlasse, et uuesti alata oma ringkäiku.

Et saavutada selliseid peadpööritavaid tehnilisi näitajaid, selleks on soojuselektrijaamad pidanud läbi käima huvitava ja raske arengutee. Inseneride üheks peamiseks ülesandeks on kogu aeg olnud energiakadude vähendamine ja sellega jaama kasuteguri suurendamine. Esimene üldkasutatav elektrijaam, mille ehitas ameeriklane Edison aastal 1882, vajas sama elektrienergia hulga tootmiseks kaksteist korda rohkem kütust kui tänapäeva elektrijaam!

Töö soojuselektrijaamade täiustamiseks kestab üha edasi, võitlus protsentide ja nende murdosade eest ei lakka. Üheks olulisemaks arengusuunaks seadmete kasuteguri suurendamisel on rõhkude ja temperatuuride pidev tõstmine. Kui möödunud sajandi algul — aurujõuseadmete algpäevil — loeti 3—4 atmosfääri kõrgeks rõhuks, mis sageli põhjustas katelde plahvatusi, siis praegu oletatakse, et lähemal ajal on võimalik tõsta rõhku 500 atmosfäärini ja temperatuuri 700 kraadini. Võrdluseks võib öelda, et diiselmootori silindris valitseb plahvatuse ajal kümme korda väiksem rõhk; temperatuuril 700 kraadi on aga katla torud tumepunased.

Töötatakse välja üha võimsamaid auruturbiine ja generaatoreid. Veel aastat 15 tagasi peeti võimsuse ülemiseks piiriks 100 000 kilovatti; juba praegu töötab aga ligi kolm korda võimsamaid masinaid ning peetakse võimalikuks lähemal aastail jõuda 400 000—500 000 kilovattini. Väsimatu töö tulemusena on õnnestunud möödunud 35 aasta jooksul vähendada kütusekulu ühe kilovatt-tunni energia tootmiseks kolmekordselt; ülalkirjeldatud abinõude tulemusena loodetakse saavutada veel mitukümmend protsenti kokkuhoidu.

Suur töö on käimas soojusjõujaamade mehhaniseerimisel ja automatiseerimisel. Moodsaimat elektrijaama võimsusega 600 000 kilovatti teenindab vaid 8 inimest vahetuses, sellal kui veel hiljuti sama suur jaam vajas mitusada inimest.



Joon. 9. Kütuse energia kasutamine tavalises soojuselektrijaamas ja soojuselektritsentraalis.

Võib väita, et kuigi soojuselektrijaamad on jõudnud kõrge tehnilise täiuslikkuseni, ei ole piir veel kaugeltki saavutatud.

Energia säästliku kasutamise seisukohalt on suure tähtsusega nn. soojuselektritsentraalid või lühendatult «tetsid» (lühend on tuletatud vene keelest). Soojuselektritsentraalis ei juhitata turbiini läbinud auru kondensaatorisse, vaid kasutatakse kütteks või tehnoloogiliseks otstarbeks. Mitmed tööstused vajavad suurel hulgal kuuma auru, näiteks paberi- ja toiduainetetööstused. Neid varustab soojuselektritsentraal kuuma auruga. Kommunaalettevõtted — saunad, pesumajad ja sööklad, samuti elamud saavad kuuma vett kütteks ja muudeks otstarveteks. Sellega saavutatakse suur energiasääst, samuti muutub elanikkonna teenindamine hoopis mugavamaks — kaob vajadus varustada iga hoonet ahjude või keskküttekateldega.

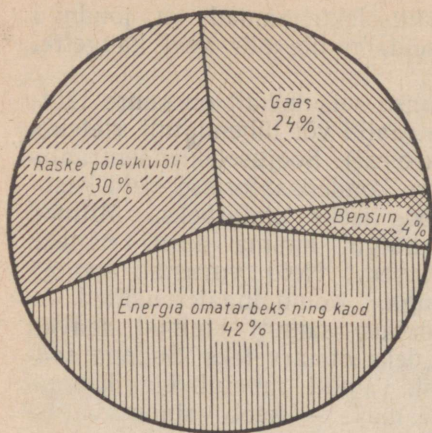
Soojuselektritsentraalid on eriti laialt levinud Nõukogude Liidus. Üks kolmandik meie kodumaa elektrijaamadest annab tarbijaile elektrienergia kõrval ka soojust.

KÜTUSTE ENERGOTEHNOLOOGILINE KASUTAMINE

Tänapäeva energeetika üheks iseloomustavaks jooneks on gasifitseerimine — gaasilise kütuse üha laialdasem kasutamine. Gaasi kujul on kütus kergemini transporditav: gaasijuhtmete ehitamisega vabaneb raudtee suurest koormusest. Samuti on gaasi mugav kasutada nii kommunaal- ja tööstusettevõtete ahjudes kui ka koduses majapidamises. Gasifitseerimine kergendab nii tehase katlakütja kui ka koduperenaise tööd; linnade õhk vabaneb suitsust ja tahmast.

Kõik need asjaolud põhjustavad gaasi tarbimise üha suuremat kasvu. Näiteks kasvab Nõukogude Liidus kuueandal viisaastakul gaasi tootmine ligi neljakordseks. Suure osa sellest annab looduslik gaas, ülejäänud osa toodetakse esmajoones gaasitehastes. Ka meie põlevkivibasseinis rajatakse uus Ahtme gaasitehas põlevkivi gaasistamiseks, lisaks olemasolevale Kohtla-Järve gaasitehasele.

Ent gaasi tootmine gaasitehaseis toimub küllaltki ebaökoonoomselt. Toodetavale gaasile antakse üle keskmiselt vaid pool kütuses sisalduvast energiast. See teeb gaasi hinna kõrgeks.



Joon. 10. Põlevkivigaasikombinaadi energiabilanss.

Joonisel 10 kujutatud bilanss annab ülevaate põlevkivis peituva energia ärakasutamisest põlevkivigaasikombinaadis (kombinaat koosneb utmistehasest, mis toodab põlevkiviõli, ja gaasitehasest). Raske põlevkiviõli ümbertöötamisel mootoriõliks ja muuks väärtuslikuks toodanguks läheb kaduma veelgi energiat, nii et kombinnaadi üldine kasutegur ei ületa 40 protsenti. Teiste sõnadega, kolm viiendikku kütuses peituvast energiast läheb kaotsi.

Samal ajal põletatakse tohutul hulgal kütuseid elektri- jaamad katelde all, kusjuures aurule antakse edasi kuni 90 protsenti kütuse energiast. Sealjuures läheb aga täielikult kaduma kütuse keemiliselt väärtuslik osa.

Et ühendada kõigi kütuse kasutamiseviiside väärtuslikke omadusi, asuti välja töötama nn. energotehnoloogilisi meetodeid. Lihtsaima meetodi puhul kuumutatakse algul kütust kiirelt umbes 600-kraadise temperatuurini ilma õhu juurdepääsuta. Sealjuures eralduvad nii õliaurud kui ka gaas. Kütuse ülejääk suunatakse otsekohe aurukatla koldeesse ning põletatakse. Seega energotehnoloogiline seade kujutab endast kombinatsiooni utmis- ja gaasitehasest ning elektrijaamast.

Uue meetodi rakendamise esimeseks tulemuseks on tunduv kütusesääst. Elektrienergia ja gaasi ühendatud tootmisel kulub näiteks põlevkivi poolteist korda vähem, kui neid eraldi tootes. Ühtaegu annab seade suurel hulgal kõrgeväärtuslikku vedelkütust (bensini) ja muid keemiatööstusele vajalikkeprodukte. Selle tagajärjel langeb toodangu omahind vähemalt ühe kolmandiku võrra (k o g u toodangu kohta kokkuvõetuna — nii elektrienergia kui ka gaasi osas).

Samal ajal vähenevad tugevasti kapitaalmahutused:

energotehnoloogiline seade on tunduvalt odavam gaasitehasest ja vajab mitu korda vähem metalli. Uue meetodi üldine rakendamine võimaldaks lähema 10—15 aasta jooksul säästa rahvamajandusele umbes 30 miljardit rubla.

Kütuste energotehnoloogilise kasutamise eelised võimaldavad muuta tasuvaks rea madalaväärtuslike kütuste kasutamise (Moskva-lähedase basseini pruunsüsi, Volga basseini põlevkivi).

Kui kaaluda kõiki neid eeliseid, siis pole imestada, et kütuste energotehnoloogilisele kasutamisele pööratakse viimaseil aastail üha suuremat tähelepanu. Nõukogude Liidu Teaduste Akadeemia Energeetika Instituudis töötati välja uued meetodid tahke kütuse suure kiirusega gaasistamiseks. Ehitati rida katseseadmeid turba-, pruunsöe- ja põlevkivikuttega. Neist töödest võtab osa ka meie vabariigi põlevkivibassein. Kiviõlis töötab juba pikemat aega pooltööstuslik katseseade, projekteerimisel on võimsam seade Kohtla-Järvele.

Ameerika Ühendriikides töötab rida tööstuslikke seadmeid pruunsöe energotehnoloogiliseks kasutamiseks. Ent kuna seal on külluses odavat looduslikku gaasi, siis ei paku gaasi tootmine huvi. Kütusest eraldatakse enne põletamist esmajoonel vedelproduktid — keemiatööstusele väärtuslik osa.

Gorki oblastis, kombinaadis «Vahtan» töötab juba mitmendat aastat tööstuslik seade puidu kasutamiseks. Puidu kuumutamisel saadud aurudest püütakse kinni keemiliselt väärtuslik osa — piiritus, äädikhape, tõrv — ja ülejääk suunatakse katla koldesse.

Kütuste kasutamine ühtaegu gaasi, vedelproduktide ja elektrienergia tootmiseks on üks olulisemaid teid meie kütusevarude säästmiseks. Ent sellega ei piirdu kaugeltki teadlaste ja inseneride loov fantaasia. Juba on kavandatud seadmeid, kus üheaegselt kütuse põlemisega katla koldes toimub metallide eraldumine maakidest. See töötab tuua tõelise pöörde kogu metallurgiasse. Jääme ootama nende julgete mõtete teostamist.

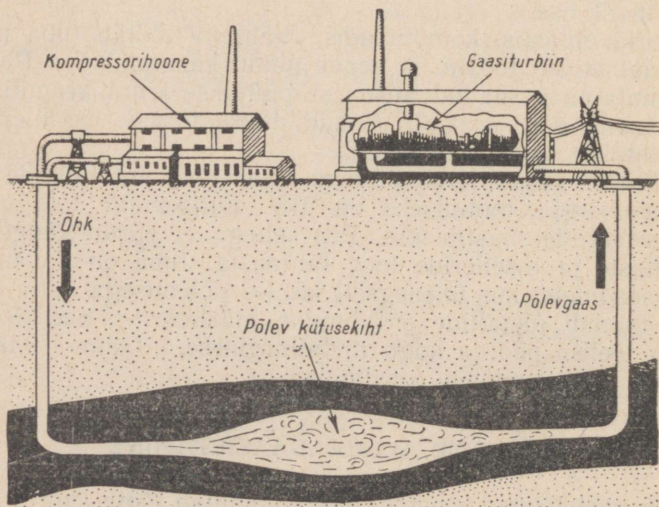
KÜTUSTE ALLMAAGAASISTAMINE

On veel teinegi meetod, mis võimaldab toota suurel hulgal gaasi madala väärtusega kütustest. See on kütuste allmaagaasistamine.

Gaasi tootmisel näiteks kivisöest kuumutatakse kütust koos vähese õhuhulgaga gaasigeneraatoris kõrge temperatuurini. Samalaadne protsess leiab aset toaahjus, kui sulgeme siibri liiga vara: toimub kütuse mittetäielik põlemine vähese õhuhulgaga, mille tulemusena tekib vingugaas, mis omakorda võib põleda. Sama vingugaas on üheks olulisemaks koostisosaks tavalises majapidamisgaasis.

Enne gaasistamist gaasitehas on kütus vaja maa alt välja tuua. Selleks rajatakse kaevandus keerukate seadmetega — kaevandusmasinate, tõstukite, transportööride ja kaevandusraudteega ning maa all töötava kaevurite armeeaga. Ka gaasitehas ise kujutab endast suurt ja keerukat ehitust.

Juba möödunud sajandi lõpul tegi vene keemik Mendelejev ettepaneku lihtsustada gaasi tootmise protsessi, gaasistades kütust otse selle leiukohas, maa all. Uuesti tõstis selle mõtte üles inglise keemik William Ramsay, kes 1912. aastal esitas kivisöe allmaagaasistamise projekti. Ramsay ettepaneku kohaselt tuleb puurida maapinnalt kivisöelademeni mitu puurauku; ühe kaudu neist surutakse lademesse kompressori abil õhku, kütus ise aga süüdatakse näiteks elektriliselt. Maa all hakkab arenema kütuse mittetäielik



Joon. 11. Kütuse allmaagaasistamine puuraukude kaudu.

põlemine — samalaadne protsess nagu gaasitehase generaatoris. Teise puuraugu kaudu hakkab maapinnale tungima gaas, kus ta jahutatakse, «pestakse» ebasoovitavate lisandite eemaldamiseks ja juhitakse tarbijani.

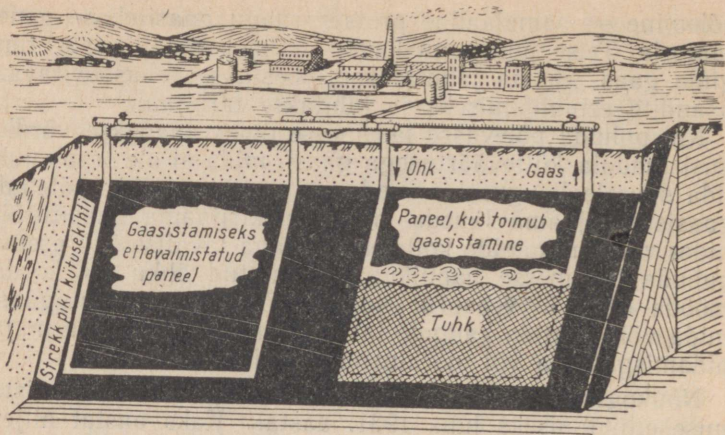
Kui puhuda põlevasse lademesse õhku, saadakse võrdlemisi madala kütteväärtusega gaasi, mida ei ole tasuv juhtida suurele kaugusele. Saadavat gaasi on sobiv põletada gaasistamisjaama lähedal asuva elektrijaama gaasiturbiinides või aurukatelde kolletes. Kui aga tavalise õhu asemel puhuda lademesse hapnikuga rikastatud õhku või kordamööda õhku ja veeauru, saame kõrgeväärtusliku gaasi, mida võib juhtida kaugete tarbijateni ning kasutada majapidamisgaasina või toorainena keemiatööstuses.

Nõukogude Liidus alustati töid kütuste allmaagaasistamise elluviimiseks juba 1931. aastal. Kaks aastat hiljem süüdati kütus Moskva-lähedase kütusebasseini esimeses maa-aluses gaasigeneraatoris. Edasised katsed andsid nii-võrd edukaid tulemusi, et 1938. aastal asus Donbassis, Gorlovkas tööle esimene tööstuslik seade. Sõjajärgseil aastail on neid töid edukalt jätkatud. Peatselt rakendatakse allmaagaasistamist ka meie vabariigi põlevkivibasseinis. Siiski pole kõigi nende tööde ulatus veel kaugeltki küllaldane.

Töid kütuste allmaagaasistamise alal on teostatud ka reas välisriikides — Ameerika Ühendriikides, Itaalias, Belgias, Marokos ja mujal.

Kütuste allmaagaasistamiseks on olemas mitu meetodit. Esimestel katsetustel püüti liiga kramplikult kinni hoida maapealsetest eeskujudest — gaasitehastest. Et luua sõe gaasistamiseks maa all samasuguseid tingimusi nagu gaasitehase generaatoris, raiuti süsi lahti või purustati lõhkelaengutega. Need katsed ei andnud soovitud tulemusi.

Juba Mendelejev oli soovitanud gaasistada kütuselademeid tervikuna. See kaugelenägelik ettepanek rakendati nüüd ellu. Insener Drago meetodi kohaselt rajatakse maapinnalt kütusekihini šahtid, kütusekihti aga raiutakse üksteisega rööbiti kaks strekki (kaevanduskäiku), mis ühendatakse ühest otsast kolmanda strekiga — põlemisstrekiga (vt. joon. 12). Käikudevahelist kütusekihi osa nimetatakse paneeliks. Nüüd süüdatakse kütus põlemisstreki ühes otsas ja hakatakse ühe streki — õhustreki kaudu andma lademesse õhku. Põlemisstrekis kütus põleb ja gaasistub; põlemisrinne nihkub paneelis pikkamööda edasi õhu- ja



Ioon. 12. Kütuse allmaagaasistamine ins. Drago meetodil.

gaasistreki vahel, kuna mahajäetud osa kütusekihist täitub tuhaga.

Selle meetodi puuduseks on vajadus sooritada maa-aluseid töid — rajada šahte ja strekke. Märksa otstarbekam oleks teostada gaasistamist maapinnalt puuritavate puuraukude kaudu, nagu oli ette nähtud Ramsay esialgses projektis. Raskus on siin selles, et kivisöekiht ei lase läbi õhku ega gaase. Puuraukude meetod on leidnud rakendamist pruunsöe puhul Moskva-lähedases kütusebasseinis. Pruunsüsi on suhteliselt urbane ja laseb teataval määral õhku läbi. Kui põlemine on juba alanud, siis praguneb söekiht kuumuse mõjul ja õhu läbilaskvus suureneb veelgi.

Puuraukude esialgseks ühendamiseks võib kasutada ka suruõhku või elektrivoolu.

Tänapäeva tööstuse ja transpordi tohtu mootorite armee vajab üha suuremal hulgal vedelkütuseid. Seoses sellega pakuvad suurt huvi rootsi inseneride tööd põlevkivi maaaluseks utmiseks. Vedelkütuse tootmisel põlevkivist kuumutatakse seda ilma õhu juurdepääsuta kõrge temperatuurini. See protsess, mis toimub tavaliselt maa peal, utmistehase generaatoris, viidi läbi otse põlevkivikihis, maa all. Kõrge kuumuse tekitamiseks kasutati elektrivoolu.

Kütuste allmaagaasistamisega lööme n.ö. mitu kärbest ühe hoobiga. Kõigepealt vabaneme vajadusest rajada kae-

vandust — vabaneb suur hulk tootmistehnikat ning tööjõudu, kaevurite raske maa-alune töö läheb minevikku. Allmaagaasistamise seadet võib täielikult automatiseerida, selle juhtimiseks vajame väga vähe tööjõudu.

Teiselt poolt osutub võimalikuks kasutada madala väärtusega kütuste ning õhukeste kütusekihtide tohutuid varusid, mida praeguste meetoditega ei tasu kaevandada. Seetõttu suurenevad aga kasutamiskõlblikud kütusevarud mitmekordseiks.

TEISI TEID GAASI TOOTMISE LAIENDAMISEKS

Lisaks eespoolvaadelduile on veel teisigi teid gaasiga varustamise parandamiseks. Viimasel paaril aastakümnel kasutatakse üha laialdasemalt looduslikku gaasi, mida tungib välja maapõuest esmajoones naftaleiukohtade läheduses. Kohati jäävad aga suured loodusliku gaasi hulgad kasutamata, kuna kohapeal puuduvad tarbijad. Loodusliku gaasi juhtimiseks tarbijateni ehitatakse pikki gaasiühemeid (näiteks Nõukogude Liidus ehitatakse praegu magistraalgaasijuhet Dašava—Leningrad üldpikkusega üle 1500 kilomeetri).

Maailma tähtsaimate naftatootmise piirkondade hulka kuuluvad Irak ja Saudi-Araabia. Siin lähevad iga päev kaotsi miljonid kuupmeetrid looduslikku gaasi. On tehtud ettepanek ehitada hiiglaslik gaasijuhe läbi Türgi, Bosporuse väina alt läbi, Kreeka ja Jugoslaavia kaudu Kesk-Euroopa tööstuspiirkondadesse — Põhja-Itaaliasse, Prantsusmaale, Lõuna-Saksamaale ja isegi La Manche'i väina alt läbi Inglismaale.

Selle gaasijuhtme üldpikkus oleks neli tuhat kilomeetrit ja läbilaskevõime 28 miljonit kuupmeetrit gaasi ööpäevas (see võrdub Nõukogude Liidu ööpäevase gaasitoodanguga 1955. aastal). Kas suudetakse ületada sellise gaasijuhtme rajamise tehnilised, veel enam aga majanduslikud raskused, on raske ennustada.

*

Aeg-ajalt vilksatab ajakirjanduses sõnumeid umbes taoliste pealkirjadega: «Plahvatus Belgia kivisöökaevanduses. Surmasaanute arv ulatub sadadeni.» Siinjuures pole tege-

mist lõhkeainetega oskamatu ümberkäimisega, vaid kaevandusgaasi plahvatamisega. Kaevandusgaas, mis oma koostiselt on lähedane looduslikule gaasile, peitub kivisöekihtide poorides ning vabaneb sealt kivisöe lahtiraiumisel. Segunedes õhuga moodustab kaevandusgaas plahvatusohtliku segu, mis on olnud paljude raskete kaevandusõnnetuste põhjustajaks.

Tavaliselt eemaldatakse kaevandusgaas tugeva ventilatsiooni teel. Ent on tekkinud mõte kaevandusgaasi mitte kaevandusest välja juhtida, vaid koguda ja rakendada kasulikuks otstarbeks — kütusena. Ühe tonni söe kaevandamisel vabaneb kuni 1000 kuupmeetrit gaasi, millest väike osa tuleb lahtiraiutud söest endast, suurem osa aga immitseb kihist välja pragude kaudu. Selles gaasihulgas sisaldub rohkem energiat kui kaevandatud kivisöes endast!

Taolisi seadmeid kaevandusgaasi kogumiseks on ehitatud Belgia kaevandusrajoonides. Saadud gaas «lahjendatakse» ja suunatakse linnade gaasivõrku. Lääne-Saksamaal, Ruhri piirkonnas kasutatakse kaevandusgaasi veeldatud kujul sõidukite kütusena ja majapidamises.

On olemas veel lihtsam võimalus. Kuna kaevanduste ventilatsiooniõhk sisaldab teataval hulgal kaevandusgaasi, siis kujutab ta endast õigupoolest küttesegu, mida võib põletada elektriijaama gaasiturbiinides.

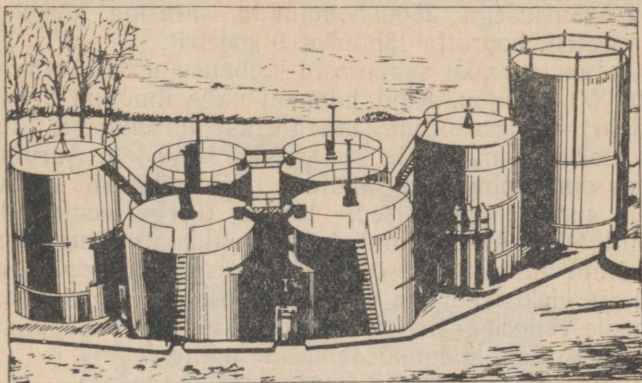
Kaevandusgaasi otstarbekas kasutamine võib anda rahvamajandusele miljardeid kuupmeetreid kõrgeväärtuslikku gaasi.

*

Rea Lääne-Euroopa riikide, eriti Lääne-Saksamaa ja Inglismaa põllumajanduslikes rajoonides on levinud nn. bioloogilise gaasi ehk biogaasi tootmine mitmesuguseist põllumajanduslikest jäätmetest — laudasõnnikust, õlgedest, juurviljajääkidest jne. Selleks lastakse neid jäätmeid käärida silotornide taolistes tsisternides. Samuti võib biogaasi tootmiseks kasutada piirituse-, suhkru- või pärmitestaste jäätmeid.

Käärimisel tekib bakterite tegevuse tagajärjel ühe kilogrammi kuivaine kohta 200 kuni 600 liitrit kõrgeväärtuslikku gaasi, mida võib kasutada loomasöödade ettevalmistamiseks, kütteks ja toidu valmistamiseks ning isegi suurepärase kütteinena traktoritele ja autodele. Näiteks ühe

lehma sõnniku arvel saab toota päevas 2 kuupmeetrit gaasi, millest piisab väikesele majapidamiseks. Peale käärimist kõlbavad jäätmed veel põlluväetiseks.



Joon. 13. Seade bioloogilise gaasi tootmiseks (Lääne-Saksamaal).

Joonisel 13 on kujutatud suur seade biogaasi tootmiseks, mis annab ööpäevas üle tuhande kuupmeetri gaasi. Keskel on näha neli käärimistsisterni, nende kõrval 2 tsisterni lähtematerjalile, paremal gaasihoidla.

Suurlinnades on võimalik toota gaasi — roiskvetest! Nimelt roiskvete puhastamisel settimisbasseinides setib basseini põhja muda, milles bakterite toimel võib tekkida üsna kõrgeväärtuslik gaas. Päevane gaasitoodang linna roiskvete arvel võib olla kuni 20 liitrit elaniku kohta.

Kogu rahvamajanduse ulatuses ei suuda bioloogiline gaas muidugi mängida kuigi suurt osa. Ent biogaasi tootmine võib siiski anda tõhusa lisa maarajoonide varustamiseks odava ja mugava kütusega.

SOOJUSMOOTORID TÄNAPÄEVAL

Alates esimestest kohmakatest auruautodest kuni tänapäeva ülikiirete reaktiivlennukiteni on transpordis valitse nud mitmesugused soojusmootorid. Kõik nad kasutavad kütuste energiat.

Vanim soojusmootoritest — kolbaurumasin — on oma

aja lõplikult üle elanud. Oli kord aeg, kus aurumasin valit-
ses tööstuses, laevadel ja raudteedel ning saavutas kül-
laltki kõrge arenguastme. 1876. aastal oli ülemaailmsel
näitusel Philadelphias välja pandud tolle aja suurim auru-
masin võimsusega 2500 hobujõudu. Masina kõrgus oli
13,5 meetrit, hooratta läbimõõt 9 meetrit.

1900. aasta paiku saavutasid kolbaurumasinad võimsusi
üle 10 000 hobujõu. Kuid juba oli neile ilmunud kardetav
võistleja — auruturbiin, mis tõrjus aurumasinat kiiresti
välja elektrijaamadest ja seejärel ka laevadelt. Aurumasin
säilitas oma koha vaid raudteel. Siin pääsesid tugevasti
mõjule aurumasinat eelised: lihtsus (kerge teenindada ja
remontida!), suur töökindlus, vastupidavus ilmastikuolu-
dele. Kuid viimastel aastatel tõrjutakse auruvedurid välja
diisel- ja elektrivedurite poolt. Ameerika Ühendriikides on
üle poole veduripargist varustatud diiselmootoritega, sama
teed läheb meie kodumaa tehniline areng.

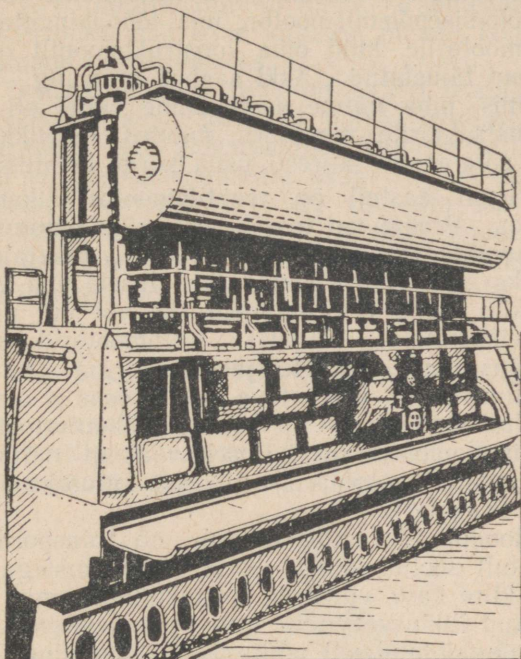
Diiselmootori põhiliseks eeliseks võrreldes aurumasinaga
on tema suurem kasutegur. Raudteetransport Nõukogude
Liidus tarbis 1950. aastal ligi kolmandiku kogu toodetavast
kivisöest; samal ajal muundus paremates veduri auru-
masinates kasulikuks tööks vaid 7—8 protsenti kütuse
energiast. Diiselveiduri kasutegur on aga 3 korda suurem.
Kuigi diiselmootor vajab väärtuslikumat vedelkütust, saa-
vutame siiski suurt kütuse säästu.

Auruturbiin ja diiselmootor alustasid oma arenguteed
peaaegu üheaegselt — sajandivahetusel. Üsna pea kaju-
nes nende vahel välja teatav «tööaotus». Auruturbiin osu-
tus kõige sobivamaks jõumasinaks elektrijaamades, kuigi
tema kasutegur on madalam kui diiselmootoril. Elektri-
jaamas vajame suure võimsusega masinaid, diiselmooto-
reid ei ole aga võimalik ehitada suuremale võimsusele kui
20 000 HJ. Selline diiselmootor on aga keerukas, mitme-
kordse maja kõrgune masin, sellal kui sama võimas auru-
turbiniin on suhteliselt lihtne ja kompaktne.

Laevadel on auruturbiinid saavutanud samuti laialdase
leviku. Suurte reisi- ja sõjalaevade turbiiniseadmete võim-
sus ulatub 200 000 hobujõuni (sellest võimsusest piisaks
ligikaudu meie vabariigi varustamiseks elektrienergiaga).
Väiksematel võimsustel on laevamootorina auruturbiinile
konkurendiks diiselmootorid.

Vedureil ei ole auruturbiinid seevastu leidnud nimetamis-
väärset levikut. Reas maades on ehitatud ja töötab juba

aastaid üksikuid, katseotstarbeks ehitatud auruturbiinvedureid, kuid nad pole ikkagi katsejärgust välja jõudnud ja neile pole ette näha erilist tulevikku. Auruturbiiniga veduri puudusteks on kõrge hind, keerukas käsitsemine ja remont.



Joon. 14. Diiselmootor võimsusega 18 000 HJ. Masina pikkus on 12 m, kõrgus 8 m, kaal 200 tonni.

Automootoreina on juba üle poole sajandi ausalt oma kohust täitnud sisepõlemismootorid, milles kütusena kasutatakse bensiini. Diiselmootori kütus — diiselnافت — on küll odavam kui bensiin, kuid teiselt poolt on diiselmootor bensiinimootorist raskem. Seetõttu on diiselmootorid leidnud kasutamist peamiselt raskeveoautodel ja autobussidel. Traktorimootorid on oma arengus läinud üldiselt sama teed nagu automootorid, kuid diiselmootorite osatähtsus on siin suurem.

Enne Teist maailmasõda ehitati mõnedes maades (Saksa-

maa, Ameerika Ühendriigid jt.) aurumasinatega varustatud autosid ja autobusse. Nende peamiseks eeliseks on kütuse odavus — auruauto lepib mis tahes kütusega. Ent sama eelis on ka gaasigeneraatoriga varustatud autol, mistõttu auruauto on siiski välja tõrjutud.

Lennukimootorina valitses nelja aastakümne vältel jagamatult kolb-sisepõlemismootor, mis tööpõhimõttelt sarnanes automootorile, kuid oma konstruktsioonilt oli viimse võimaluseni täiustatud. Äkki saabus murrang. Reaktiivmootor, mis juba mitme aastakümne vältel oli eksisteerinud konstruktorite mappides, muutus tegelikkuseks ja saavutas sõja-aastail kiiresti üsna kõrge tehnilise taseme.

Sõjajärgseil aastail on reaktiivmootor jätkanud oma võidukäiku. Praegu on ta sõjalennuväes muutunud pea-aegu ainuvalitsevaks. Tsiviillennuväes — reisijate ja kaupade veoks — võetakse samuti kasutusele üha uusi reaktiivlennukite tüüpe (meenutagem kas või uut nõukogude reaktiiv-reisilennukit TU-104). Kolbmootorid säilitavad oma tähtsuse vaid üksikutel juhtudel.

Lennukimootoreis kasutatava kütuse osas ei ole aga toimunud olulist pööret — nii kolb-sisepõlemismootoreis kui ka reaktiivmootoreis on kütuseks ikkagi naftasaadused (välja arvatud stratosfääriraketid, kus kütuseks on piiritus ja muud erisegud).

Nagu toodud ülevaatest nähtub, on transpordi saatus lahutamatult seotud kütuste, eriti vedelkütustega. Naftatootmise kiire kasv viimaseil aastakümneil ongi esmajoonel tingitud liiklusvahendite arvu suurenemisest, eriti sõja ajal. Mõningail andmeil võttis Teisest maailmasõjast osa kokku umbes 50 miljonit mootorit (lennukeil, tankidel, autodel ja teistel sõidukitel).

Kogu maailma mootorite üldvõimsus (tööstuses ja transpordis kokku) ulatub praegu tohutu väärtuseni — 20 miljardit hobujõudu (8 HJ iga maakera elaniku kohta). Enamik sellest mootorite armeest kasutab vedelkütust.

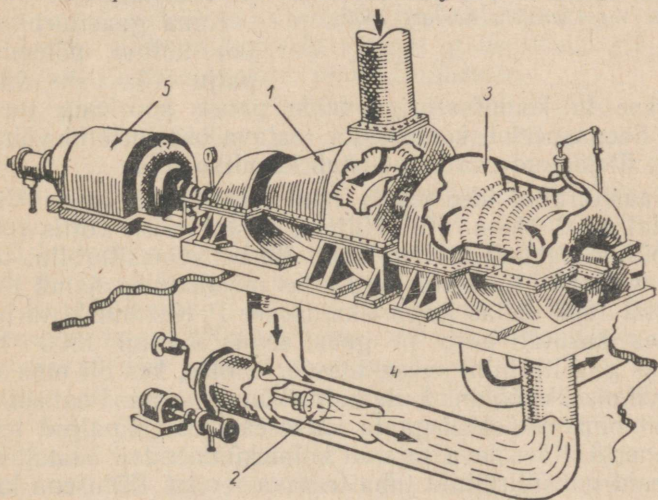
Kütuste säästmise seisukohast on suur tähtsus transpordi elektrifitseerimisel. Elektritrammid ja trollibussid on linnade sisetranspordis juba palju aastakümneid tähtsal kohal. Üha enam elektrifitseeritakse ka magistraalraudteid, eriti suure koormusega liinidel. Meie kodumaa põldudele on ilmunud esimesed sajad elektritraktorid. Vähesel määral kasutatakse linnades akumulaatoritega elektriautosid.

Raudteede elektrifitseerimine võimaldab juba praegu säästa miljoneid tonne kütust. Kui asendada auruvedurid elektriveduritega, mis saavad voolu soojuselektrijaamast, väheneb üldine kütusekulu 2—3 korda. Praegu tarvivad auruvedurid üle veerandi kogu meie kodumaal toodetavast kivisöest, s. t. üle 100 miljoni tonni. Raudteede täielikul elektrifitseerimisel säästetud kütusest piisaks kõigi soojuselektrijaamade varustamiseks.

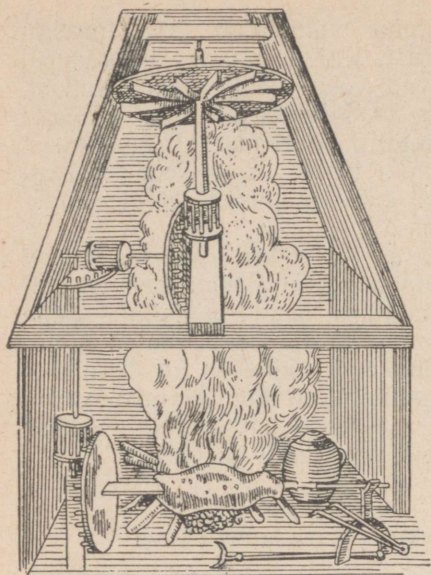
Teiste transpordiliikide osas on elektri osatähtsus veel tühiselt väike. Praegu töötavad paljud teadlased elektrienergia traadita teel ülekandmise küsimuse kallal. Selle probleemi edukas lahendamine avaks hoopis uued välja-vaated autode ja traktorite, aga võib-olla ka lennukite arengule. Millal see aga teostub? Võib-olla omandame juba enne seda kerge ja mugava aatomimootori sõidukite jaoks? Sellele küsimusele on praegu veel raske vastata.

UUS SOOJUSMOOTOR — GAASITURBIIN

Kütuste energotehnoloogiline kasutamine on vaid üks soojusenergeetika uutest arengusuundadest. Eespool vaatlesime tänapäeval kasutatavaid soojusmootoreid, nende



Joon. 15. Gaasiturbiini ehitus: 1 — kompressor, 2 — kütusepihusti ja põlemiskamber, 3 — turbiin, 4 — töötanud gaaside väljumistoru, 5 — turbiini poolt käitatav elektrigeneraator.



Joon. 16. Gaasiturbiini põhimõttel töötav praevarda pööraja (Leonardo da Vinci projekt aastast 1500).

rakendusalasid ja arenguväljavaateid. Auruturbiinile ja sisepõlemismootorile on aga ilmunud uus kardetav võistleja — gaasiturbiin.

Milline on gaasiturbiini töö põhimõte? Oma ehituselt meenutab ta tugevasti auruturbiini. Ent kui auruturbiini tööratas paneb pöörlema kuum aur, mis saadakse aurukatlast, siis gaasiturbiini puhul juhitakse tööratas labidatele põlemisel tekkinud kuumad gaasid (joon. 15). Põlemine toimub erilistes põlemiskambrites; kütusena sobivad esmajoones gaas ja vedelkütused.

Kuna gaasiturbiin vajab kütuse põlemiseks palju õhku, siis varustatakse ta kompressoriga, mida paneb pöörlema turbiin ise. Seega neelab kompressor teatava osa turbiini võimsusest, ülejäänud osa moodustab kasuliku töö.

Gaasiturbiini idee tekkis esimesena Leonardo da Vincil aastal 1500 (joon. 16). Hiljem, aastal 1791, võttis gaasiturbiinile patendi inglase John Barber. Gaasiturbiini tegeliku valmishitamiseni jõuti alles möödunud sajandi lõpul. Aastal 1897 ehitas laevastikuinsener P. Kuzminski turbiini, milles kasutati auru ja gaasi segu. Aastail 1900—1904 ehitas gaasiturbiini saksa insener Stolze, kes oli oma idee elluviimiseks töötanud üle kolmekümne aasta. Peatselt esinesid oma projektidega ja katseseadmetega paljud teised insenerid. Käesoleva sajandi kolmekümnendail aastail saavutasid gaasiturbiinid juba teatava leviku. Kütusena kasutati esialgu peamiselt metallurgiaettevõtete jääkgaasi.

Peamiseks raskuseks gaasiturbiinide ehitamisel oli sobivate materjalide puudumine tööratas labidate jaoks. Gaa-

side temperatuur gaasiturbiinis ulatub 600—750 kraadini ja enamgi. Raske oli leida metallisulameid, mis oleksid sellistel temperatuuridel omanud küllaldast tugevust.

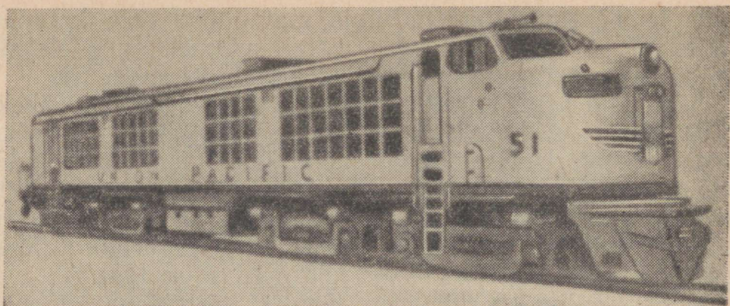
Siin tulid appi teised asjaolud. Gaasiturbiin on üheks tähtsamaks mehhanismiks kaasaegses lennuki turboreaktiivmootoris. Seetõttu abistasid Teise maailmasõja päevil ja sõjajärgseil aastail reaktiivmootori arendamisele suunatud tohutud jõupingutused ühtlasi tahtmatult gaasiturbiini arengut. Osalt tänu sellele on gaasiturbiinid tänapäeval saavutanud juba üsna kõrge tehnilise taseme.

Gaasiturbiinil on rida suuri eeliseid võrreldes teiste soojusmootoritega, eriti transpordi jõuallikana, aga ka kohtkindla seadmena. Gaasiturbiin on suhteliselt väike ja kerge (see on väga tähtis sõidukitel!), ta on ökonoomne ja lihtne käivitada. Moodsate gaasiturbiinide kasutegur ulatub 30—35 protsendini, sellal kui auruturbiiniga jõuseadme kasutegur ei ületa 35 protsenti, diiselmootoril aga 40 protsenti. Võrreldes diiselmootoriga on gaasiturbiin hoopis väiksem ja kergem.

Neil põhjustel on eriti viimase 10—15 aasta vältel gaasiturbiinidele pööratud üsna suurt tähelepanu. Juba 1938. aastal ehitas šveitsi firma «Brown Boveri» 4000-kilovatilise võimsusega gaasiturbiini elektrijaama jaoks. Nõukogude Liidus projekteerisid gaasiturbiine prof. Makovski ja Uvarov. Aastal 1939 projekteeriti võimas gaasiturbiin kivisöe allmaagaasistamise seadme jaoks Donbassis.

Praegu on kogu maailmas olemas üle 200 võimsa, enam kui tuhandehobujõulise gaasiturbiini elektrijaamades ja teistes statsionaarsetes seadmetes (pumbajaamad, kompressorid jt.). Nende turbiinide koguvõimsus ulatub üle miljoni kilovati. Võimsaim turbiinidest omab võimsust 27 000 kilovatti ning töötab kasuteguriga 32 protsenti, mis ületab parimad sama võimsusega auruturbiinidega seadmed. Ka Nõukogude Liidus toodetakse mitut tüüpi gaasiturbiine, näiteks 12 000 kW gaasiturbiine töötamiseks allmaagaasistamisel saadud gaasiga.

Gaasiturbiini tulevikuväljavaadete kohta tehakse spetsialistide poolt üsna optimistlikke ennustusi. Elektrijaamade jõuallikana omandab gaasiturbiin väiksematel võimsustel (15 000—30 000 kilovatti) kindlasti suure tähtsuse. Siin on tal ilmseid eeliseid võrreldes auruturbiin-seadmega. Näiteks võimsusel 5000 kW tuleb gaasiturbiiniga elektrijaam 20—40 protsendi võrra odavam, kütusekulu on väik-



Joon. 17. Gaasiturbiiniga varustatud vedur võimsusega 4500 HJ.

sem ja jaama hoone maht väheneb kolmekordselt. Pealegi teenindab sellist elektrijaama üksainus inimene vahetuses. Mõnede spetsialistide arvates võib aga gaasiturbiin võistelda auruturbiiniga isegi suurematel võimsustel kuni 100 000 kilovatini. Vastavad suure võimsusega gaasiturbiinide projektid on juba olemas.

Suure tähtsuse omandab gaasiturbiin jõuallikana raudteel. Esimene gaasiturbiiniga vedur ehitati aastal 1941 Šveitsis; veduri võimsus oli 2200 HJ ja tema kasutegur ületas auruveduri kasuteguri $2\frac{1}{2}$ -kordselt. Praegu töötab paljude maade raudteedel gaasiturbiin-vedureid võimsusega kuni 8000 hobujõudu. Kuigi nad on hinnalt diiselveduritest pisut kallimad ja nende kasutegur on halvem, on nende eeliseks tunduvalt väiksem kaal ja kergem hooldamine. Üksnes Ameerika Ühendriikide ühel raudteeliinil töötab praegu edukalt 25 gaasiturbiin-vedurit, mis veavad ülliraskeid, kuni 85 vagunist koosnevaid ronge.

On loodud rida gaasiturbiinidega varustatud laevade projekte. Üksikuid laevu on sellise jõuseadmega juba varustatud. Näiteks Inglismaal varustati 1951. aastal tanklaev «Auris» 1200-hobujõulise gaasiturbiiniga. Hiljuti jõuseade rekonstrueeriti ja gaasiturbiin asendati uue, 5500 HJ turbiiniga.

Ka laevadel on gaasiturbiinil teatavad eelised. Ühel kaatril asendati auruturbiiniga jõuseade gaasiturbiin-seadmega. Kuigi uue seadme kasutegur oli pisut madalam (13,5% endise 16% asemel), olid selle kaal ja mõõtmed sama võimsuse juures 5 korda väiksemad! See aga võimaldas paigutada laevale tunduvalt võimsama jõuseadme.

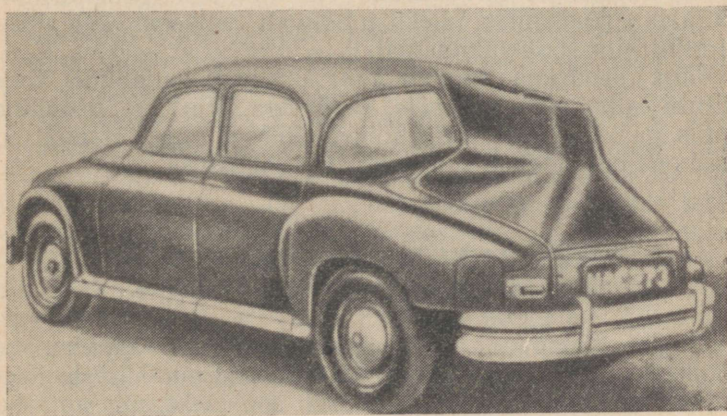
Siiski seisab gaasiturbiinil ees raske võitlus enda õigustamiseks laevade jõuallikana, eriti tsiviillaevastikus. Kuna gaasiturbiin vajab vedelkütust, siis tuleb tal konkureerida esmajoones diiselmootoriga. Tänapäeva laeva-diiselmootor on äärmiselt ökonoomne, töökindel ja töötab aastate viisi ilma remondita. Gaasiturbiini väiksem kaal ja mõõtmed ei mängi kaubalaeval kuigi suurt osa. Neil põhjustel on gaasiturbiini kasutamiseks laevastikus märksa vähem väljavaateid kui näiteks raudteel.

On ehitatud ka eksperimentaalseid gaasiturbiin-autosid, kuid need pole jõudnud kaugemale katsejärgust. Pearaskus seisab siin selles, et auto vajab üsna väikese võimsusega turbiini. Väikesel turbiinil on aga väike kasutegur. Selle eest on gaasiturbiinil väga väike kaal ja maht. See võimaldab ehitada auto väiksemana ja kergemana, mis omakorda vähendab kütusekulu.

Joonisel 18 on kujutatud firma «Rover» eksperimentaalne sõiduauto, mille 120-hobujõuline gaasiturbiin kütatab kütust 19—20 liitrit 100 km kohta, see tähendab peaaegu sama palju kui sama võimsusega tavaline automootor.

Gaasiturbiin-mootor töötab praktiliselt müratult, mootori väljalaskegaasides puudub mürgine vingugaas.

Kuigi leidub ka pessimiste, on enamik asjatundjaid siiski veendunud, et gaasiturbiinil on auto jõuallikana suur tulevik.



Joon. 18. Firma «Rover» sõiduauto 120 HJ gaasiturbiiniga.

Gaasiturbiini kasutamist piirab mõningal määral kütuse probleem — eks vaja ta jälle defitsiitset vedelkütust või gaasi. Ent juba on välja töötatud meetodeid tahke kütuse, näiteks kivisöetolmu põletamiseks gaasiturbiinis. Raskus on siin selles, et tahke kütuse põletamisel satub koos gaasidega turbiini ka tuhk. Tuhaošakesed kulutavad aga turbiini labidad üsna ruttu läbi. Selle vältimiseks on olemas kolm viisi:

1) tahke kütuse põletamisel tekkivaid gaase ei suunata otse turbiini, vaid kasutatakse neid õhu (või mõne teise gaasi) kuumutamiseks, mis suunatakse siis turbiini labidatele. Siinjuures lisandub terve rida abiseadmeid, mis muudavad gaasiturbiin-seadme keerukaks ja kalliks;

2) kütus gaasistatakse gaasigeneraatoris ja saadud gaas põletatakse turbiinis. Ka see viis teeb seadme kogukaks ja vähendab ühtlasi kasutegurit;

3) kütus põletatakse tolmana ja puhastatakse enne turbiini labidatele sattumist mingil viisil tuhast.

Kõige rohkem väljavaateid tundub olevat kolmandal meetodil. Igall juhul on põhjust loota, et ka tahke kütuse gaasiturbiinis põletamise probleem peagi lahendatakse.

Inglismaal töötab juba mõnda aega huvitav gaasiturbiin-seade, milles kütusena kasutatakse peenendatud turvast. Seni ajani on seade end näidanud heast küljest.

Turbaküttega gaasiturbiinide kasutamine tundub ahvatlevana eriti Nõukogude Liidu tingimustes, kus on käepärast rikkalikud turbavarud. Turbaküttega gaasiturbiinjõujaama maksumus tuleks tunduvalt väiksem kui auru-turbiinidega soojusjõujaamal.

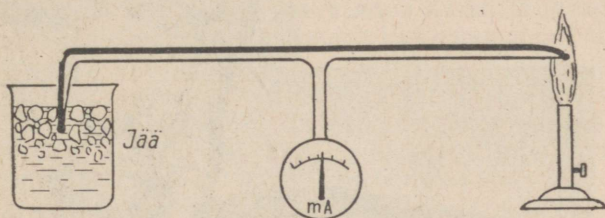
Väga soodsana tundub gaasiturbiini kasutamine koos kütuse allmaagaasistamise seadmega. On ju gaasiline kütus gaasiturbiinile eriti sobiv. Pole kahtlust, et taolised seadmed omandavad tulevikus suure tähtsuse.

SOOJUSE JA KÜTUSTE ENERGIA OTSENE MUUNDAMINE ELEKTRIENERGIAKS

Kõigis tänapäeva soojuselektrijaamades kasutatakse põhiliselt sama energia muundumise skeemi: kütuste keemiline energia muundub põlemisel soojuseks, mis antakse edasi auru või põlemisgaaside kaudu ja muundatakse mehaaniliseks energiaks, see omakorda muundub elektri-

generaatoris lõpuks elektrienergiaks. Nagu näha, üsna pikk ringtee, mille juures igal muundumisel paratamatult esinevad kaod. Ühtlasi kujuneb soojusjõujaam suureks ja kalliks.

Kas ei oleks võimalik soojusenergiat otseselt, ilma vaheastmeteta, muundada elektrienergiaks? See mõte on juba õige vana. Enam kui saja aasta eest, aastal 1822 avastas saksa füüsik Thomas Johann Seebeck nn. termoelektrinähtuse. Kui joota otsapidi kokku kaks erinevast metallist traati või riba ja kuumutada üht jootekohtadest, teist samal ajal külmas hoides, siis tekib ahelas elektriline pinge.

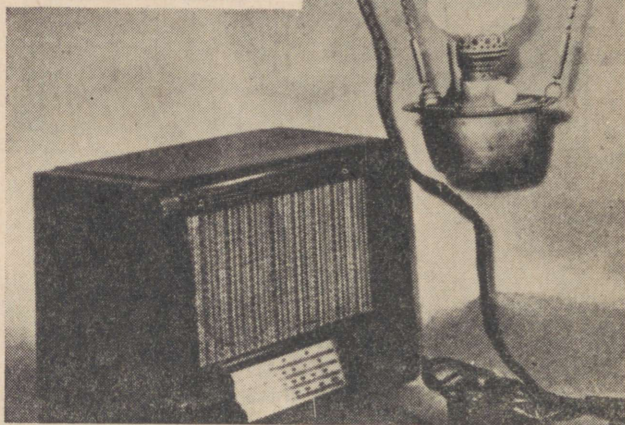
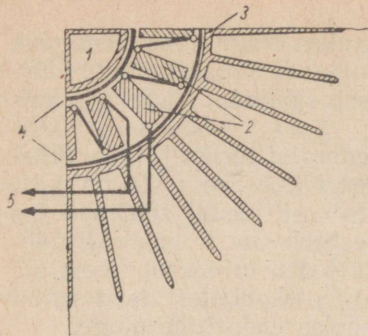


Joon. 19. Termoelemendi põhimõtteline skeem.

Kirjeldatud seadist nimetatakse **termoelementiks**. Lihtsas, kahest traadist koosnevas termoelemendis toimubki soojuse otsene muundumine elektrienergiaks.

Termoelemente kasutatakse tehnikas juba ammu. Nad on tähtsaimaks osaks paljudes mõõteriistades temperatuuri ja kiirguse mõõtmiseks. Kuid energia tootmiseks neid seni ajani ei kasutatud. Mis on selle põhjuseks? Selgub, et termoelemendi kasutegur on tühiselt väike. Kulutatud soojusenergiast muundub elektrienergiaks parimal juhul vaid pool protsenti — üks kaheksajandik. Sealjuures on saadav elektripinge väga madal — ühekraadise jootekohtade temperatuuri vahe kohta andsid termoelemendid pinget mitte üle ühe sajatuhandiku voldi. See on küllaldane mõõteriistadele, kuid liiga väike energiaallikana kasutamiseks (tuletame meelde, et valgustusvõrgu pinge on 220 volti, seega oleks valgustusvõrgu toitmiseks vaja ühendada järjestikku kümneid tuhandeid termoelemente).

Viimastel aastatel on termoelementide kasutamise välja-vaated järsult suurenenud. Visa töö paljudes laboratooriumides hakkab vilja kandma. Kasutades metallide asemel nn.



Joon. 20. Termoelektrigeneraator TFK-3. Kõrval generaatori läbilõige: 1 — toru kuumade gaaside jaoks, 2 — termoelemendid, 3 — alumiiniumkest jahutusribidega, 4 — vilgukivist isolatsioonikihid, 5 — ühendusjuhtmed.

pooljuhtivaid⁴ materjale, võib saada ühelt termoelemendilt mitukümmend korda kõrgemaid pingeid. Aastal 1942 ilmusid esimesed termopatareid väliraadiojaamade toitmiseks.

⁴ Pooljuhtideks nimetatakse materjale, mis oma elektriliste omaduste poolest asuvad metallide ja isoляторite vahepeal (näiteks räni, germaanium, grafiit, paljud mineraalid). Viimastel aastatel on pooljuhtide uurimine ja rakendamine teinud kiireid edusamme ning neile ennustatakse elektrotehnikas ja ka soojustehnikas väga suurt tulevikku.

Mõne aasta eest hakati Nõukogude Liidus tootma muga-
vaid vooluallikaid patarei-raadiovastuvõtjatele (joon. 20).
Soojusallikana kasutatakse tavalist petrooleumilampi,
mille klaas on ümbritsetud termoelementidega. Põlemisgaa-
sid kuumendavad sisemisi jootekohti umbes 350-kraadise
temperatuurini. Termopatarei ümbritsevad jahutusribid.
Peab ju termoelemendi teine jootekoht olema võimalikult
madala temperatuuriga. Selline termopatarei, mis sisaldab
mitusada üksikut termoelementi, suudab anda 100-voldi-
list anoodpinget raadiovastuvõtjale, samuti ka küttepinget.
Muundaja kasutegur on paljutõotav: 7 protsenti. Tuletame
meelde, et auruveduri kasutegur ei ületa 7—8 protsenti.

Väga häid tulemusi on saavutanud ka teiste maade tead-
lased, ehitades valgustuse otstarbeks termopatareisid võim-
susega kuni 300 vatti, kus elektrienergiaks muundub juba
10 protsenti kasutatud soojusenergiast. Sellised voolualli-
kad on väikesed ja ei oma liikuvaid osi, mistõttu nad ei vaja
erilist hooldamist. Odavaid ja kergeid soojusmootoreid
väikestele võimsustele pole aga olemas.

Termopatareidel on juba praegu teatav tähtsus näiteks
välitingimustes, kus soojuseallikana võib kasutada väikest
raudahju. Katlamajades sobib termopatarei avarii-valgus-
tusseadmete toitmiseks.

Saavutatud edusammud annavad lootust arvata, et
vahest ei olegi kaugel päev, mil soojuselektrijaamade tur-
biine asendavad termoelementide patareid. Ühtlasi võik-
sid termoelemendid abistada uute energiaallikate, nagu päi-
kesekiirguse ja maasoojuse rakendamisel inimese teenis-
tusse.

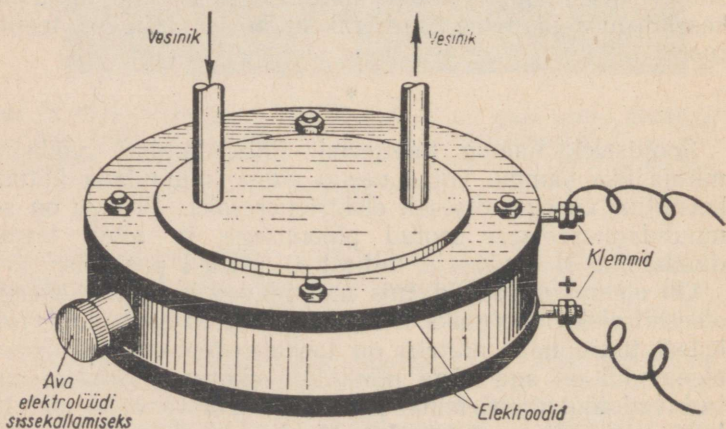
*

Soojuselektrijaama tööskeemi lihtsustamisel võiksime
minna ühe sammu võrra veelgi edasi: muundada kütuste
keemiline energia otseselt elektrienergiaks. Praegu on see
muundamisprotsess seotud põlemisega ja allub termo-
dünaamika II seadusele, millest oli juttu I peatükis.

On olemas seadmeid, mis muundavad keemilise energia
otseselt elektrienergiaks. Need on galvaani elemendid, mil-
ledest tuntuimaks näiteks on taskulambipatarei. Galvaani
elemendid on aga väga nõudlikud «kütuse» suhtes: nad
tarbivad töötamisel tsinki ja teisi kalleid värvilisi metalle,
kuna süsi jääb puutumatuks. Muidugi ei ole selliste voolu-
allikate kasutamine suures ulatuses kuidagi õigustatud.

Juba elektrokeemia kui teaduseharu tekkimise päevil, 1802. aastal, väljendas inglise keemik Davy mõtte elemendi loomisest, milles elektrienergiat saadaks süsiniku ja hapniku ühinemisel — nii-öelda «külmal põletamisel». Sellest ajast alates on sajad uurijad pühendanud end selle keeruka küsimuse lahendamisele. Kui saksa keemik Wilhelm Ostwald 1894. aastal asutas Elektrokeemia Ühingu, siis püstitas ta ühingu ette tähtsaima ja esmajärgulise ülesandena soojusmasina asendamise «keemilis-dünaamilise» masinaga. Ta avaldas arvamust, et selle ülesande edukas lahendamine tähendaks suuremat revolutsiooni kui auru- masina leiutamine.

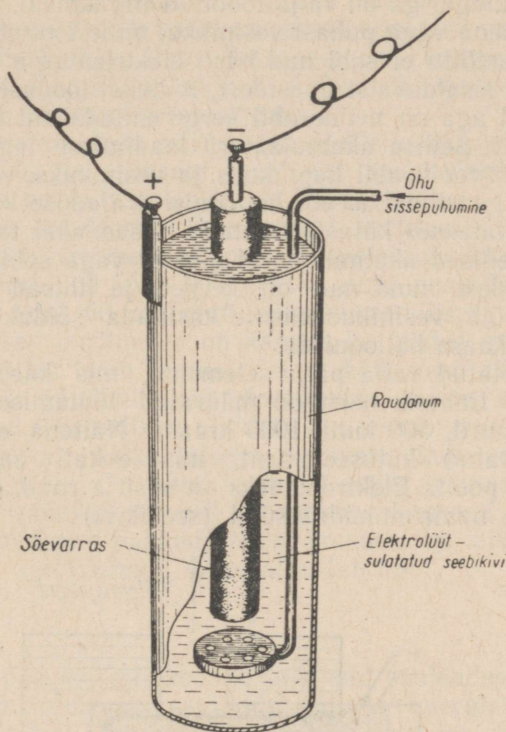
Kirjeldatud liiki vooluallikat nimetatakse tavaliselt kütuseelementiks. Missugusel põhimõttel töötab selline element? Keemiline energia on oma iseloomult tihe- dalt seotud elektrienergiaga. Keemilised reaktsioonid sei- savad tegelikult elektronide äraandmisest või omandamisest molekulide poolt. Keemilist reaktsiooni — meid huvitaval juhtumil kütuse põlemist — võime kujutleda kui «lühihühen- dust» aatomite ja molekulide vahel, kusjuures kogu elekt- ronide liikumisenergia avaldub soojusena. Kui aga saame sundida elektrone kulgema keemilise reaktsiooni käigus korrapäraselt, ühes suunas, siis saamegi elektrivoolu (tea- tavasti on elektrivool elektronide korrapärane liikumine). Selline elektronide suunamine toimub ka galvaani ele- mendis.



Joon. 21. Vesinikuga töötav kütuseelement.

Kütuseelemendis ei tohi kütus ja hapnik olla omavahel otseses kokkupuutes, vaid neid eraldab vedelik — elektrolyüt, kus elektronidele antakse vajalik suund ja kiirus. Elektrolüüt võib olla samuti tahke või gaasiline.

Teoreetiliselt võib kütuseelemendi kasutegur olla kuni 90 protsenti ja isegi enam, seega palju suurem kui üheski soojusmootoris.



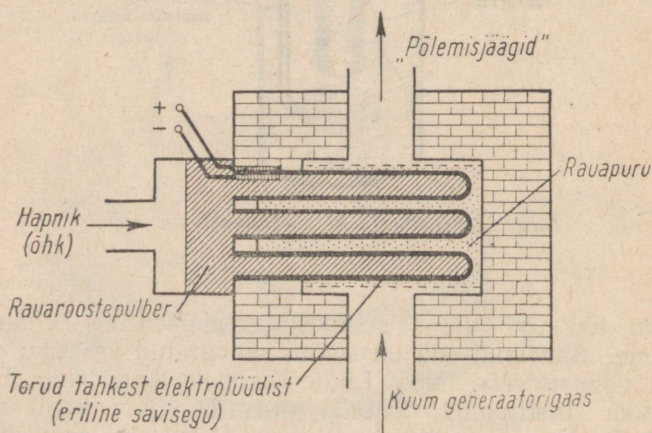
Joon. 22. Jacques'i kütuseelement sõe «põletamiseks».

On töötatud välja sadu kütuseelementide konstruktsioone. Suurimat edu on senini saavutatud vesiniku «külmal põletamisel». NSV Liidu Teaduste Akadeemia Energeetika Instituudis töötati prof. Davtjani poolt välja vesinikuelement, mille kasutegur ulatus 60 protsendini. Elemendi elektrodideks on aukudega terasplaadid, mille

augud on täidetud urbse massiga, mis peale söe sisaldab hõbedat ja niklit. Elektrolüüdiks on kaaliumhüdroksüüdi lahus. Piki ühe elektroodi pinda juhitakse vesinikuvool (joon. 21), teine asub vabalt õhus. Elemendis toimub vesiniku ühinemine hapnikuga — «põlemine» — toatemperatuuril.

Taolisi vesinikuga töötavaid kütuseelemente veelgi suurema kasuteguriga on välja töötatud Inglismaal. Nad nõuavad kütusena väga puhast vesinikku, mille tootmine on aga raske. Seetõttu ei sobi nad hästi elektrienergia saamiseks vesinikku sisaldavaist gaasidest, näiteks looduslikust gaasist. Küll aga on nende abil kerge ehitada uut tüüpi akumulaatorit. Sellise akumulaatori laadimisel lagundatakse vesi elektrivoolu abil hapnikuks ja vesinikuks, vesinik säilitatakse gaasihoidlas või balloonis. Vajaduse korral vesinik «põletatakse» kütuseelemendis ja saadakse taas elektrivoolu. Sellised akumulaatorid oleksid väga sobivad tuulejõujaamadele, kuna nad on kerged ja lihtsad hooldada. Samuti võib vesinikuelemente kasutada sõidukeil, võttes vesiniku kaasa balloonides.

On töötatud välja palju elemente, mis kasutavad söe energiat. Enamik neist on määratud töötamiseks kõrgel temperatuuril, 500 kuni 1000 kraadi. Näitena on joonisel 22 kujutatud kütuseelement, mis esitati aastal 1899 Jacques'i poolt. Elektrodideks on süsi ja raud, elektrolüüdiks sula naatriumhüdroksüüd (seebikivi).



Joon. 23. Gaasipatarei elektrivoolu saamiseks.

Huvi pakuvad elemendid vingugaasi «põletamiseks». Need võimaldavad kasutada «kütusena» gaasigeneraatoreist saadavat gaasi, millest tunduva osa moodustab just vingugaas. Ühtlasi saadakse gaas generaatorist otsekohe kuumana, seetõttu ei vaja kütuseelement ise enam kuumutamist.

Sveitsi füüsiku Bauri konstruktsiooniga kütuseelemendis (joon. 23) on kasutatud nn. tahket elektrolüüti — vahelihiks kahe elektroodi vahel on savide erisegust valmistatud ühest otsast kinnine toru. Toru sees on rauaroostepulber, kuhu puhutakse õhku, väljast ümbritseb toru rauapuru, mida läbib kuum generaatorigaas.

Nende patareidega varustatud elektrijaam oleks tunduvalt väiksem ja lihtsam tavalisest soojuselektrijaamast. Puuduseks on kütuseelementide habras ehitus.

Teaduste Akadeemia Energeetika Instituudis on välja töötatud kütuseelement vingugaasi «põletamiseks», mis töötab temperatuuril 550—900 kraadi ning muundab elektrienergiaks kuni 60 protsenti kütuse keemilisest energiast. Samalaadsed uurimused on käimas ka teistes maades.

Kokkuvõttes tuleb tunnistada, et kõik need tööd ei ole senini välja jõudnud laboratooriumide seinte vahelt ega saavutanud tööstuslikku ulatust. Ees seisab suur töö võimsate, tehnikas kasutamiseks sobivate kütuseelementide väljatöötamisel. On alust loota, et selles suunas saavutatakse veel tähelepandavaid edusamme. Kas aga kütuseelementid suudavad pakkuda tõsist konkurentsi teistele seadmetele — see küsimus on esialgu lahtine.

*

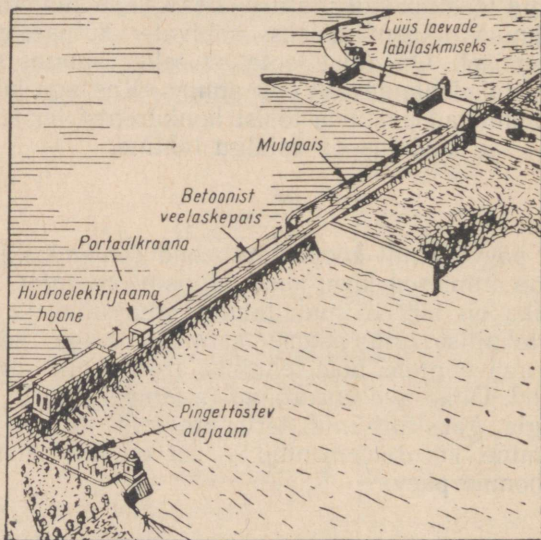
Alates päevist, mil koopaelanik end sooendas lõkketule paistel, on inimesed kasutanud kütuste energiat. Soojusenergeetika on läbi käinud tohutu arengutee ja jõudnud kõrgele tehnilise täiuslikkuse astmele. Nagu käesolevas peatükis aga nägime, pole tehnilise arengu piir sugugi veel saavutatud. Ülikõrged aururõhud ja temperatuurid, energotehnoloogia, gaasiturbiinid, termopatareid, kütuste allmaagaasistamine, kütuseelemendid — see on meie soojusenergeetika homne päev.

HÜDROENERGIA JA SELLE TULEVIK

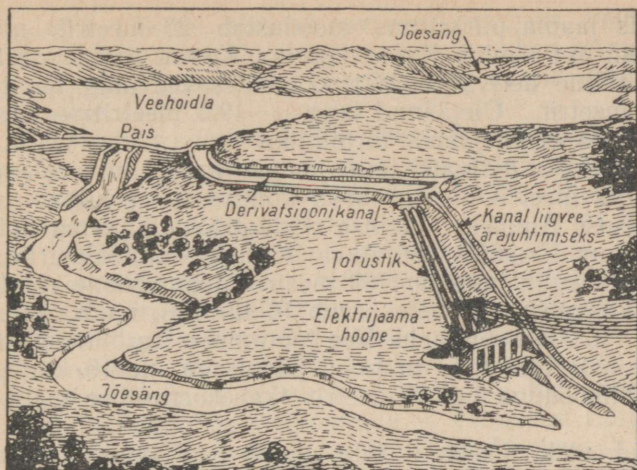
HÜDROJÕUJAAMAD TÄNAPÄEVAL

Hüdroelektrijaamad ehk veejõujaamad kasutavad teatavasti jõgede voolava vee energiat. Nagu nägime esimeses peatükis, on hüdroenergia — «valge söe» — allikaks tegelikult päikesekiirgus, mis põhjustab vee aurumist veekogudest ning pilvede ja sademete tekkimist.

Hüdroelektrijaama ehitamiseks väikese languga jõeale suletakse jõgi paisuga, mille taha tekib paisjärv, mis sageli oma mõõtmetelt väärib mere nimetust. Sellised paisjõujaamad on rajatud NSV Liidu Euroopa-osa suurtele laus-



Joon. 24. Paisjõujaam.



Joon. 25. Derivatsioonjõujaam.

maajõgedele — Volgale, Dneprile ja Donile, näiteks lugejale hästi tuntud Kuibõševi ja Stalingradi hüdroelektrijaamad. Kuibõševi mere pindalaks kujuneb 5000 ruutkilomeetrit, mis ületab ligi kahekordselt Saaremaa pindala.

Paisu kõrval asub elektrijaama hoone, milles paiknevad võimsad veeturbiinid koos elektrigeneraatoritega. Mõnikord peituvad turbiinid ja generaatorid ka paisu sees.

Tänapäeva hüdroelektrijaamade turbiinid ja generaatorid kujutavad endast hiiglaslikke masinaid. Maailma võimsaimad hüdroturbiinid seatakse üles Kuibõševi hüdroelektrijaama; nende kõrgus koos generaatoriga ulatub 40 meetrini ja kogukaal 1600 tonnini — see on raskekaalulise raudteerongi kaal! Generaatori võimsus on 105 000 kilovatti.

Väga suured energiavarud peituvad kärestikurikkais mägestikujõgedes, milliste veehulk on suhteliselt väike, kuid selle eest langus suur. Kärestikulise jõe, samuti kose energia kasutamiseks ehitatakse nn. derivatsioonjõujaam. Jõgi suletakse samuti paisuga, kogu veevool või osa sellest juhitakse aga paisust mööda, elektrijaama, lahtiste kanalite või torustiku kaudu (joon. 25).

Derivatsioonjõujaamade hulka kuulub ka hiljuti rüüsi astunud Narva hüdroelektrijaam. Jõe lang tema loomulikus

sängis jaama piirkonnas moodustab 20 meetrit, millest suurem osa kuulub Narva kosele. Kosest mööda on rajatud lahtine derivatsioonikanal, milles vee lang on ainult pool meetrit. Ülejäänud lang — 19,5 meetrit — kasutatakse ära elektrijaama turbiinides.

Suurimaks derivatsioonjõujaamas kasutatud veelanguks on 1742 meetrit — ligi kaks kilomeetrit (jõujaam asub Prantsuse Alpides). Võimsa derivatsioonjõujaama näitena võib tuua Kanadas ehitatava Kemona hüdroelektrijaama, milles kasulik lang on 789 meetrit. Jaamahoone rajatakse otse kaljudesse ja selles asub 16 turbiini, igaüks võimsusega 140 000 hobujõudu. Vee juhtimiseks turbiinideni rajatakse otse läbi mäe tunnelid pikkusega üle 16 kilomeetri ja läbimõõduga ligi 8 meetrit (kahekorruselise maja kõrgus!).

Hüdroelektrijaama juurde kuulub peale paisu ja jaamahoone keeruline hüdrotehniliste ehituste kompleks: lüüsid laevasõidu otstarbeks, kaitsetammid jne. Tänu neile lisaehitustele täidab hüdroelektrijaam peale elektrienergia tootmise mitmesuguseid ülesandeid: parandab laevasõidutingimusi, võimaldab niisutada suuri piirkondi, väldib üleujutusi.

Hüdroelektrijaamu on suhteliselt kerge automatiseerida ja eemalt juhtida. Suurt hüdrojõujaama teenindavad vaid üksikud inimesed. Paljud jaamad töötavad juba «luku taga» — personal puudub neis üldse, jaama juhtimine toimub dispetšeripunktist sageli mitmesaja kilomeetri kauguselt.

Peale automatiseerimise kulgeb hüdroelektrijaamade areng ka nende lihtsamaks ja odavamaks muutmise suunas. Töötatakse välja uusi, mõõtmetelt väiksemaid turbiine, mis võimaldavad vähendada elektrijaama hoonet ja koos sellega ehituskulusid.

HÜDROENERGIA TAHTSUS JA VARUD

Jõgede energia — «valge süsi» — oli üheks vanemaks jõuallikaks, mida inimene õppis rakendama. Juba vanaajal kasutati Indias, Egiptuses ja Hiinas vesirattaid, peamiselt niisutusseadmetes. Keskajal rakendati vesiveskeid vilja jahvatamiseks, villa vanutamiseks ja palkide saagimiseks. Kui XVI—XVII sajandil hakkas hoogsalt arenema

kapitalistlik tööstus, siis oli vee jõud ainsaks võimsaks jõuallikaks, mis pani tööle kaevanduste pumbad ja metallisulatusahjude lõõtsad. Suured ettevõtted asusid eranditult jõgede ääres.

Tol perioodil saavutas veejõu kasutamise tehnika üsnagi kõrge taseme. Inglismaal, Mani saarel rajati pumbaseade võimsusega 200 hobujõudu, mille vesiratta läbimõõt oli 22 meetrit! Altais, Zmeinogorski kaevanduses ehitas Kozma Frolov XVII sajandi keskel keeruka maa-aluse veejõuseadme ja käitas veejõu abil terve mehhaniseeritud vabriku.

Seoses aurumasina leiutamisega vabanes tööstus jõgede ahelaist, tööstusi võis nüüd rajada kõikjale. Vesirattale anti surmahoop. Siiski säilis üksikuid vesirastega seadmeid veel möödunud sajandil. Kreenholmi manufaktuuris töötas 450-hobujõuline veejõuseade — võimsaim Euroopas. Vesiratta läbimõõt oli üle 9 meetri, laius 7,5 meetrit. Ratas tegi keskmiselt 4 pööret minutis.

Möödunud sajandi lõpul võeti kasutusele elektrienergia; kiiresti õpiti energiat üle kandma sadade kilomeetrite kaugusele. Nüüd omandas hüdroenergia uuesti suure tähtsuse.

Hüdroelektrijaamadel on rida eeliseid võrreldes soojusjõuaamadega. Tähtsaimaks eeliseks on veejõul toodetava elektrienergia odavus. Nõukogude Liidu soojuselektrijaamades toodetava elektrienergia omahind on keskmiselt 106 kopikat kilovatt-tunni kohta, hüdrojõujaamades aga kõigest 2,1 kopikat.

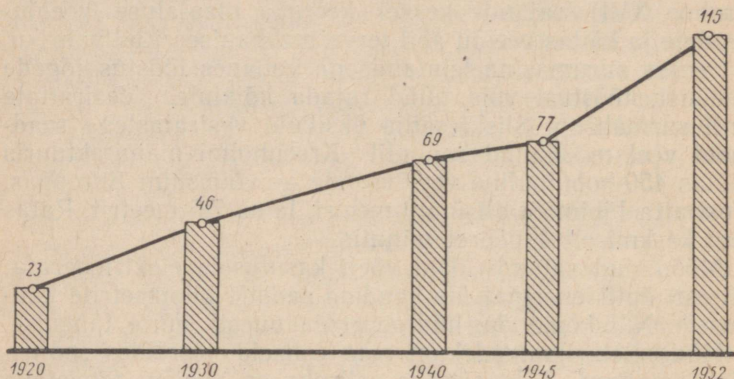
Hüdroenergia odavus on tingitud esmajoones sellest, et jõed voolavad meie osavõtuta, iseenesest; soojuselektrijaama tuleb aga pidevalt varustada kütusega, milleks peavad töötama kaevandused ja transport. Üle poole soojuselektrijaama energia hinnast moodustab kütuse hind. Samuti vajab hüdroelektrijaam vähem personali.

Ehituskulude poolest ületab hüdroelektrijaam soojusjõujaama. Võimsa veejõujaama ehitamiseks koos kõigi keerukate hüdrotehniliste ehitustega kulub ka kõige täiuslikuma tehnika kasutamisel ikkagi vähemalt 4—5 aastat. Selle eest aga täidab hüdroelektrijaam peale energia tootmise ka rea lisaülesandeid, millest oli juttu eespool.

Oluliseks asjaoluks, mis räägib hüdroenergia kasuks, on kütuste sääst. Üksnes 1955. aastal meie kodumaal tööle asunud hüdroelektrijaamad säästavad aastas vähemalt 40 miljonit tonni kivisütt, mis moodustab ühe kümnendiku kivisöe aastatoodangust.

Tuletame meelde, mida rääkisime eelmise peatüki alguses kütusevarudest. On selge, et iga energiaallikas, mis võimaldab vähendada kütusevajadust, on ülisuure tähtsusega. Hüdroenergia on aga ammendamatu — niikaua kui paistab päike, niikaua voolavad ka jõed.

Need põhjused on küllaldased selleks, et põhjustada veejõu kasutamise kiiret arengut. Juba 1920. aastal saavutas



Joon. 26. Maailma hüdroelektrijaamade võimsuse kasu miljonites HJ.

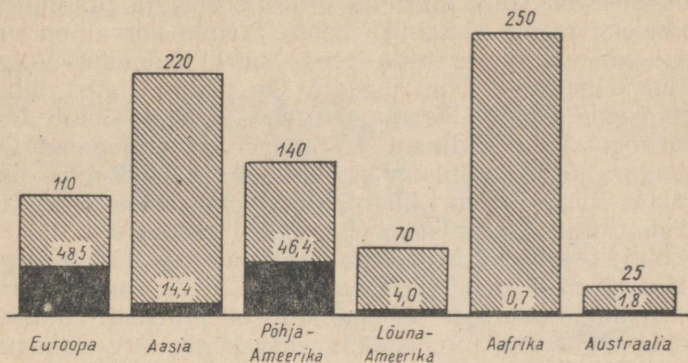
hüdroelektrijaamade võimsus kogu maailmas 23 miljonit hobujõudu, praegu on see arv ületatud enam kui viiekordselt.

Eriti hoogsalt on hüdroelektrijaamade ehitamine arenenud reas Lääne-Euroopa maades, kus puuduvad oma kütusevarud — Šveitsis, Rootsis, Norras, Itaalias ja Austrias. Neis maades annavad veejõujaamad valdava enamus elektrienergiast, Norras ja Šveitsis isegi 99 protsenti. Kogu maailmas toodetavast elektrienergiast annavad hüdroelektrijaamad praegu üle veerandi, Euroopas aga isegi enam kui ühe kolmandiku.

Vaatamata hoogsale ehitustegevusele on tänini rakendatud inimeste teenistusse vaid üks seitsmendik kogu kasutatavast hüdroenergiast. Ülevaate maailma «valge söe» varudest mandrite kaupa ja selle kasutamise ulatusest (1952. aasta andmetel) annab joon. 27.

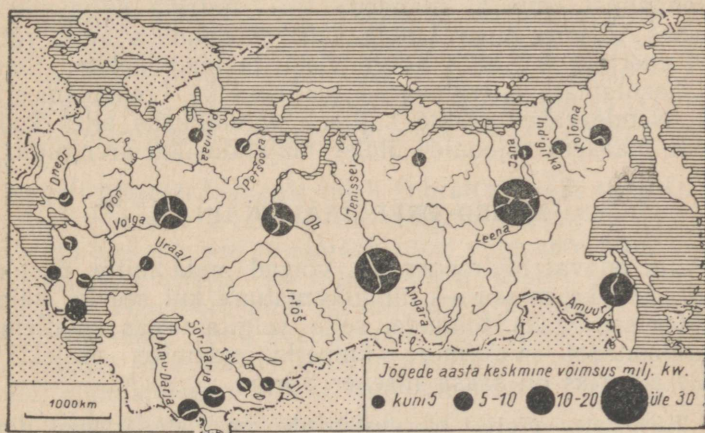
Nõukogude Liit asub maailma maade hulgas hüdroenergia varude poolest esikohal: meie maa suurte ja keskmiste

jõgede võimsus moodustab üle viiendiku maailmavarudest. Sellest hulgast peitub viis kuuendikku Siberi hiigeljõgedes, mis kuuluvad maailma veerikkaimate jõgede hulka.



Joon. 27. Hüdroenergia varud miljonites HJ. Mustaga kujutatud osa näitab juba kasutatud varusid.

Hüdroelektrijaamade ehitamine Nõukogude Liidus algas 1926. aastal tagasihoidliku Volhovi elektrijaamaga, mille võimsus oli üle kahe korra väiksem Kuibõševi elektrijaama üheainsa turbiini võimsusest (neid turbiine on Kuibõševi



Joon. 28. Nõukogude Liidu hüdroenergia varude kaart.

jaamas aga 20!). Juba 1932. aastal hakkas voolu andma Dneprogress — tollal Euroopa suurim veejõujaam.

Eriti hoogsalt on hüdroelektrijaamade ehitamine meie kodumaal arenenud alates 1950. aastast, mil võeti vastu otsus maailma kahe suurima — Kuibõševi ja Stalingradi hüdroelektrijaama ehitamise kohta. Nende kõrval on valminud või valmimas rida teisi suuri jõujaamu Volga, Kaama, Dnepri ja Doni jõgedel. On tehtud algust Siberi hiigeljõgedele energia kasutamiseks — Irtõšil töötab Ust-Kamenogorski elektrijaam, ehitamisel on jõujaamad Obi ja Angara jõgedele, hiljem ka Jenisseile. Üksnes 1955. aastal astus rивisse 9 suurt hüdroelektrijaama, teiste seas Kuibõševi, Gorki, Kakhovka ja Narva jõujaamad.

Teoksilolevate tööde tulemusena suureneb hüdroenergia osatähtsus meie maal tunduvalt. Kui 1955. aastal hüdroelektrijaamad andsid vähem kui 14 protsenti üldisest elektrienergia toodangust, siis kasvab see arv lähemal aastail ligi 20 protsendini.

Suured tööd hüdroenergia varude rakendamiseks on käimas ka teistes maades, näiteks Hiina Rahvavabariigis. Aastatuhandete vältel on hiina rahvale suuri kannatusi valmistanud tujukas Huanghe jõgi, põhjustades üha uusi üleujutusi. Nüüd on asutud rakendama seda hävitavat jõudu inimeste teenistusse. On kavatsusel ehitada Huanghele mitu võimsat elektrijaama.

30 protsenti kogu maailma hüdroenergia varudest ootab rakendamist «mustal mandril» — Aafrika sügavustes. Üksnes Victoria juga Lõuna-Aafrikas suudaks anda rohkem energiat kui kõik Volga elektrijaamad kokku. Suured kasutamata energiavarud peituvad ka Lõuna-Ameerikas. Nende rakendamine kujuneb võimalikuks alles koos nende maakera rajoonide üldise majandusliku arenguga.

MERED ENERGIAALLIKAINA

Palju odavat hüdroenergiat võivad anda mitte üksnes jõed, vaid ka mered — nii uskumatuna kui see ka näib. Kuidas see võiks toimuda, selle selgitamiseks vaatleme suurejoonelist Vahemere ümberkujundamise projekti⁵, mille autoriks on saksa insener Sörgel.

⁵ Kirjeldatav projekt moodustab ühe osa ulatuslikumast projektist, mis näeb ette muuhulgas ka kunstlike merede loomist Aafrika mandril ja kogu Aafrika looduse ümberkujundamist.

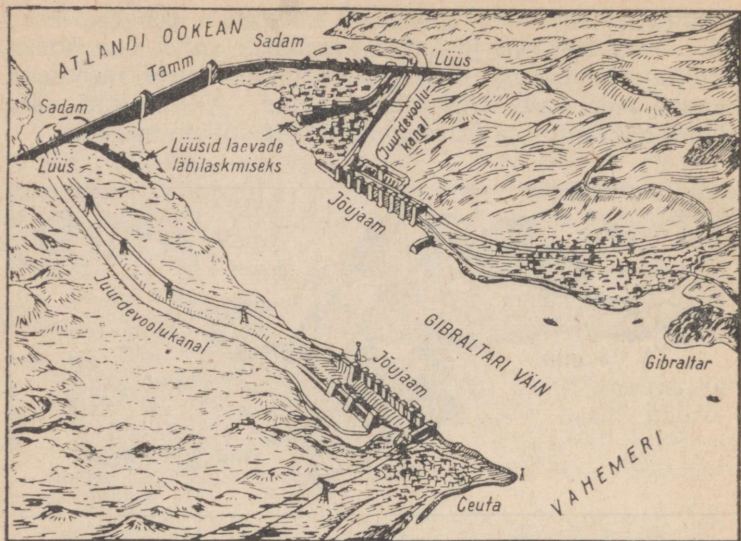
Projekti aluseks on Vahemere huvitavad geograafilised iseärasused. Euroopa ja Aafrika mandrite vahel asuv Vahe-meri kujutab endast peaaegu sisejärve; teiste meredega ühendab teda vaid kaks kitsast väina — Gibraltari väin Atlandi ookeaniga ja Dardanellide väin Musta merega.



Joon. 29. Vahemere ja selle ümbruse kaart. Mustaga kujutatud alad vabanevad vee alt Vahemere pinna langetamisel 200 meetri võrra.

Igal aastal aurub Vahemere pinnalt 4140 kuupkilomeetrit vett. Tavaliselt tasakaalustavad veekogudest auruvat veehulka juurdevool jõgedest ning sademed. Vahemerre voolab suhteliselt vähe suuri jõgesid; sademed ja juurdevool jõgedest ei suuda katta isegi poolt äraauravast veehulgast. Kuidas kaetakse puudujääk? Ilmselt juurdevoolu arvel teistest meredest, peamiselt Atlandi ookeanist. Läbi Gibraltari väina voolab pidevalt Vahemere suunas hoovus, mis veehulga poolest ületab Volga jõe üheteistkümnepoolsest.

Sörgeli projekti kohaselt tuleb Gibraltari väin ning Dardanellid võimsate tammide abil sulgeda. Selle tagajärjel tekib iga-aastane vee puudujääk ning Vahemere pind hakkab langema umbes 1,5 meetri võrra aastas. 20 aasta pärast on Vahemere pind 30 meetri võrra Atlandi ookeanist madalamal. Nüüd avame veele uuesti läbipääsu Vahemerre, kuid juba läbi elektrijaama turbiinide. Edasise vee pinna alandamisega võime saavutada kuni 200-meetrise veepindade vahe. Sealjuures on Gibraltari elektrijaam suuteline andma võimsust 100—150 miljonit kilovatti! See arv moodustab üle poole kogu maailma elektrijaamade kogu-



Joon. 30. Hüdroelektrijaama projekt Gibraltari väinas.

võimsusest tänapäeval. Teise, väiksema elektrijaama saab rajada Dardanellide väina.

Projektil on veel teisi häid külgi. Gibraltari elektrijaamast saadavate tohutute energiahulkade varal võib pumbata suuri veehulki Sahaara kõrbe avaruste niisutamiseks, millega saaksime miljoneid hektare maad muuta viljakandvaks. Seoses Vahemere pinna alanemisega vabaneb rannäärseis piirkondades vee alt maa-ala, mis oma suuruselt ületab Prantsusmaa (vt. kaarti joon. 29).

Sörgeli projekti elluviimine on seotud muidugi suurte raskustega, mis on osalt tehnilist laadi. Gibraltari väina sulgev tamm peaks olema 29 kilomeetrit pikk ja keskosas kuni 400 meetrit kõrge; selle rajamiseks on vaja 10 miljardit kuupmeetrit pinnast — 70 korda rohkem kui maailma suurima, Kuibõševi elektrijaama rajamisel. Seega ületab ehitus oma ulatuselt kaugelt kõik senirajatu. Gibraltari elektrijaam vajab turbiine, mis oleksid Kuibõševi jaama turbiinidest kuus korda võimsamad.

Arvestades tehnika kiiret arengut võime siiski oletada, et 10—20 aasta pärast oleksime võimelised projekti tehni-

selt ellu viima. Suured raskused on seotud ka majanduslike teguritega. Toome vaid mõne näite tekkivaist probleemidest. Projekti teostamisel «jääksid kuivale» kõik Vahemere sadamad — ja neid on õige palju. See oleks arusaadavalt väga suur majanduslik kahju. Teiselt poolt näiteks Itaalia territoorium kahekordistuks!

Sörgeli projekti teostamise ees seisvad tehnilised ja majanduslikud raskused on muidugi väga suured. Ent need raskused poleks ületamatud, kui neile ei lisanduks teist laadi takistused. Sellise tohutu projekti finantseerimine ja elluviimine nõuaks kõigi Vahemerd ümbritsevate maade ühiseid jõupingutusi. Seni kuni aga kestab võitlus omavahel konkureerivate riikide ja rühmituste vahel (tule-tame meelde hiljutisi konflikte Kreeka ja Türgi, Iisraeli ja Egiptuse vahel), on projekt määratud jääma paberile. Selle teostamine võib tulla kõne alla alles siis, kui on loodud sõpruse ja koostöö suhted kõigi maade ja rahvaste vahel.

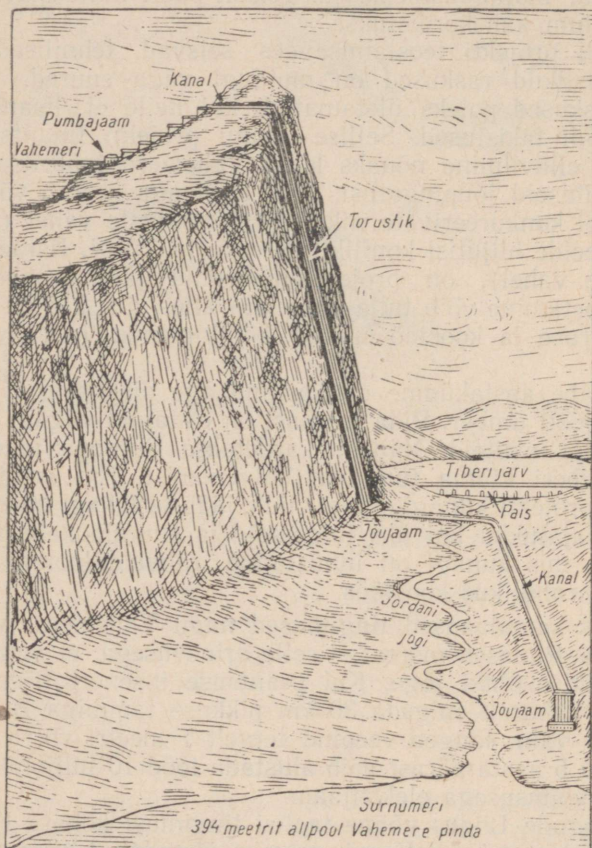
Üle kahe aastakümne on kestnud äge diskussioon Sörgeli projekti ümber. Rida teadlasi on esitanud vägagi kaaluvaid vastuväiteid. Näiteks kardetakse Euroopa ja isegi Lääne-Siberi kliima tunduvat halvenemist. Ent isegi kui Sörgeli projekti kunagi ellu ei viida, jääb ta ikkagi inseneriteaduse ajalukku kui üks julgemaid ja suurejoonelisemaid projekte, mis kunagi on innustanud rahvaid looma uusi väärtusi rahulikus koostöös.

Umbes samalaadsed tingimused nagu Vahemeres valitsevad ka Punases meres — selle erinevusega, et sinna ei suubu üldse ühtki jõge. Kui prantsuse inseneri Bigarre'i projekti kohaselt sulgeda 30 km pikkuse tammiga Bab-el-Mandebi väin, langeb veepind tervelt 7 meetri võrra aastas. Juba 5 aasta pärast võib alustada tööd 10 miljoni kilovatilise võimsusega elektrijaam.

Nõukogude Liidus võime taolisi tingimusi kohata Karabogazi lahes, mis on Kaspia merega ühendatud kitsa väina kaudu. Ka siia võib rajada elektrijaama, kuigi märksa väiksema võimsusega kui eelmistel juhtumitel.

Kirjeldatud projektides kasutatakse hüdroenergia tootmiseks vee aurumist merest või lahest. Ent selleks võib kasutada ka mereranniku lähedal asuvat järve. Vahemere idakalda läheduses, eraldatuna viimasest madala mäeahelikuga, asub suur järv — Surnumeri, mille pind on Vahemerest ligi 400 meetri võrra madalamal. Kui pumbata vett

Vahemerest mäeaheliku harjani, siis langeks see edasi mitmes astmes Surnumere suunas. Tekkiv lang võimaldaks ehitada 2 elektrijaama üldvõimsusega kuni 500 000 HJ. Sealjuures suureneb alguses Surnumere pindala; ühtaegu



Joon. 31. Surnumere kasutamise skeem hidroenergia saamiseks.

suureneb ka auruv veehulk ja peatselt saavutatakse uuesti tasakaal.

Tehnilisi raskusi selle projekti teostamiseks pole. Takistused on vaid poliitilist laadi — kuidas saavutada kokkulepet Iisraeli ja Jordaania vahel?

Põhja-Aafrikas, 70 kilomeetri kaugusel Vahemere rannikust laiub Cattara nõgu, mille põhi on suures osas tunduvalt madalamal merepinnast. 1950. aastal ülemaailmsel energeetikakonverentsil tegi šveitsi teadlane dr. Ball ettepaneku rajada Vahemerest Cattara nõoni kanal. Lastes nõo vett täis joosta, tekib suur kunstlik järv, mis tunduvalt parandaks selle piirkonna kliimat. Kuna siin valitsevad samasugused tingimused nagu Surnumere puhul, võib kanalile rajada püsivalt töötava hüdroelektrijaama võimsusega 300 000 kW.

Lõpuks tuleb rõhutada, et üheski toodud projektis pole energia tootmine eesmärk omaette, vaid on lahutamatu seotud teiste ülesannetega, esmajoones kliima muutmisega ja põldude kunstliku niisutamisega. Mõnel juhul võib energia tootmine isegi jääda tahaplaanile teiste, ulatuslikumate eesmärkide kõrval, nagu näiteks Nõukogude Liidu loodud projektis Siberi jõgede suunamiseks Kaspia merre. Ent muidugi tuleb ka siin «võtta, mis võtta annab» — kasutada ära iga kilovatt-tundi odavat hüdroenergiat.

TÕUSU-MÕONA ENERGIA KASUTAMINE

Miljoneid aastaid on tõus ja mõõn vaheldunud ookeani rannikul raudse korrapärasusega. Kaks korda ööpäevas, iga 12 tunni ja 25 minuti järel saavutab tõus oma haripunkti ning annab aset mõõnale. Poeedid on seda nähtust võrrelnud ookeani rahuliku, sügava hingamisega.

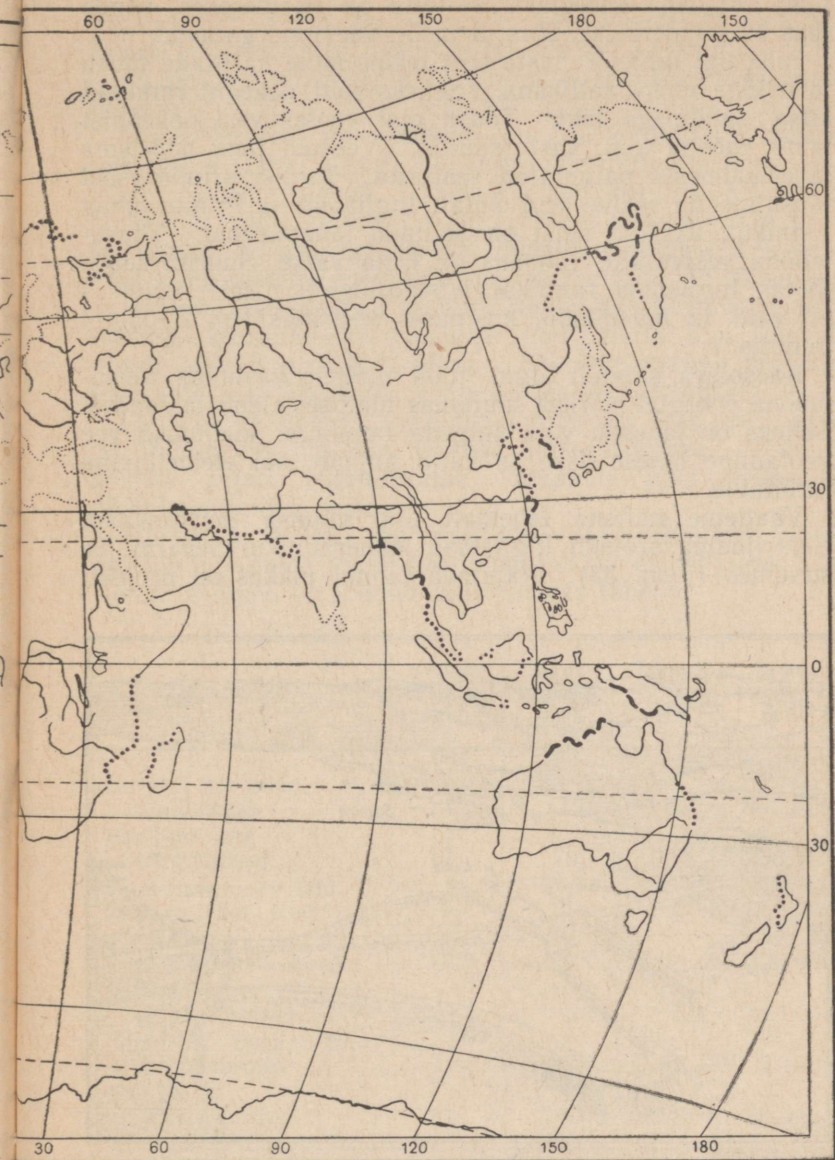
Tõusu ja mõõna põhjustajaks on taevakehade — Kuu ja Päikese — külgetõmbejõud. Kuu tekitab oma külgetõmbejõu kaudu enda poole pööratud maakera küljel vee kogunemise, samuti vastasküljel. Kuu liikumisel ümber maakera liigub ka tõusulaine. Päikese mõju on üle kahe korra nõrgem; sellest tingituna muutub tõusulaine kõrgus iga järgmise tõusuga. Suurim tõusukõrgus kordub iga 28 päeva järel.

Tõusulaine kõrgus sõltub ranniku asendist ja rannajoone kujust. Üksikuis kohtades ookeani rannikul saavutab tõusulaine aukartustäratava kõrguse: Prantsusmaa läänerannikul kohati 12—15 meetrit, Fundy lahes Kanada rannikul aga isegi kuni 20 meetrit! Amazonase jõel tungib tõusulaine vastuoolu kuni 1400 kilomeetri kaugusele.

Tungides läbi kitsaste väinade, kaotab tõusulaine suu-



Joon. 32. Tõusulaine



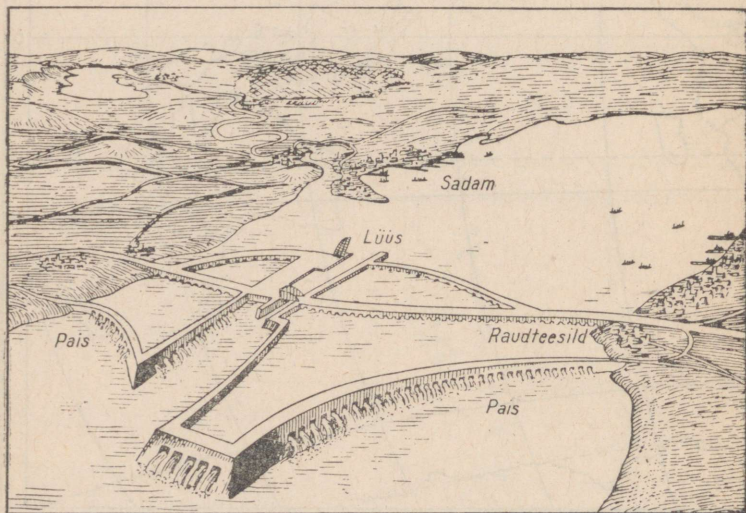
hõrgus ookeani rannikul.

rema osa oma energiast. Seetõttu on sisemeredes, nende seas ka Läänemeres, tõus ja mõõn vaevumärgatavad.

Juba ligi tuhande aasta eest tekkis mõte kasutada tõusu ja mõõna energiaallikana. Selleks leiti ookeani rannikul kitsa suudmega laht. Tõusu ajal voolas vesi ookeanist lahte, mõõna ajal vastassuunas. Veevool pani pöörlema lahesuudmesse paigutatud vesiratta. Taolisi primitiivseid tõusu-mõõna vesiveskeid ehitati Inglismaa ja Prantsusmaa rannikul, üksikud neist on säilinud tänapäevani. Tõusu-mõõna vesiveskite võimsus oli üsna väike. Suurim seade töötas Inglismaa rannikul Woodbridge'is; selle võimsus oli vaid 12 hobujõudu, kusjuures vesiratas tegi 6 pööret minutis.

Käesoleva sajandi algul tuldi mõttele kasutada tõusu-mõõna energiat märksa suuremas ulatuses elektriyaamades. Selleks on lahesuu vaja sulgeda tammiga, kusjuures vee voolamine lahest sisse ja välja toimub läbi elektriyaama turbiinide.

Vaatleme näitena lähemalt üht võimsa tõusu-mõõna elektriyaama projekti Inglismaa läänerannikul Severni jõe suudmes (joon. 33). Rajatava tammi pikkus on projekti



Joon. 33. Jõesuudmesse rajatava tõusu-mõõna energiat kasutava elektriyaama üldvaade.

kohaselt ligi 4 km, tammi sisse paigutatakse 32 turbiini. Jaama projekteeritud võimsus on 800 000 kilovatti — küllaltki palju hüdroenergia varude poolest vaese Inglismaa jaoks.

Seade Severni jõe suudmes on ette nähtud ühekordse toimega, s. t. vesi voolab läbi turbiinide üksnes mõõna ajal, lahest ookeani suunas. Tõusu ajal lastakse vesi ookeanist lahte otse vesivärvate kaudu, turbiine läbimata. On projekteeritud ka nn. kahekordse toimega seadmeid, kus veevool läbib turbiine mõlemas suunas voolates, nii tõusu kui ka mõõna ajal. Sellega muutub tammi ja turbiinide ehitus märksa keerukamaks, toodetav energiahulk aga kasvab ainult 10—20 protsendi võrra. Seetõttu enamik projekte näeb ette just ühekordse toimega seadme ehitamist.

Esimene tõusu-mõõna elektrijaam ehitati juba 1913. aastal Põhjamere rannikul väikese katseseadmena. 20-ndail aastail rajati Prantsusmaa rannikule juba võimsam, 2500-hobujõuline seade.

Hilisemal aastail on koostatud rida tehniliselt läbi mõeldud projekte võimsaile tõusu-mõõna elektrijaamadele. Nende andmed on toodud alljärgnevas tabelis:

Asukoht	Suurim tõusu- kõrgus m	Lahe pindala km ²	Tammi pikkus km	Jaama võimsus kW
Severni jõe suue (Inglismaa) . . .	13,8	70	3,5	800 000
San-José laht (Argentiina) . . .	12	780	7	780 000
Passamaquoddy laht (Ameerika Ühendr.) .	6,6	350	4	300 000
Petit-Codiaci laht (Kanada)	12,7			320 000
Rance'i laht (Prantsusmaa)	12,5	20	1	360 000
Mont St. Micheli laht (Prantsusmaa)	12,6	590	32	3 milj.
St. Malo (Prantsusmaa)	12	3400	128	39 milj.

Vaatamata projektidele ei ole ühtki neist jaamadest seniajani valmis ehitatud. Mis on selle põhjuseks? Iga-

tahes mitte tehnilised raskused. On rajatud palju võimsamaidki hüdrotehnilisi ehitusi. Tõusu-mõõna elektrijaama ehituskulud tuleksid võrreldes jõe ehitatava hüdroelektrijaamaga küll kõrgemad, tingituna tammi tugevamast ehitusviisist. Peab see ju vastu pidama ookeani tormidele. Sellele vaatamata oleks energia omahind arvutuste kohaselt siiski märgatavalt väiksem kui soojuselektrijaamas.

Peamiseks põhjuseks, miks seni ei ole veel võimsaid tõusu-mõõna elektrijaamu, on sellise jaama töörežiimi iseärasused. Tõus ja mõõn vahelduvad perioodiliselt, seetõttu tekivad ka kahekordse toimega jaama töös iga 3—4 tunni järel 2—3-tunnilised vaheajad. Tarbijad aga vajavad elektrienergiat pidevalt. Sellest puudusest ülesaamiseks on mitu võimalust.

Lahe võib jaotada tammide abil kaheks basseiniks (joon. 34). Veepind ülemises basseinis on pidevalt kõrgem kui alumises (vt. töödiagrammi). Tõusu haripunkti ajal (diagrammil *AB*) voolab vesi ookeanist ülemisse basseini, madalaima mõõnaseisu ajal lastakse vesi alumisest basseinist ookeani (diagrammil *CD*). Nii on võimalik saavutada, et jaam töötab pidevalt, kuigi muutuva võimsusega. Koos sellega suurenevad aga tunduvalt jaama ehituskulud. Ühtlasi on kahe basseiniga jaama keskmine võimsus 2—3 korda väiksem kui ühe basseiniga jaamal, seetõttu ei suurene üldine toodetud elektrienergia hulk nimetamisväärselt. Neil põhjustel ei ole kahe basseiniga tõusu-mõõna elektrijaamal erilisi väljavaateid.

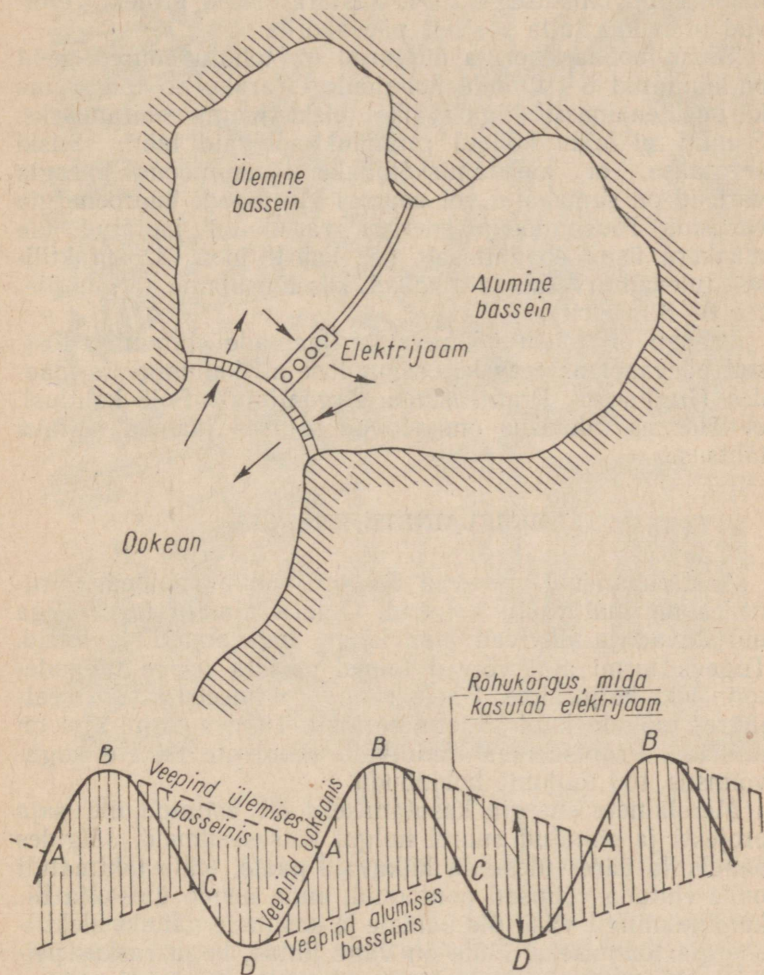
Kapitalistlikes maades koostatud projektides on enamasti ette nähtud mingi reserv-elektrijaam, näiteks soojusjõujaam. Samuti võib tõusu-mõõna jaama töötamise ajal osa energiast kasutada vee pumpamiseks kõrgemalasse veehoidlasse; tõusu-mõõna jaama seisu ajal kasutab selle veehoidla hüdroenergiat tagavara-hüdroelektrijaam. Nende meetodite puhul tuleb aga paratamatult ühe elektrijaama asemel tegelikult ehitada kaks.

Ainsaks õigeaks lahenduseks saab olla vaid tõusu-mõõna elektrijaamade ühendamine teiste, soojus- ja hüdroelektrijaamadega ühisesse energiasüsteemi, kus nad töötavad üksteist vastastikku abistades ja täiendades.

Kõige lähemale tegelikule teostamisele jõudis Passamaquoddy tõusu-mõõna elektrijaam. Jaama projekteerija, väljapaistva ameerika inseneri Cooperi algatusel alustati juba 1930-ndail aastail ehitustöid. Ent võimsad elektri- ja

kivisõemonopolid nägid tõusu-mõõna elektrijaamas endale ohtlikku konkurenti, ja nende tegevuse tulemusena jaama ehitamine katkes peagi.

Nõukogude Liidus leidub jõgedel küllaldaselt kasutamata «valge söe» varusid; seetõttu ei ole tõusu-mõõna elektrijaamade ehitamine veel päevakorras. Siiski on selle



Joon. 34. Kahe basseiniga tõusu-mõõna elektrijaama üldvaade ja töödiagramm.

ala entusiast, insener Bernstein koostanud rea projekte tõusu-mõõna jaamade ehitamiseks Ohhoota merel, Koola poolsaare rannikul ja mujal. On loodud projekt Mezeni lahe (Valges meres) sulgemiseks tammiga, mis annaks võimaluse ehitada elektrijaam võimsusega 25 miljonit kilovatti (see võrdub ligikaudu Nõukogude Liidu elektrijaamade koguvõimsusega 1954. aastal). Need projektid võivad tulevikus tulla tõsiselt päevakorda.

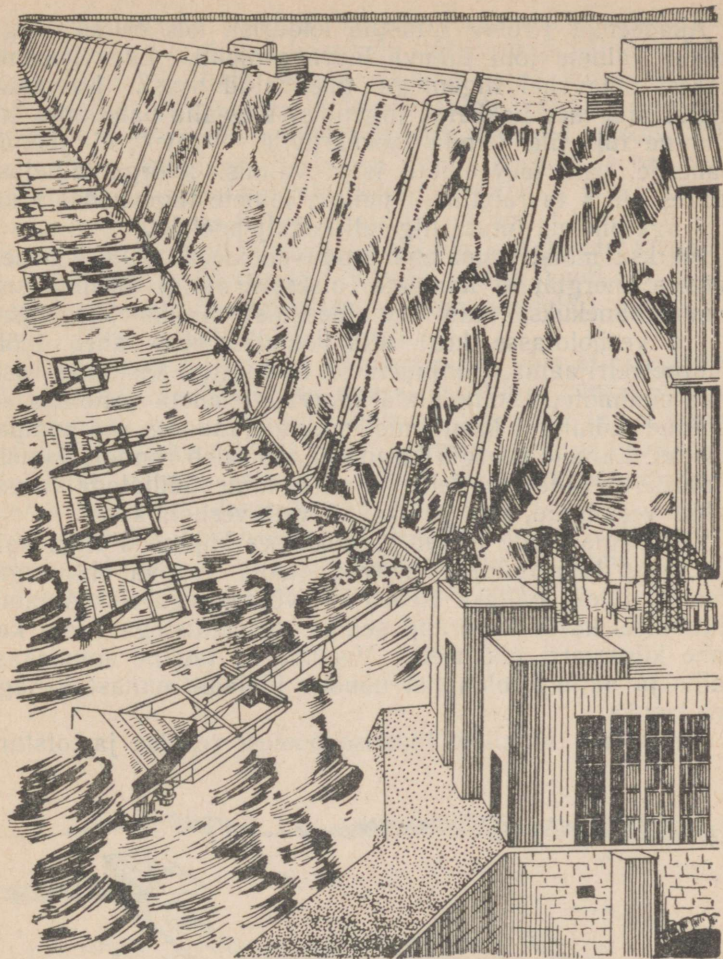
Tõusu-mõõna energia üldvarud on tohutu suured, neid on hinnatud 8 triljonile hobujõule. Paraku on tõusulaine kõrgus enamasti liiga väike elektrijaama ehitamiseks. Samuti ei leidu kõikjal rannikul sobivaid lahti. Siiski arvatakse, et kasutamiskõlblikke tõusu-mõõna energia varusid on samapalju või enamgi kui jõgede hüdroenergia varusid. Tõusu-mõõna energia varud on jaotatud üle maakera üsna ebaühtlaselt (vt. kaarti joon. 32; praktiliselt tulevad arvesse vaid kohad, kus tõusulaine kõrgus ületab 6—8 meetrit).

Praegu on tõusu-mõõna elektrijaamade ehitamine tõsiselt päevakorras reas kütusepuuduse all kannatavais maa-des (Inglismaa, Prantsusmaa, Argentiina). Pole kahtlust, et lähemas tulevikus omandavad sellised jaamad teatava tähtsuse.

MERELAINETE ENERGIA

Aastatuhandeid veerevad ookeani rannale lained, purunedes mürinal vastu kaljusid. Oma väsimatu tegevusega uuristavad ja lihvivad nad kõige tugevamaid kivimeid. Tugeva tormi ajal võivad lained paisata merre tuhandetonniseid kaljurahne. Ühele ranna ruutmeetrile võib sealjuures mõjuda kuni 35-tonnine jõud. Tugeva tormi ajal on näiteks Prantsusmaa rannikule veerevate lainete koguvõimsus 100 miljonit hobujõudu.

Merelainete energia kasutamiseks on esitatud üle saja projekti ja ehitatud suurel hulgal katseseadmeid. Jälgides paadisilla ääres üles-alla kiikuvaid paate, tekib tahtmatult mõte ehitada võimsad pontoonid, anda nende üles-alla liikumine mingil viisil üle kaldale ja kasutada näiteks elektrienergia tootmiseks. Mõte on väga lihtne, kogu raskus peitub vaid kahes sõnakeses: «mingil viisil». Ülekandemehhanism peab olema äärmiselt tugev, et pidada vastu tormidele. Sellega muutub kogu seade otsekohe raskeks, kohma-



Joon. 35. Merelainete energiat kasutav seade vesioinastega.

kaks ja kalliks ning ei õigusta end tehniliselt ega majanduslikult.

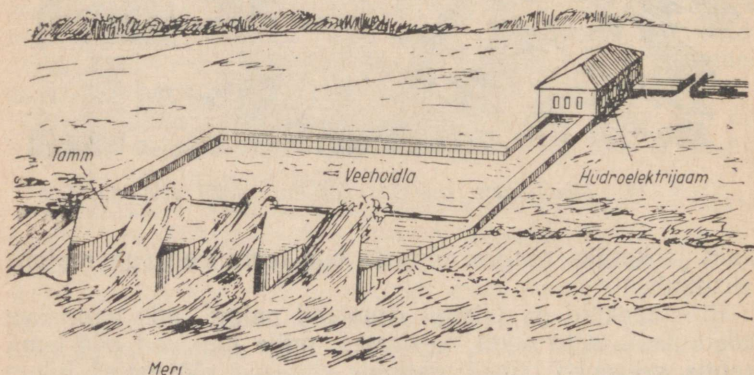
Ettepanekuid on teisigi: rippuvad palgid, mis pannakse kõikuma lainete poolt; vesiratas, mille panevad pöörlema randa veerevad lained; rannale ehitatud rööbasteel liikuv vanker, mida lained tagant tõukavad, ja palju teisi ideid, mis takerduvad aga kõik ülalnimetatud raskuse taha.

Akadeemik Krõlov jutustab leidurist, kes esitas originaalse lainete jõul liikuva laeva projekti. Laev koosnes kahest omavahel liigendiga ühendatud osast. Lainetuse mõjul pidi laev hakkama liigendist üles-alla painduma, liikumine tuli üle kanda laevakruvile. Projekt ei jäänud paberile, vaid laev ehitati isegi valmis. Nõrga lainetuse juures püsis ta rahulikult paigal, lainete tugevnedes murdus aga pikema jututa liigendi kohalt pooleks.

Märksa mõistlikumatenä tunduvad ideed, mille kohaselt lainete energiat ei kasutata otseselt mingi mehhanismi liikumapanekuks, vaid vee ülespaiskamiseks kõrgelasuvasse veehoidlasse, kust alla voolates vesi paneb tööle hüdroelektrijaama. Siinjuures on soovitatud kasutada vesioina põhimõtet. Lihtne, ilma liikuvate osadeta vesioinas on leidnud mõningat kasutamist põllumajanduses vee pumpamiseks. Lainete energia kasutamiseks tuleb rannale lainete ulatusse asetada rida lehtrikujuliste lainepüüdjatega varustatud vesioinaid, mis paiskavad vett veehoidlasse.

Ka selline seade töötab tegelikkuses kujuneda väga kalliks, sest lainepüüdjad peavad olema tugeva ehitusega. Pealegi tuleks näiteks 10 000 kW võimsusega elektrijaama ehitamisel katta mererand selliste seadeldistega enam kui kahe kilomeetri pikkuselt! Vaevalt, et taoline kohmakas, kallis ja palju hooldamist nõudev jõujaam ennast kunagi ära tasuks.

Ainsa oma tehnilise lihtsuse poolest reaalse ja otstar-



Joon. 36. Merelainete energiat kasutav seade (ins. Autonomovi projekt).

beka lahendusena tundub insener Avtonomovi ettepanek. See leidur soovib ära kasutada hästituntud nähtust: tungides rannal kaljude vahele, paiskub laine kõrgele üles. Avtonomovi ettepaneku kohaselt tuleb rannale ehitada kiilukujulised raudbetoonist seintega kanalid (joon. 36). Kanalitesse tungides paiskuvad lained kõrgele ja osa vett heidetakse üle ääre veehoidlasse. On ehitatud väike katse-seade, mis koosnes kahest 6 meetri pikkusest kanalist, ava laiusega 2 meetrit. Veehoidla poolne kanali ots kitseneb ja põhi tõuseb ülespoole. Kanali seinad kaeti 10 millimeetri paksuste terasplaatidega. Kogu seadeldis pidas ühe aasta vältel lainetele hästi vastu.

Selline lainete energiat kasutav seade võib olla energiaallikaks näiteks üksildasel saarel asuvale uurimisjaamale. Tõenäoliselt on aga siingi lihtsam kasutada tuulejõuseadet. Tööstuslikku tähtsust taolisel merelainete-jõujaamal ei ole, kuna vähegi suurema võimsuse saamiseks peaksid jaama mõõtmed olema tohutu suured.

Seega tuleb kokkuvõttes tunnistada, et vaatamata suurele projektide arvule ei ole väljavaateid merelainete energia rakendamiseks nimetamisväärses ulatuses.

IV PEATÜKK

TUUL ENERGIAALLIKANA

Tuul — «sinine süsi» — on kütuste kõrval üheks vane- maks inimese poolt kasutatavaks energiaallikaks. Juba ammu enne meie ajaarvamise algust kündsid oma purje- kail merd paljude rahvaste meresõitjad, kasutades tuult edasiviiva jõuna. Egiptuses on säilinud tuuleveskite jäänu- sed, mille vanust hinnatakse kolmetuhandele aastale. Babülooonias kasutati tuulikuid kuivendustöödel.

Esimesed kindlad andmed tuulikute kasutamise kohta Euroopas on pärit IX sajandist. Keskajal saavutasid tuuli- kud laialdase leviku. Möödunud sajandil töötas üksnes Venemaal 250 000 tuuleveskit koguvõimsusega üle miljoni hobujõu. Tiivikute läbimõõt ulatus 25 meetrini.

Sisepõlemismootorite ja elektrienergia laialdane levik tõi kaasa suuri muutusi ka tuulejõu kasutamise osas. Täna- päeval võime tuulemootoriga varustatud seadmeid jagada kahte suurde rühma:

1) tuulejõuseadmed, mis kasutavad tuulejõudu otseselt mehaanilise energiana pumpade, vesikikivide jne. käita- miseks;

2) tuuleelektrijaamad, kus tiiviku ülesandeks on panna pöörlema elektrigeneraator ja sel viisil toota elektriener- giat.

Tuulejõuseadmete laialdase leviku peamiseks põhjuseks oli asjaolu, et tuulejõud on peaaegu kõikjal kättesaadav. Maakeral leidub vähe piirkondi, kuhu tuule liiga väikese tugevuse tõttu poleks võimalik rajada tuulejõuseadmeid. Samal ajal on tuulel energiaallikana ka suur puudus: tuu- lised päevad vahelduvad tuulevaiksetega, nõrgad tuuled ägedate tormidega.

Tingituna peamiselt tuulejõu ebaühtlusest on tuulikud viljajahvatamisel mootorveskite poolt peaaegu välja tõrju-

tud. Ent tuulejõud on edukalt kasutatav pumpade käitamiseks loomakasvatustehases, niisutusseadmes ja mujal. Nendeks ülesanneteks on lihtsa ehitusega, odav ja järelevalveta töötav tuulemootor kõige sobivamaks jõuallikaks. Niisutusseadmetes pole tuule ebaühtlus oluline, loomakasvatustehases vajame vaid tagavara-veepaaki, et saada üle tuulevaiksetest päevadest.

Tuulejõul töötavaid pumpi kasutatakse juba praegu üsna laialdaselt, neil seisab ees aga veelgi suurem tulevik. Meie põllumajandus vajab loomakasvatustehaste mehhaniseerimiseks, metsakaitsevööndite ja puuvillaväljade niisutamiseks mitte tuhandeid, vaid miljoneid tuulemootoreid.

Tuuleenergia varud on väga suured; kogu maakera tuulte üldvõimsus ulatub mitme tuhande miljardi kilovattini. Teoreetiliselt suudaksime tuulejõu abil aastas toota samapalju energiat, kui peitub kogu maailma kütusevarudes. Praktiliselt kasutatav võimsus on muidugi märksa väiksem, sest kõikjale pole võimalik tuulejõujaamu ehitada. Siiski peetakse asjatundjate poolt võimalikuks ehitada tuulejõujaamu üldvõimsusega, mis kümneid kordi ületab kogu maakera jõgede võimsuse.

Tuuleelektrijaamad on tänapäeval levinud kaunis laialdaselt. Üksnes Ameerika Ühendriikides töötab pool miljonit väikest tuulejõujaama võimsusega alla ühe kilovatti elamute valgustamiseks ja akude laadimiseks. Kuna aga on tegemist väikeste seadmetega, siis kõik need tuulejõujaamad kokku jäävad võimsuselt maha ühestainsast suurest soojus- või hüdroelektrijaamast.

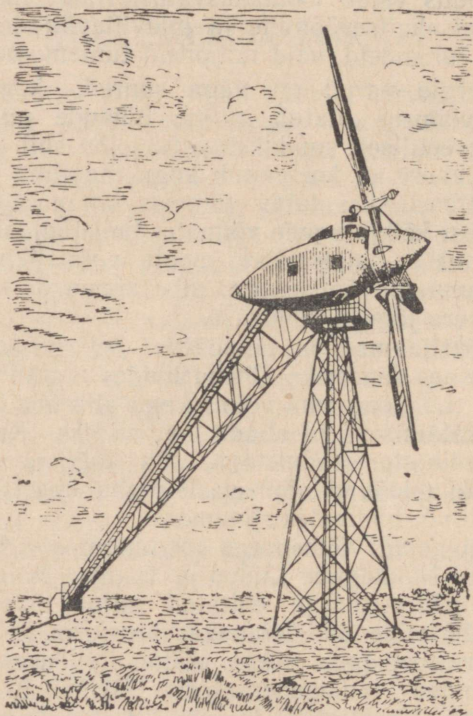
Tuulejõujaamad võimsusega mõnikümmend kilovatti on levinud eriti Nõukogude Liidus ja Taanis. Nõukogude Liidus on projekteeritud ja ehitatud mitut tüüpi tuulejõujaamu kolhooside ja loomakasvatustehaste varustamiseks elektrienergiaga. Meie põllumajanduses on kasutusel tuhanded tuulegeneraatorid ВМЭ-Д-12, tiiviku läbimõõduga 12 meetrit ja võimsusega kuni 15 hobujõudu. Teised tuulejõujaama tüübid annavad võimsust kuni 75 kW.

Taanis on levinud originaalse konstruktsiooniga tuulejõujaamad võimsusega kuni 50 kilovatti.

Võimsamaid tuulejõujaamu, alates sajast kilovattist, võib kogu maailmas sõrmedel üles lugeda. Esimeseks võimsaks tuulejõujaamaks oli nõukogude inseneride poolt 1931. aastal Krimmi rannikule ehitatud 100-kilovattilise võimsusega

jõujaam Д-30, tiiviku läbimõõduga 30 meetrit. Seade töötas heade tulemustega rida aastaid.

Suurim seniajani ehitatud tuulejõujaam valmis Ameerika Ühendriikides 1941. aastal. 36 meetri kõrguse torni otsas asus kaheharuline tiivik läbimõõduga 53 meetrit (see võrdub suure tehase korstna kõrgusega). Tuulejõujaama võimsus oli 1000 kW. Jaam töötas vaheaegadega kuni 1945. aastani, millal tiivik tugeva tormi käes murdus.



Joon. 37. Tuulejõujaam Д-30 võimsusega kuni 100 kilovatti.

Vaatamata tuulejõu suhteliselt väikesele osatähtsusele tänapäeval on tuulejõu kasutamisel küllaltki suuri väljavaateid tulevikus. Tuulejõujaamad on ehituselt lihtsad ja vajavad vähe hooldamist, neid on võimalik isegi täielikult automatiseerida. Seetõttu tootab tuulejõul toodetav elektri-

energia kujuneda võrdlemisi odavaks — tõenäoliselt mitte kallimaks kui võimsais rajoonijõujaamades toodetav energia. Seetõttu pööratakse tuulejõujaamade väljatöötamisele nii Nõukogude Liidus kui ka välismaal üha suuremat tähelepanu.

Tuulejõujaamade juures moodustab ühe raskema tehnilise probleemi tiiviku kaitsmine tormi puhul. On töötatud välja palju mitmesuguseid kaitsemeetodeid. Enamasti pööratakse tuule tugevnemisel kas tiiviku labad või kogu tiivik piki tuule suunda (töötamise ajal on tiivik tuule suunagaristi). Otstarbekate ja kindlate kaitsemeetodite väljatöötamine vajab veel palju tööd.

Teine suur probleem on seotud tuule ebaühtlusega. Siin esineb sama raskus nagu tõusu-mööna elektrijaama puhul: jaam töötab vaheaegadega, tarbijad vajavad voolu pidevalt. Energia salvestamiseks tuulejõujaamas on esitatud palju ettepanekuid. Väikestes seadmetes kasutatakse tavalisi elektriakumulaatoreid, mis teevad seadme kalliks. Mõnedes tuulejõujaamades kasutatakse nn. mehaanilist akumulaatorit — suure kiirusega pöörlevat rasket hooratast. Tugeva tuule ajal pannakse hooratas elektrienergia ülejäägi arvel kiiresti pöörlema, kusjuures hoorattas salvestatakse teatav hulk kineetilist energiat. Tuulevaikuse perioodil paneb hooratas oma energia arvel pöörlema elektri-generaatori. Ka mehaaniline akumulaator on suhteliselt kallis. Pealegi võimaldab ta salvestada energiat vaid lühikeseks ajaks, tasandades lühiajalisi tuuletugevuse kõikumisi.

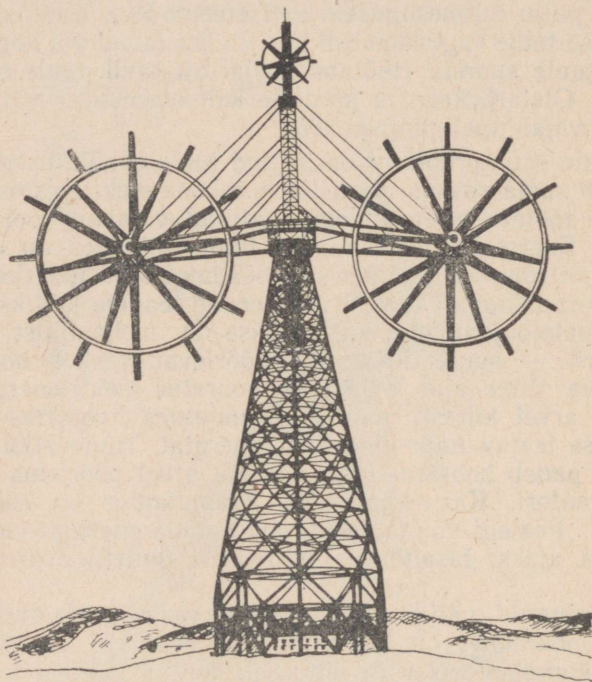
Mõningaid väljavaateid on nn. vesiniku-akumulaatoril, mille põhimõtet on kirjeldatud II peatükis lk. 48. Sellises akumulaatoris võib kütuseelementide asemel kasutada ka eritüübilist gaasimootorit, kus vesinikku kasutatakse kütusena.

Häid tulemusi annab tuulejõujaamade koostöö hüdroelektrijaamaga. Tugeva tuule puhul võib tuulejõujaama energia ülejääke kasutada isegi vee tagasipumpamiseks paisjärve, suurendades sellega hüdroelektrijaama energiaru.

Kõige tõhusamaks vahendiks on kahtlematult tuulejõujaamade ühendamine ühisesse energiasüsteemi mitut tüüpi elektrijaamadega. Sellega langeb ära vajadus igasuguste akumulaatorite järele.

Viimastel aastatel on välja töötatud palju huvitavaid

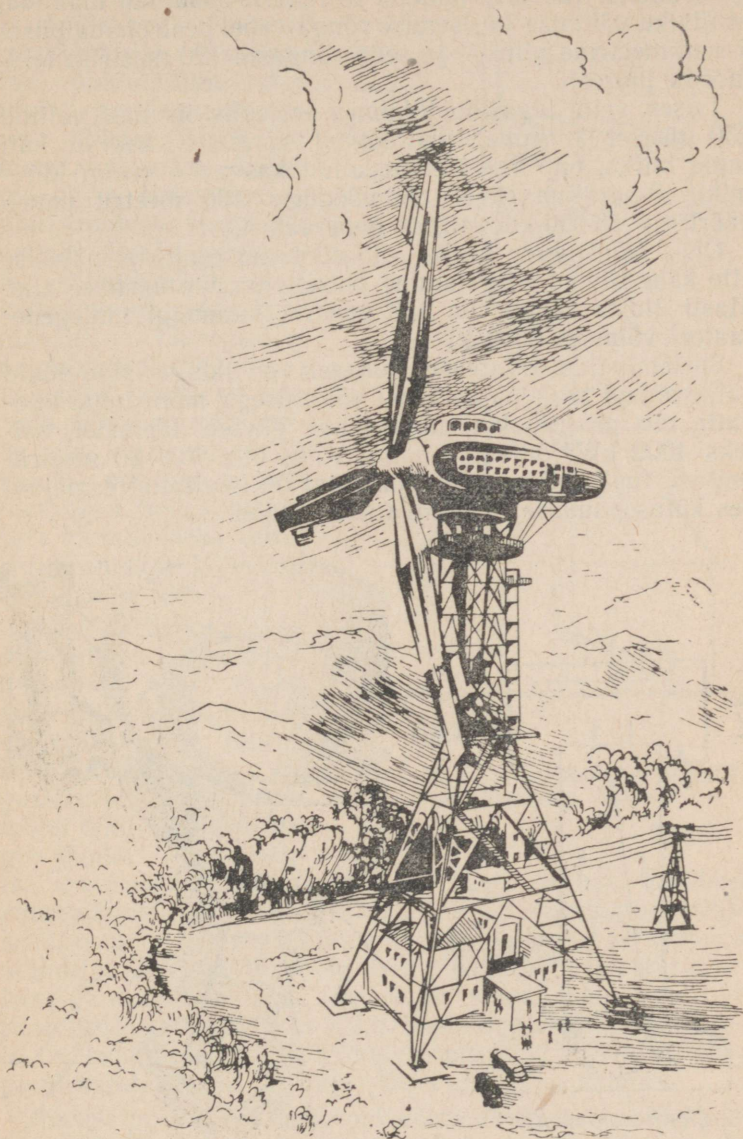
projekte võimsate tuulejõuamade ehitamiseks. Saksa inseneri Honnefi projektides (joon. 38) koosneb tiivik kahest osast — sisemisest ja välimisest, mis pöörlevad teineteisele vastassuunas. Tiiviku välimine ja sisemine rõngas on ühtaegu elektrigeneraatori rootoriks ja staatoriks. Seega moodustavad tiivik ja elektrigeneraator ühe terviku.



Joon. 38. Ülivõimas tuulejõujaam (ins. Honnefi projekti järgi).

Projekteeritud tuulegeneraatorid on ülivõimsad — kuni 20 000 kilovatti ühe tiiviku kohta! Tiivikud ja kandemast peavad muidugi olema tohutu suured, näiteks masti kõrgus maast tiiviku teljeni on 270 meetrit, masti läbimõõt alumises otsas 160 meetrit, tiiviku läbimõõt samuti 160 meetrit.

On siiski karta, et see huvitav projekt on tehniliselt teostatamatu. Vaidlusi tekitab juba seadme suurus. Tuhandetonnine raam, millele on kinnitatud tiivikud, on liiga kohmakas ja raske, et pöörduda küllalt kiiresti vastavalt tuule



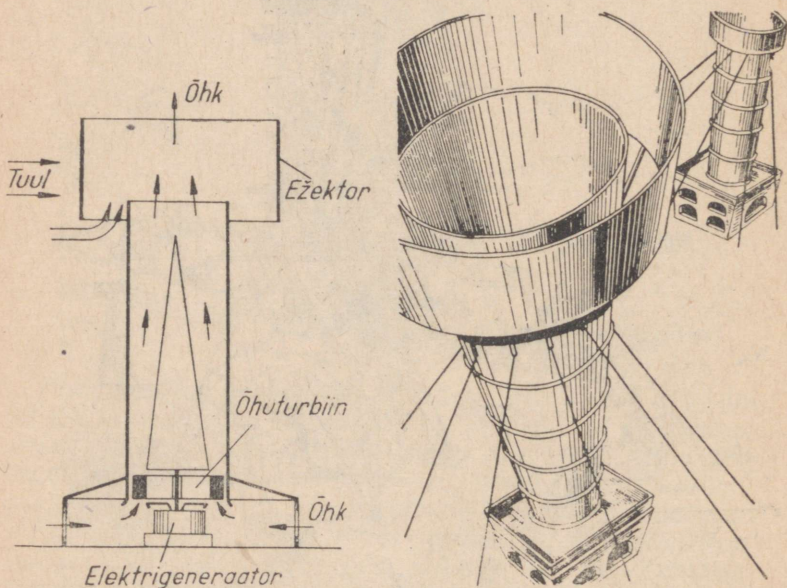
Joon. 39. Võimsa tuulejõujaama projekt.

suuna ja kiiruse muutustele. Samuti on kirjeldatud elektri-
generaatorit vaevalt võimalik ehitada. Piisab, kui mainida,
et tiiviku välimise ja sisemise rõnga vahel peab olema püsiv
2-sentimeetrine pilu — ja seda rõngaste 120-meetrise läbi-
mõõdu juures!

Teises, veidi tagasihoidlikumas projektis on mast valitud
250 meetri kõrgune. Suurematel kõrgustel kasvab küll
tuule kiirus, ent masti ehituskulud kasvavad veelgi kiire-
mini. 3-haruline tiivik läbimõõduga 130 meetrit paneb
pöörlema 18 000-kilovatilise generaatori.

Ühes Nõukogude Liidus väljatöötatud projektis nähakse
ette kahe tiiviku paigutamine ühisele mastile üksteise alla.
Masti üldine kõrgus on 158 meetrit, kummagi tuulegene-
raatori võimsus 5000 kW.

Spetsialistide arvamuse kohaselt on kõige suuremaid
väljavaateid tuulejõujaamadel võimsusega mõni tuhat kilo-
vatti, mis püstitatakse rühmadena. Tiiviku läbimõõt näi-
teks 4000 kW jõujaama puhul võiks olla 70—80 meetrit.
Selliste tuulejõujaamade rajamisest on huvitatud esmajoo-
nes kütusepuuduse all kannatavad maad.

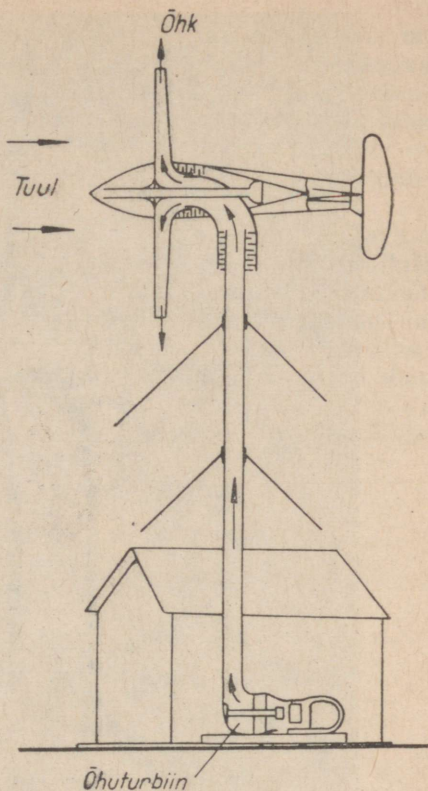


Joon 40. Ežektoriga tuulejõujaama skeem ja üldvaade.

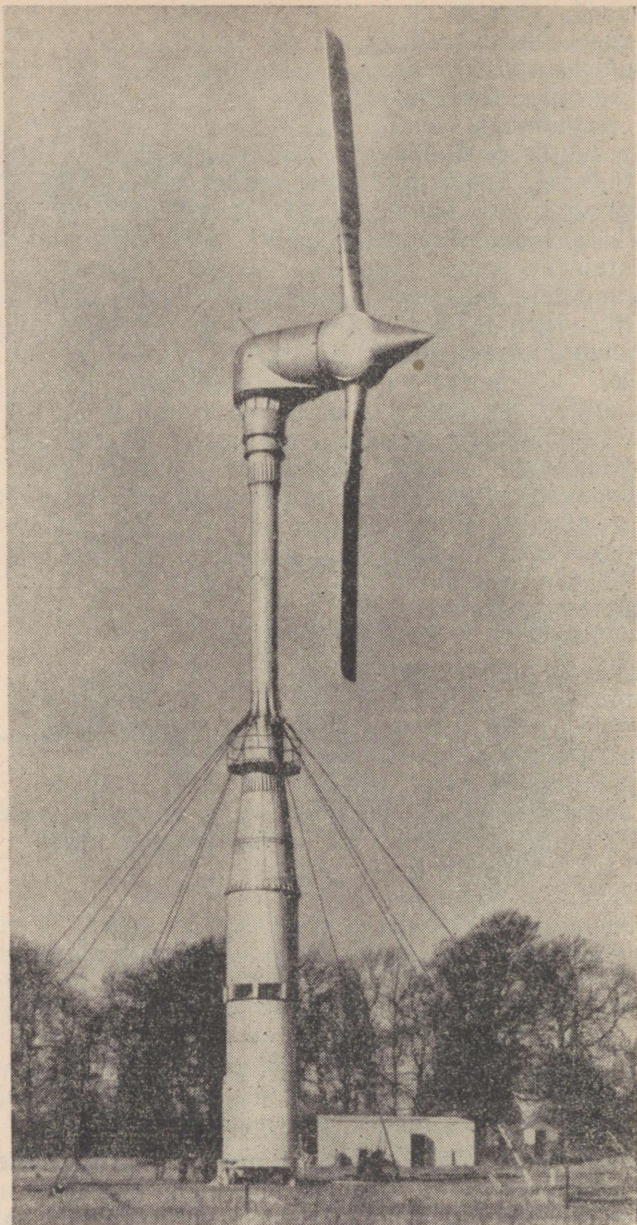
Tuulejõujaamade ehitamisel valmistab raskusi jõuülekanne tiivikult generaatorile. Generaatori paigutamine otse tiiviku juurde masti otsa on tülikas. Tiivik on kinnitatud masti külge nii, et ta hoiab ennast alati «tuules», seega liikuvalt. Raske generaatori ühendamisel tiivikuga muutub seade kohmakaks. Generaatori paigutamisel maapinnale, masti jalale, on aga vaja pöörlemine üle kanda pika vertikaalse võlli kaudu, mis on samuti ebamugav. Sellest raskusest ülesaamiseks esitasid prantsuse insenerid originaalse idee.

Masti ja tiiviku asemel püstitatakse kõrge korstnataoline toru (joon. 40), mille alumises otsas asub õhuturbiin (ehituselt sarnane auru- või gaasiturbiiniga). Tuule mõjul tekib korstnas tugev tõmbus — see nähtus on meile igapäevasest elust hästi tuntud. Tõmbuse suurendamiseks on korstna ülemine ots varustatud erilise seadise, nn. ežektoriga, mis koosneb lühikesest terasplekist silindrist. Tekkiva õhuvoolu toime hakkab õhuturbiin pöörlema ja annab energiat. Projekt on silmapaistev oma lihtsuse poolest: õhuturbiin asub maapinnal kinnises hoones ja on kaitstud ilmastikumõjude eest, puuduvad kohmakad jõuülekanded, seade ei vaja pööramist tuule suunas.

Ilmselt pole siiski osutunud võimalikuks saada kirjeldatud põhimõttel küllalt tugevat õhuvoolu. Seetõttu andis insener M. Andreau projektile teise kuju (joon. 41). Masti



Joone. 41. Oõnsalabalise tiivikuga tuulejõujaama skeem.



Joon. 42. Tuulejõujaam võimsusega 100 kW (Inglismaal).

otsas pöörleval tiivikul on seest õõnsad labad, mis on masti sees kulgeva toru kaudu ühendatud maapinnal asuva õhuturbiiniga. Tuule mõjul hakkab tiivik pöörlema, seejuures paisatakse tsentrifugaaljõu mõjul labades olev õhk laba otste kaudu välja. Sellega tekib püsttorus tõmbus — tugev, alt üles suunatud õhuvool, mis paneb pöörlema õhuturbiini.

Joonisel 42 on toodud foto samal põhimõttel töötavast 100-kilovatilise võimsusega tuulejõujaamast, mis ehitati Inglismaal. Masti kõrgus on 30 meetrit, tiiviku läbimõõt 24 meetrit ja kummagi laba kaal 800 kg. Õhuturbiin ja elektrigeneraator asuvad masti jämedamas alumises osas. Kavatsusel on ehitada samatüübiline, kuid võimsam jõujaam.

Seda tüüpi tuulejõujaamadele võimsusega 100 kW ja enam võib ennustada laialdast levikut.

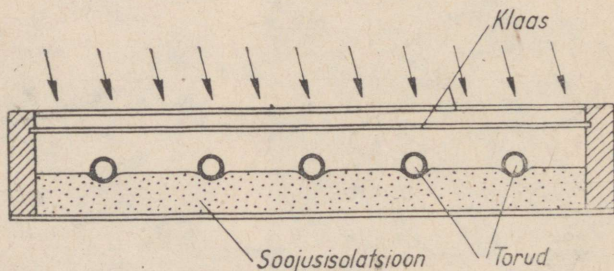
VÄHEKASUTATAVAD ENERGIAALLIKAD LOODUSES

PÄIKESEKIIRGUS

Esimeses peatükis oli juttu sellest, et suurem osa maa-pealseid energiaallikaid — tuul, kütused, jõgede hüdro-energia jt. — on tekkinud tänu päikesekiirgusele. Taimede keemiliseks energiaks, samuti tuule- ja vee-energiaks muundub aga vaid tühine osa kogu maakerale langevast kiirgusest (vt. energiabilanssi joon. 2). Seetõttu tundub mõte päikesekiirguse otsesest kasutamisest energiaallikana väga ahvatlev.

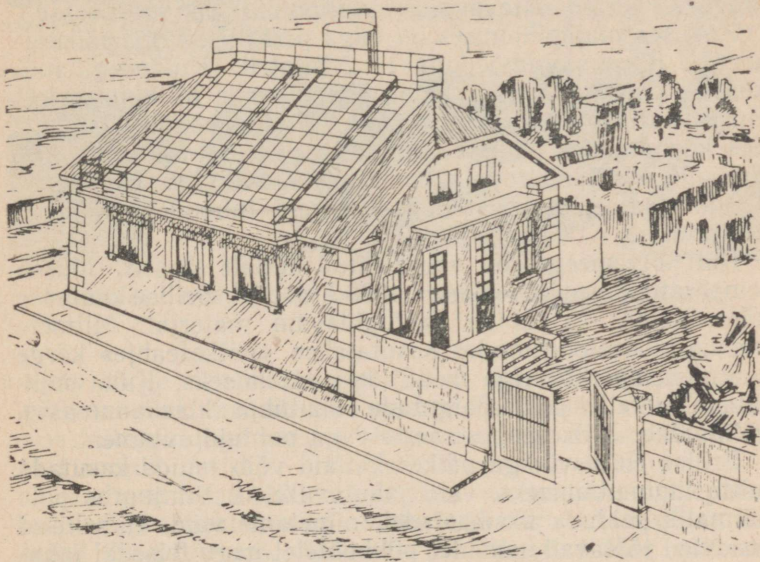
Maakeral leidub palju kasutamiskõlbmatuid maa-alasid, kuhu langeb päikesekiirgusena suurel hulgal energiat. Troopikavööndis on maapinna ühele ruutmeetrile langeva kiirguse võimsus keskmiselt üks kilovatt. Isegi kui suudaksime sellest ära kasutada vaid ühe kümnendiku (s. t. kui saavutaksime kasuteguri 10 protsenti), võiks üksnes Egiptuse territooriumil asuvatest kõrbetest saada kolmsada korda rohkem energiat, kui annavad praegu kogu maailma elektrijaamad (muidugi ainult päeva ajal).

Langedes mingile pinnale muundub päikesekiirgus vahenditult soojuseks, mille tagajärjel pind kuumeneb.



Joon. 43. Päikesekatla ehitus.

Oleks loomulik rakendada päikesekiirgust esmajoones kuumutamiseks, näiteks kuuma vee ja auru saamiseks, et säästa kütuseid.



Joon. 44. Päikeseküttega sauna tüüpprojekt.

«Päikesekatlaid» on mitmesuguse ehitusviisiga. Insener Trofimovi konstrueeritud päikesekatel koosneb lamedast, soojuse suhtes hästiisoleeritud kastist, mis on kaetud ühe- või mitmekordse klaasiga (joon. 43). Kasti põhjal paiknevad veega täidetud torud. Sellist kasti võiks võrrelda kasvuhoonega, ainult et siin saavutatakse märksa kõrgemaid temperatuure. Taškendis tõusis juulis temperatuur kastis keskpäeval 185 kraadini, sellal kui õhu temperatuur oli vaid 30 kraadi. Sellise «soojuskasti» abil võib saada kuuma ja isegi keeva vett saunadele, pesumajadele, sööklatele jne.

Kirjeldatud ehitusega päikesekatlad on Nõukogude Liidu lõunapoolseis vabariikides laialdaselt kasutusel. Ka Ameerika Ühendriikides kasutatakse taolisel põhimõttel töötavaid päikesekütteseadmeid.

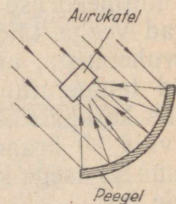
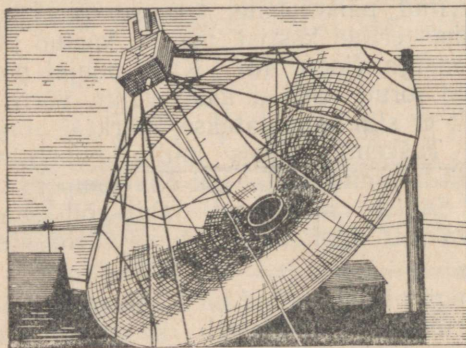
Et saada kõrgemaid temperatuure, selleks on vaja päikesekiiri koondada. Paljud on kindlasti proovinud süüdata paberit või puitu suurendusklaasi abil. Võimsamates kuumutusseadmetes kasutatakse klaasist läätsede asemel nõguspeegleid, mis samuti nagu läätsed koondavad neile langevad kiired ühte punkti — tulipunkti ehk fookusesse.

Koduses majapidamises on väga praktilised nn. päikesekeetjad peegli lähimõõduga 1—2 meetrit. Kui peegli fookusesse paigutada väike katel, võime saada nii kuuma vett kui ka auru toidu valmistamiseks. Teistes konstruktsioonides koondatakse päikesekiired otse pannile või kastrulile. Troopika- ja lähistroopikamaades, nagu Indias, Egiptuses, Kalifornias ja mujal, töötab kümneid tuhandeid päikesekeetjaid.

Kui nõguspeegel on valmistatud küllalt täpselt, tõuseb temperatuur peegli fookuses 4000 kraadini. Sellise kuumuse käes sulab ka kõige vastupidavam materjal. Mitmete maade laboratooriumides kasutatakse «päikeseahje» kõrge sulamistemperatuuriga metallide sulatamiseks. Kuna sulatatava metalli võib paigutada õhutühja klaasanumasse, võimaldab «päikeseahi» saada väga puhtaid sulameid.

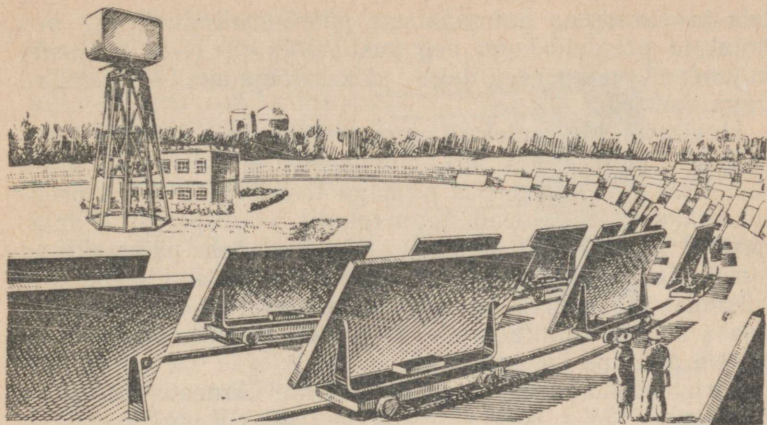
Erilise ehitusviisiga päikesekatlaid võib muide kasutada mitte kuumutamiseks, vaid jahutamiseks! Siinjuures pole võimalik peatuda üksikasjadel, nimetame vaid, et sellised seadmed töötavad samadel põhimõtetel nagu teisedki jahutusseadmed, näiteks külmutuskapid. Taolistel seadmetel on kõrbetingimustes suur tähtsus.

Asetades suure nõguspeegli fookusesse aurukatla, võime



SKEEM

Joon. 45. Peegliiga varustatud päikesekatel.



Joon. 46. 1200 kW võimsusega päikese-elektrijaama projekt.

toota kõrge temperatuuriga auru. Joonisel 45 kujutatud päikesekatlal, mis on üles seatud Taškendis, on 10-meetrise läbimõõduga peegel. Katel muudab auruks 50 liitrit vett tunnis.

Saadavat auru võime kasutada aurumasina töölepanekuks või ka elektrienergia tootmiseks auruturbiiniga varustatud elektrijaamas. Esimene praktiliselt töötav päikesejõuseade, ehitatud prantslase Pifre'i poolt, oli välja pandud 1881. a. Pariisi maailmanäitusel. 1900. aastal katsetati Kalifornias juba seadet, mille peegli läbimõõt oli 10 meetrit.

Võimsaima teada oleva päikesejõuseadme ehitas ameeriklane Shuman 1913/14. aastal Egiptuses Kairo lähedal. Seadmepool oli 5 reflektorit — seekord mitte ümmargust, vaid künakujulist. Iga reflektori pikkus oli 65 meetrit ja laius 4,5 meetrit. Jõuseadmelt loodeti saada 50-hobujõulist võimsust, ent ta ei täitnud temale pandud lootusi.

Hiljem on loodud rida nõguspeeglitega päikesejõujaamade projekte, kuid väljavaated nende teostamiseks on üsna väikesed. Jaama võimsuse ühe kilovati kohta on vaja 10 ruutmeetrit peegli pinda. Seetõttu vajab näiteks väike, 1000-kilovatiline jõujaam 120 peeglit läbimõõduga 10 meetrit. Kümne meetrise läbimõõduga nõguspeegli valmistamine on aeganõudev ja suurt täpsust vajav töö, seetõttu on peegel väga kallis. Peeglid tuleb kinnitada kõrgetele alus-

tele ja varustada automaatsõite pööramisseadmetega, mis hoiaksid peegleid kogu aeg vastu päikest. Neil põhjustel kujunevad nõguspeeglitega päikesejõujaama ehituskulud väga suurteks.

Huvitav päikese-elektrijaama projekt on koostatud Nõukogude Liidus (joon. 46). Nõguspeeglite asemel on seadmel 1300 15-ruutmeetrise pinnaga tasapeeglit. Need peeglid kokku moodustavad nagu tohutu nõguspeegli üldpinnaga 2 hektarit ($20\,000\text{ m}^2$), mis koondab päikesekiired aurukatla mustaks värvitud torudele. Et jälgida päikese liikumist taevavõlvil, on peeglid paigutatud rööbastele ja lisaks sellele kallutatavad. Vastavalt peeglite edasinihkumisele pöörduvad ka aurukatel.

Kirjeldatud seade on projekteeritud Ararati oru jaoks Armeenia NSV-s, selle võimsus on 1200 kW. Näib, et tänu hästi läbimõeldud lihtsale konstruktsioonile on sellisel päikesejõujaamal mõningaid tulevikuväljavaateid.

*

Ülalkirjeldatud tüüpi päikesejõujaamas kohtame jällegi terve rida energia muundumisi: kiirgusenergia muundub soojuseks, mis auru vahendusel antakse edasi auruturbiinile ja muundub mehaaniliseks energiaks, see omakorda muundub generaatoris elektrienergiaks. Nagu soojuselektrijaamas, nii oleks ka päikese-elektrijaamas otstarbekas vähendada muundumiste arvu.

Selleks otstarbeks võime kasutada termoelementi, millega tutvusime II peatükis, lk. 43—45. Asendades päikesejõujaamas aurukatla termoelementidega, väheneks muundumiste arv tunduvalt ja kogu seade muutuks hoopis lihtsamaks. Katseliselt on seda tüüpi päikese-elektrijaamas õnnestunud saavutada kasutegurit 3,35 protsenti, kasutades päikesekiirte koondamiseks läätsi. Kui aga loobuda päikesekiiri koondavaist seadmeist — peeglitest ja läätsedest — ning paigutada termoelementid tasapinnaliselt, võib saavutada kasutegurit kuni 1 protsent.

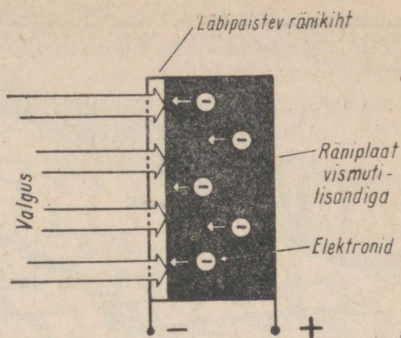
Veel paremad väljavaated on teisel seadmel, mis võimaldab veelgi vähendada energia muundumiste arvu — see on fotoelement, milles kiirgusenergia muundub otsestelt elektrienergiaks. Seni kasutati tehnikas fotoelementi, samuti nagu termoelementi, peamiselt mõõtmisteks, näiteks valgustugevuse määramisel, samuti kinos ja mitmesugus-

tes automaatikaseadmetes. Energiaallikana aga fotoelementi ei kasutatud. Põhjus oli sama nagu termoelemendi puhul — kasutegur ei ületanud mõnd sajandikku protsenti.

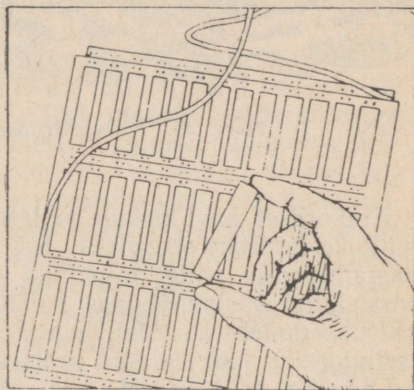
Viimaseil aastail on füüsikud fotoelementide väljatöötamisel teinud suuri edusamme. Joonisel 47 on kujutatud räni-fotoelemendi ehitus. Valguse toimel vabanevad räniplaadis elektronid, mis piirkihi eriliste omaduste tõttu saavad kulgeda vaid ühes suunas — pinnakihi poole. Elektronide ühesuunaline liikumine ongi elektrivool. Räni-fotoelemendi pinge on 0,5 volti, kasutegur ulatub 10 protsendini! Foto-elektrigeneraator pinnaga 20×30 sentimeetrit annab võimsust 6 vatti, millest piisab väikese raadiosaatejaama toitmiseks.

Saavutatud edusamud annavad põhjust loota, et peagi kasutatakse foto-elektrigeneraatoreid juba tööstuslikus ulatuses. See aga tähendaks suurt sammu edasi päikeseenergia rakendamisel.

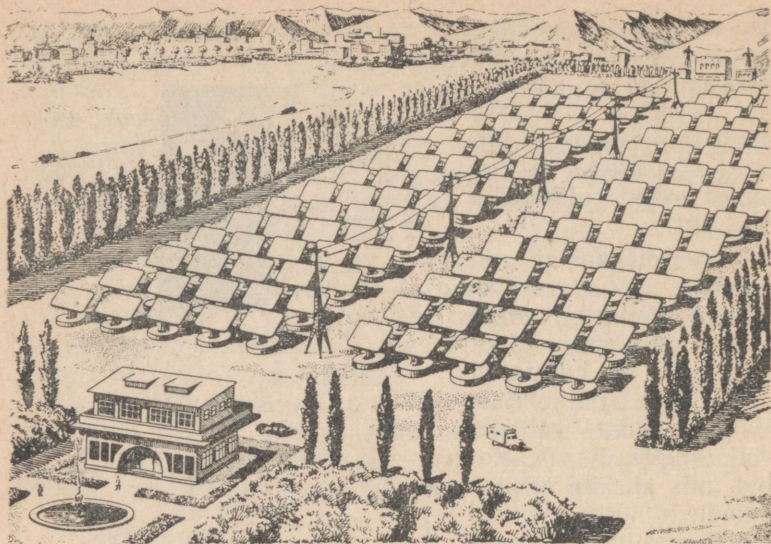
Fotoelektriline päikesejõujaam võiks koosneda lihtsalt maapinnale teatava nurga all liikumatult asetatud fotoelementide patareidest (joon. 49). Samuti võib üksikud patareid paigutada pöörlevatele alustele.



Joon. 47. Räni-fotoelemendi ehitus.



Joon. 48. Väikese võimsusega fotoelektrigeneraator.



Joon. 49. Fotoelektriline päikesejõujaam.

Erakordset huvi pakub päikesekiirguse otsene muundamine keemiliseks energiaks. Selline muundumisprotsess on aastamiljonite vältel toimunud taimelehtedes, kus õhust omandatud süsihappegaas muundatakse valguse kaasabil keerulisemateks süsinikuühenditeks — suhkruks, tärkliseks, tselluloosiks. Kirjeldatud protsess kannab nimetust fotosüntees (s. t. keerulisema aine valmistamine lihtsamast valguse toimetel). Fotosünteesi käigus muundub keemiliseks energiaks kuni 60 protsenti taimelehes neelduvast kiirgusenergiast. Sellele protsessile võlgname tänu kõigi kütusevarude, samuti kõigi toiduainete eest (loomse päritoluga toiduained saadakse samuti taimsetest nende ümbertöötamisel looma organismis).

Fotosünteesi teostamine tehnikas tähendaks võimalust toota tehislikult toiduaineid, aga võib-olla ka kütuseid, mis tooks endaga kaasa murrangu nii keemiatööstuses kui ka põllumajanduses. Ühtlasi oleks fotosünteesi teostamine samaväärne suurte energiahulkade säästmisega, mida tarvivad praegu need rahvamajandusharud.

Paraku on senini roheline puuleht ainsaks maapealseks

laboratooriumiks, kus suudetakse teostada fotosünteesi. Selle protsessi olemus pole teadusele veel selge; on vaid teada, et siinjuures mängib olulist osa taimelehtedes leiduv roheline pigment — klorofüll. Kui aga teadlased fotosünteesi saladuse lahendavad — ja see toimub varem või hiljem kindlasti —, siis on selle avastuse tähtsust inimsoole raske ülehinnata.

MEREDE SOOJUS

Mitmel pool maakeral leidub suuri looduslikke soojusevarusid. Päikesekiirguse mõjul omandavad veekogud — meri, järved ja jõed — suvel sellise hulga soojust, et nad talvel ei jõua põhjani külmuda (pealegi on jääkiht veekogu pinnal heaks soojuse isoleerijaks). Suured soojusehulgad peituvad samuti maapinnas.

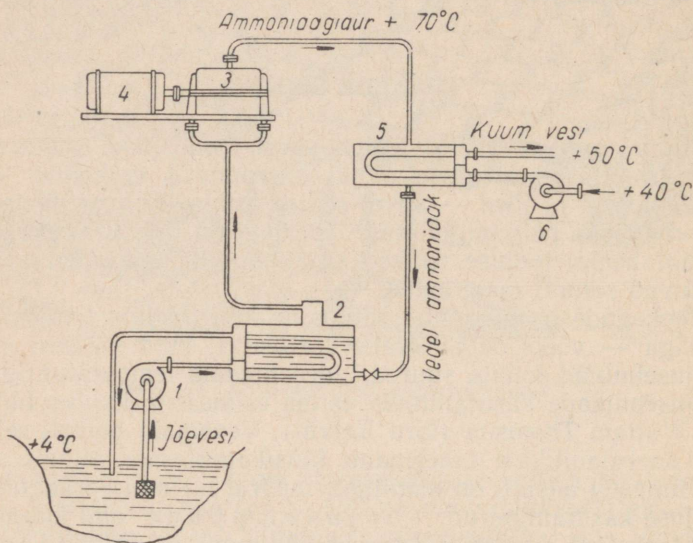
Veekogude ja maapinna soojus on küll madala temperatuuriga — võiks öelda «väheväärtuslik», kuid see-eest on soojusehulgad tohutu suured. Idee madala temperatuuriga soojusehulkade kasutamiseks esitas esimesena kuulus füüsik William Thomson (lord Kelvin). Venemaal pööras sellele energiaallikale tähelepanu füüsikaproffessor Mihelson.

Viimaseil aastail on mõningal määral levinud veekogude soojuse kasutamine nn. soojuspumpade abil kuuma vee tootmisel hoonete kütmiseks. Nimetus on tingitud sellest, et soojuspump nii-öelda «pumpab» soojust veekogudest, viies seda kõrgemale temperatuurile.

Soojuspump töötab järgmiselt (joon. 50). Tavalise pumba abil ammutatakse veekogust — jõest või järvest — vett, mis kulgeb läbi aurustaja torude, ja juhitakse tagasi veekogusse. Aurustajat täidab eriline vedelik, näiteks ammoniaak, mis keeb juba miinus 33 kraadi juures. Veekogust võetava vee temperatuur on kevadel või sügisel 15—20 kraadi, talvel keskmiselt 4 kraadi. Seetõttu ammoniaak aurustub, aur aga juhitakse kompressorisse, kus ta kokku surutakse. Gaaside ja aurude kokkusurumisel nende temperatuur tõuseb (tuletame meelde jalgrattaventiili kuumenemist kummi täispumpamisel!). Kompressoris tõuseb ammoniaagi temperatuur 60—80 kraadini ja ta juhitakse kondensaatorisse, kus ammoniaak annab oma soojuse veele, ise sealjuures taas veeldudes. Vedel ammoniaak juhitakse tagasi aurustajasse. Kondensaatorist saadavat 50—

70-kraadist vett kasutatakse näiteks saunades ja pesumajades või siis kütteks.

Kompressor pannakse pöörlema tavaliselt elektrimootori abil. Selleks vajame teatava hulga elektrienergiat. Siiski on soojuspumba kasutamisel energiakulu ligi neli korda väiksem kui elektrienergiat otseselt kütteks kasutades.



Joon. 50. Soojuspumba skeem: 1 — pump, 2 — aurustaja, 3 — kompressor, 4 — elektrimootor, 5 — kondensaator, 6 — pump.

Soojuspumbad on eriti sobivad rajoonides, kus on olemas odav elektrienergia kompressori käitamiseks, kuid samal ajal on puudus kütustest. Ameerika Ühendriikides töötab sadu soojuspumpi kuni mitmesaja-kilovatilise võimsusega. Enamasti võetakse soojus veekogudest, sageli aga ka õhust ning üksikuil juhtudel maapinnast (selleks kaevatakse aurustaja torud otse maasse).

Soojuspumpades võib muide kasutada ka termoelemente (vt. II ptk., lk. 43). Juhtides termoelemendist läbi elektrivoolu, kuumeneb üks jootekoht, samal ajal kui teine jahutub. Paigutades esimese jootekoha tупpa ja teise välja, saame elektrivoolu abil «pumbata» soojust välisõhust tупpa — toas asuv jootekoht kütab tuba välisõhu soojuse arvel.

Kütmisel elektriabj abil saadakse kogu soojus elektrienergiast. Termoelektriline soojuspump vajab teoreetiliselt elektrienergiat kümme korda vähem (30-kraadise temperatuuride vahe puhul), kuna 90% soojusest «pumbatakse» väljast tuppa. Tegelikult esinevad seadmes mitmesugused energiakaod, millest tingituna elektrienergiat vajatakse 60% võrreldes elektriabjuga. Ent üsegi see tulemus pakub suurt praktilist huvi.

Samal põhimõttel töötab elektrikeetja, mis osa soojust võtab toa- või välisõhust. Sellised seadmed on praegu katsetamisjärgus ja nende praktiline rakendamine on kõige lähema tuleviku küsimus.

On huvitav märkida, et iga soojuspumpa saab tööle rakendada ka vastassuunas, «pumbates» soojust hoonest veekogusse või välisõhku. Seega saame olemasolevat kütteseadet suvel kasutada jahutamiseks.

*

Kas merede ja teiste veekogude soojust on võimalik kasutada soojusmootorite töölerakendamiseks? Sellele küsimusele saame vastuse termodünaamika II seadusest, millega tutvusime I peatükis. Nimetatud seadus võimaldab teha järelduse, et soojusenergiat saab muundada mehaaniliseks energiaks kõikjal, kus on olemas temperatuuride vahe. Mida suurem on see vahe, seda suurem on seadme kasutegur. Mõnel juhul võib aga osutuda otstarbekaks soojushulkade kasutamine õige väikeste temperatuurivahede puhul.

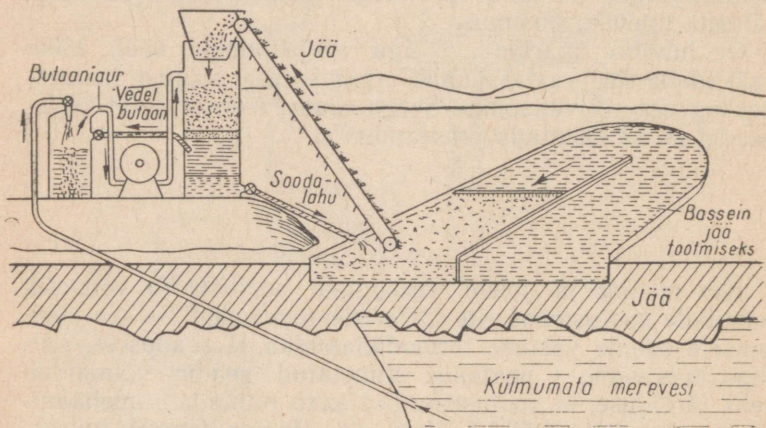
Looduse poolt loodud väikesi temperatuurivahesid kohatame mitmel pool. Talvel on järves või meres jää all vee temperatuur pidevalt pisut üle nulli, samal ajal kui õhu temperatuur võib olla mitukümmend kraadi alla nulli. Samuti on soojal aastaajal meres temperatuuride vahe pinnalähedaste soojade veekihtide ja sügavuste külmema vee vahel. Mõlemal juhtumil on võimalik toota mehaanilist energiat, s. t. rakendada tööle jõumasinaid, järelikult ka toota elektrienergiat jõujaamas. Saadav energia on muidugi algselt pärit Päikeselt, sest temperatuurivahed tekkisid päikesekiirguse teel saadud soojuse arvel.

Juba 1881. aastal näitas prantsuse füüsik d'Arsonval kaks tähtsat võimalust energia tootmiseks, kasutades

temperatuurivaheleid õhu ja merevee vahel polaarmaades ning merevee ülemiste ja alumiste kihtide vahel troopikameredes.

Polaarmaades on vee temperatuur jää all pidevalt 0 kuni 2 kraadi, õhu temperatuur aga aasta läbi vähemalt 20—40 kraadi alla nulli. Nimetame seda temperatuurivahet kasutavat elektriijaama «polaarjõujaamaks».

Kanada füüsik Barjot esitas järgmise polaarjõujaama projekti (joon. 51). Merest või järvest võetava veega «kõe-



Joon. 51. Polaarjõujaama skeem.

takse» katelt, milles asub vedel butaan (butaani saadakse nafta utmisel, toatemperatuuril on ta gaasiline ning veel-dub -10° juures). Katlas butaan muutub auruks, vesi aga jäätub sealjuures. Butaaniaur paneb pöörlema auruturbiini nagu tavalises soojuselektriijaamas. Edasi läheb butaan kondensaatorisse, kus teda jahutatakse veekogu pinnalt võetud jääga. Et jää sulaks võimalikult madalal temperatuuril, kasutatakse jää tootmisel soolvett, mis külmub alles -22° juures. Kondensaatoris jää osalt sulab, butaan aga muutub taas vedelikuks ja juhitakse tagasi katlasse.

Nagu näha, sarnaneb polaarjõujaam oma tööpõhimõtte poolest tavalise soojuselektriijaamaga, kuid aurukatlas on vee asemel butaan, katelt aga «köetakse» järveveega ja kondensaatorit jahutatakse jääga.

Polaarjõujaam võimsusega 20 000 kilovatti vajab oma vee- ja jäävajaduse katmiseks veekogu pindalaga üks ruutkilomeeter.

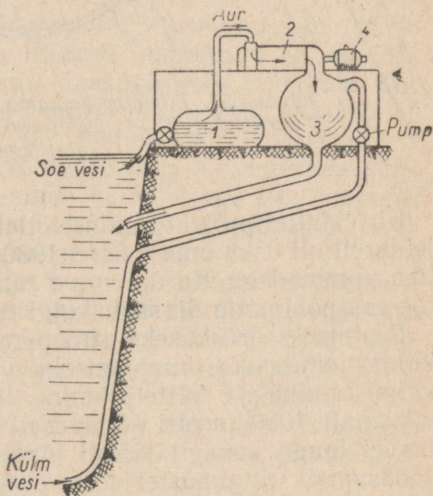
Polaarjõujaamad võiksid anda tunduval hulgal elektrienergiat polaarrajoonide kaevanduste ja teiste ettevõtete tarbeks. Teatavad ehituslikud raskused on seotud asjaoluga, et auru rõhk on äärmiselt madal (murdosa atmosfäärist), seetõttu muutuvad kõigi seadmete, esmajoones aga katla ja turbiini, mõõtmed väga suurteks.

Kuigi Barjot ise arvas, et polaarjõujaamas toodetav elektrienergia on 5—8 korda odavam hüdroenergiast, näib, et need kalkulatsioonid olid ülearu optimistlikud. Igatahes ei ole andmeid, et tänini oleks ehitatud ühtki suurema võimsusega polaarjõujaama.

*

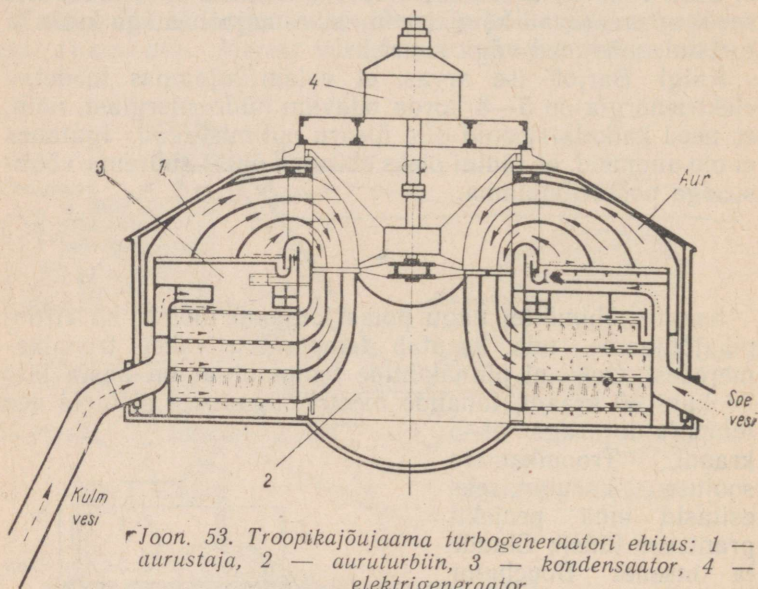
Samal põhimõttel nagu polaarjõujaam töötab ka «troopikajõujaam», mis kasutab temperatuurivahet troopikameres. Ookeani pinnakihtide temperatuur on aasta läbi 26 kuni 30 kraadi, tuhande meetri sügavuses ei ületa vee temperatuur aga 4—5 kraadi. Troopikamere soojuse kasutamiseks esitasid oma projekti prantsuse füüsik Claude ja insener Boucherot aastal 1926. Aurustamisele tulevaks vedelikuks ei valinud nad mingit erilist vedelikku nagu Barjot, vaid tavalise vee, kasutades ära asjaolu, et vee keemistemperatuur sõltub rõhust.

Kui keskmisel õhurõhul merepinna tasemel vesi keeb 100 kraadi juures, siis kõrgete mägede tipul, kus õhurõhk on madalam, keeb vesi juba 80—85 kraadi juures. Kui seadmes teki-



Joon. 52. Troopikajõujaama skeem:
1 — aurustaja, 2 — turbiin, 3 —
kondensaator, 4 — elektrigeneraator.

tada küllaldane hõrendus, võib saavutada, et vesi 4—5-kraadisel temperatuuril on vedel, kuid 25—30 kraadi juures aurustunud. Seega võime aurukatelt «kütta» ookeani pinna-veega, saades veeauru, mis paneb pöörlema turbiini. Auru veeldamiseks aga jahutame teda torustiku kaudu meresügavusest saadud külma veega (joon. 52).



Joon. 53. Troopikajoujaama turbogeneraatori ehitus: 1 — aurustaja, 2 — auruturbiin, 3 — kondensaator, 4 — elektrigeneraator.

Kirjeldatud projekt tundus tollal õige fantastilisena. Kuid leidureil oli usku oma töösse. 1930. aastal ehtasid nad isiklike summadega Kariibi mere rannikule katseseadme, mis tõestas põhimõtte õigsust, kuigi ta ei täitnud kõiki lootusi.

Peamiseks raskuseks troopikajoujaama ehitamisel on külma jahutusvee pumpamiseks vajaliku pika torujuhtme valmistamine ja vettelaskmine. Jahutusvett tuleb võtta vähemalt 1000 meetri sügavuselt. Kuna aga ookeani kalas ei lange kusagil täiesti järsult, siis tuleb isegi kõige soodsamail tingimustel toru pikkuseks võtta 2 kuni 2,5 kilomeetrit. Lisandub samalaadi raskus nagu polaarjoujaamas — seadmete suured mõõtmed tingituna madalast aururõhust.

Troopikajoujaamad on oma arengus jõudnud kaugemale

kui polaarjõujaamad. Üheks põhjuseks on kindlasti kergemad ehitamistingimused, võrreldes karmi polaarkliimaga. Ehitamisel olnud 10 000-kilovatilise võimsusega ujuva jõujaama purustas torm. On valminud projekt tööstuslikule elektrijaamale Lääne-Aafrikas Abidžanis võimsusega 7000 kW.

Jaamas tuleb ülesseadmisele kaks hiiglasuurt turbiini (joon. 53) kere läbimõõduga üle 37 meetri! Madala rõhu tõttu on võimalik valmistada turbiini kere raudbetoonist, seetõttu tuleb turbiin võrdlemisi odav. Jahutusvee võtmiseks lastakse merre 2,5-meetrise läbimõõduga terastoru, mis koosneb üksikuist omavahel ühendatud sektsioonidest. Toru kogupikkus on 4 kilomeetrit.

Troopikajõujaamas toodetava elektrienergia hind on mõnede hinnangute järgi madalam kui hüdroelektrijaamas. Seetõttu võivad troopikajõujaamad, aga võib-olla isegi polaarjõujaamad, omandada tulevikus teatava piiratud tähtsuse üksikute rajoonide varustamisel energiaga.

MAAPÕUE SOOJUS

Kõigi aegade usklikud on oma kujutluses maapõue sügavusse paigutanud tulega seotud jumalused ja olendid. Roomlaste usundi järgi asus maasügavuses tulejumal Vulcanus, kristlased paigutasid sinna põrgu oma väävlikatel-dega. Nendel kujutlustel oli teatav alus. Inimestel oli ammu teada, et mõnedes kohtades tungib maapõuest välja kuuma auru ja vett, vulkaanide pursetel aga isegi sulanud kivimeid — laavat. Sellest tehti üsna põhjendatult järeldus, et maapõues valitseb kõrge kuumus.

Veel mõnikümmend aastat tagasi olid kõigi maade teadlased arvamusel, et Maa on tekkinud kuuma gaasipilvena Päikesest eraldudes ja aegamööda kattunud tardunud koorikuga, kuna maa sisemus pole veel jõudnud jahtuda. Tänapäeval toetab enamik õpetlasi akadeemik Šmidt'i teooriat, mille kohaselt maakera tekkis külma kosmilise tolmu pilvest ja kuumenes alles hiljem radioaktiivsete ainete lagunemise tulemusena.

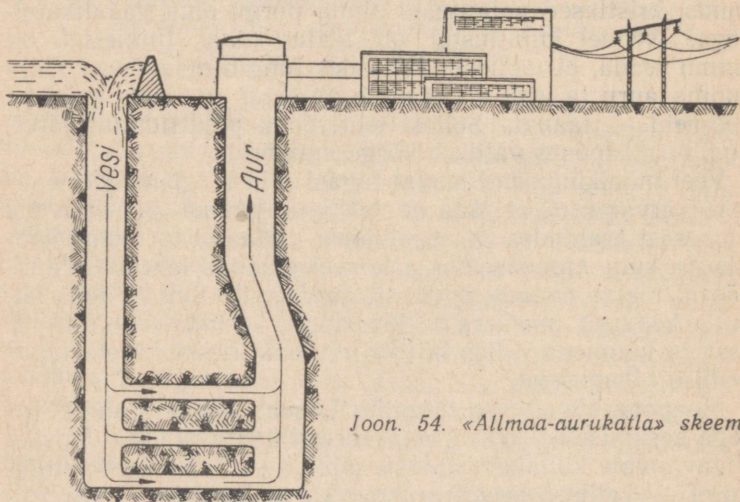
Maapõue sügavusse tungides kasvab temperatuur kiirusega keskmiselt 3 kraadi saja meetri kohta. Lõuna-Aafrika sügavaimate kullakaevanduste põhjas — 2 kilomeetri sügavusel — valitseb seetõttu üsna kõrge kuumus. Vulkaani-

liste rajoonide läheduses on temperatuuri kasv veelgi kiirem.

Niisiis elame, võiks öelda, küdeva ahju otsas. Miks mitte kasutada «ahju» soojust energiaallikana? Juba aastal 1682 tegi üks «leidur» ettepaneku taguda maasse pikad raudvardad, mille kaudu «põrgusoojus» jõuaks maapinnale ja kütaks elamuid. Pole vist vajadust selgitada selle naiivse projekti tehnilisi puudusi.

Läti kirjaniku Girupnieksi teaduslik-fantastilise romaani «Reis maakera sisemusse» kangelased toimetavad allmaasõiduki «Muti» abil maasügavusse termoelementide patarei, mis kaabli kaudu annab maapinnale elektrienergiat. Kuna termoelemendi teine jootekoht peab olema külm, soovitas autor seda jahutada maapinnalt allajuhitava vedela vesinikuga. Selle projekti ellurakendamiseks on vähe välja vaateid. Kõnelemata suure allmaasõiduki loomise raskusist pole veel olemas küllalt kompaktsed ja kõrge kasuteguriga termoelemente, samuti on vedela vesiniku allajuhtimine keerukas probleem. Rikete puhul puudub võimalus jaama remontida.

Üsna loomulikuna tundub auruturbiini looja, inglase Charles Parsonsi poolt esitatud projekt — kaevata maasse kaks sügavat vertikaalset šahti ja ühendada need alumises otsas käikudega (joon. 54). Ühe šahti kaudu voolab maa-



Joon. 54. «Allmaa-aurukatla» skeem.

sügavusse vesi (selleks rajame kanali mõnest veekogust šahti suudmeni). Jõudes maasügavusse ja tungides käikude kaudu teise šahti poole, muutub vesi kõrge kuumuse mõjul auruks, mis teise šahti kaudu jõuab uuesti maapinnale. Siin suunatakse aur elektrijaama turbiinidesse. Nii siis on tegemist soojuselektrijaamaga, mille aurukatel asub maapõues. Kui šahti juhtida 10 kuupmeetrit vett sekundis, võiks selline allmaakatel anda küllalt auru 3 miljoni kilovatilise võimsusega elektrijaamale.

Ehitades šahti ülemisse ossa hüdroelektrijaama, saame ära kasutada ka šahti langeva vee energiat.

Kirjanik Kandõba on allmaakatla ehitamist kirjeldanud teaduslik-fantastilises romaanis «Kuum maa». Autor on hästi edasi andnud allmaakatla ehitajate teel seisvaid raskusi. Et saavutada aurujõuseadmele hädavajalikku 250—300-kraadist temperatuuri, peab šahti sügavus olema vähemalt 6—8 kilomeetrit. Nagu juba mainitud, ei ületa tänapäeva sügavamate kaevanduste sügavus kahte kilomeetrit. Suurimaks raskuseks ehitajatele on šahti põhjas valitsev kuumus, mis takistab niihästi inimeste kui ka masinate tööd. Masinate juhtimiseks tuleks kindlasti kasutada automaatikat ja kaugjuhtimist. Selles osas pole autor sugugi kõiki tehnika võimalusi ära kasutanud, sest romaanis töötavad inimesed pidevalt šahti põhjas. Kuid isegi kaugjuhtimise puhul on masinate töö kindlustamine mitmesajakraadisel temperatuuril üliiraskeks probleemiks.

Mõningaid vastuväiteid võib tekitada allmaakatla tööpõhimõte. Kivimid juhivad soojust üsna halvasti, seetõttu on karta, et mõne aja pärast maa šahti ümbruses jahtub ja saadava auru temperatuur hakkab langema.

Võib-olla on õigem tee puurida augud veelgi sügavamale, magmakollete lähedusse, ja kasutada puuraukudest väljatungivaid kuumi gaase. Selleks otstarbeks kaugjuhitava puurmasina ehitamine on aga veelgi raskem, kuna tegemist tuleb juba ligi tuhandekraadiste temperatuuridega.

Tänapäeva tehnikale on allmaakatla rajamine veel üle jõu käiv. Kas selliseid jõujaamu kunagi hakatakse ehitama või mitte, on raske ennustada. Näib, et maapõu on uute energiaallikate seas üks raskemini vallutatavaid.

*

Mõnedes maakera piirkondades on loodus meile ise vastu tulnud ja loonud maa-alused aurukatlad. Jutt on vulkaanilistest rajoonidest, kus maapinna lähedest tungib välja kuumi gaase ja auru. Vulkaanilist auru võib edukalt kasutada nn. geotermilise elektrijaama töölerakendamiseks.

Esimene maapõuest saadavat auru kasutav jõuseade kolbaurumasinaga rajati Itaalias Toskaana provintsis juba 1904. aastal. Hiljem ehitati Larderello elektrijaam, mille võimsust järk-järgult suurendati. Praegu on vulkaanilist auru kasutavate elektrijaamade üldvõimsus Itaalias saavutanud 265 000 kilovatti ja need jaamad annavad $\frac{1}{8}$ kogu Itaalia elektrienergia toodangust. On kavatsusel ehitada veel uusi geotermilisi elektrijaamu.

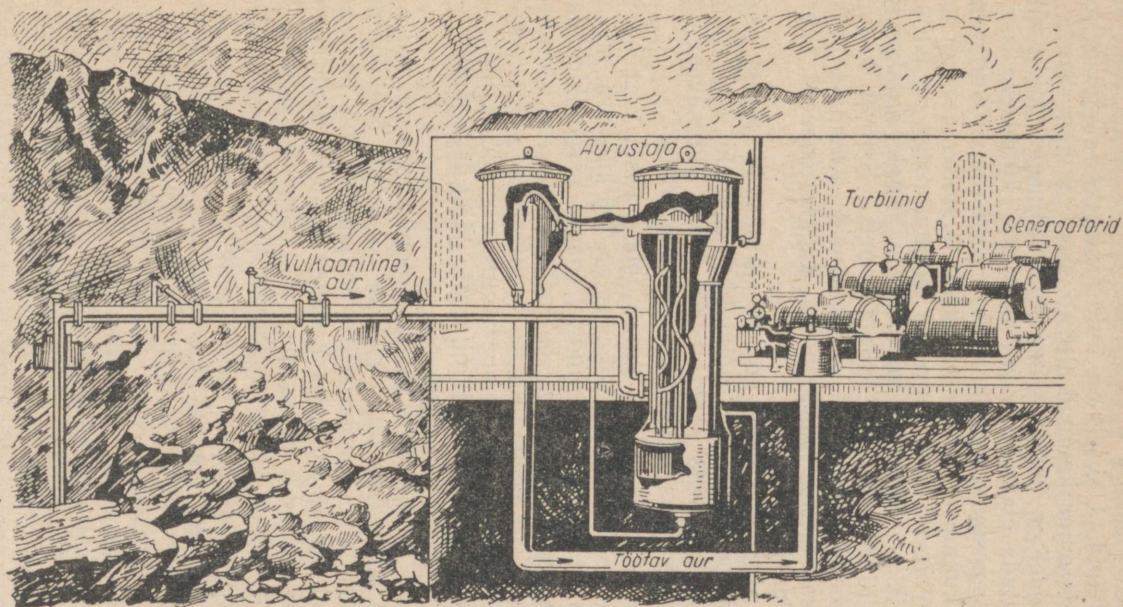
Kuna looduslikest lähedest saadav auruhulk oli võrdlemisi väike, siis asuti juba alguses puuraukude rajamisele. Sügavaimad puuraugud ulatuvad 3000 meetrini, enamik neist on aga märksa lühemad. Üksikud puuraugud annavad tunnis kuni mitusada tonni auru 3—30-atmosfäärilise rõhuga ja keskmiselt 200-kraadise temperatuuriga.

Kuna vulkaaniline aur sisaldab mõningaid happeid, mis rikuvad auruturbiini osi, siis kasutatakse vulkaanilist auru n. ö. aurukatelde kütmiseks ja alles kateldest (aurustajatest) saadav aur juhitakse turbiinidesse (joon. 55). Ühtlasi eraldatakse vulkaanilisest aurust väärtuslikud kemikaalid — boorhape jt.

Kui kasutada auruturbiini ehitamisel happekindlaid metallisulameid, võib vulkaanilist auru juhtida ka otse turbiini. Selline seade on märksa odavam. Praegu ehitatakse Larderellos selle skeemi järgi uut võimsat elektrijaama.

Vulkaanilisi rajoone leidub maakeral ka mujal. Kuna geotermiline elektrijaam võimaldab säästa kütuseid ja annab väga odavat elektrienergiat (kaks korda odavam kui hüdroelektrijaamadest saadav energia), siis on mitmed riigid huvitatud vulkaanilist auru kasutavate elektrijaamade ehitamisest. Uus-Meremaal töötab suur jõujaam võimsusega 134 000 kW, Islandis on ehitamisel 3000 kW võimsusega seade, väiksemaid geotermilisi elektrijaamu leidub Jaapanis, Jaava saarel ja mujal.

*



Joon. 55. Vulkaanilist auru kasutava elektriijaama skeem.

Paljudes maakera piirkondades leidub looduslikke kuumaveeallikaid. Üldiselt on tuntud näiteks Islandi geiserid ja Uus-Meremaa kuumad allikad, kus võib mune keeta. Ka neil juhtudel on tegemist maapõue soojusega, mida võime ära kasutada elamute ja kasvuhoonete kütmiseks, samuti saunades, pesumajades ja mujal. Eriti ulatuslikult rakendatakse kuumaveeallikate soojust Islandis. Islandi pealinna Reykjaviki varustamiseks kuuma veega on ehitatud 16 km pikkune torustik, mille kaudu linnale antakse igas minutis 16 000 liitrit 87-kraadist vett. Samuti köetakse kuuma veega lugematuid kasvuhooneid. Kuumaveeallikate soojust kasutatakse ka Jaapanis, Vaikse ookeani saartel, Kalifornias ja mujal.

Nagu nägime eelmises punktis, on merede soojust, olgugi madalatemperatuurilist, võimalik kasutada elektrijaama töölepanekuks. Seda enam on see kehtiv kuumaveeallikate märksa «kõrgemaväärtusliku» soojuse kohta.

Itaalias, Ischia saarel ehitati mõne aasta eest huvitav geotermiline elektrijaam võimsusega 300 kilovatti, mis töötab täpselt samal põhimõttel nagu eespoolkirjeldatud polaarjõujaam. Merevee asemel «köetakse» aurukatelt kuumaveeallika veega. Katlas aurustatakse eriline vedelik — etüülkloriid, keemistemperatuuriga $+12^{\circ}$. Etüülkloriidi aur paneb pöörlema turbiini, mille järel teda jahutatakse külma mere- või jõeveega.

Erineval põhimõttel töötas troopika jõujaam, kus soe merevesi hõrenduse tagajärjel ise aurustus. See põhimõte leiab rakendamist geotermilises jõujaamas, mis on praegu ehitamisel Belgia Kongos, Katanga kaevanduspiirkonnas. See väike jõujaam võimsusega 220 kilovatti kasutab looduslikust allikast saadavat kuuma vett temperatuuriga 90 kraadi. Auru jahutatakse järveveega.

Sellistel kuumaveeallikate soojust kasutavail jõujaamadel on märksa suuremad tulevikuväljavaated kui troopika- või polaarjõujaamadel. Kuigi jaama tööpõhimõte on sama, saame siin kasutada mitte enam 20—30-kraadist, vaid juba 60 kuni 70-kraadist temperatuuride vahet. Sellega vähenevad jaama ehituskulud mitmekordselt ja toodetava elektrienergia hind alaneb.

Maapõue soojuse kasutamiseks sobivaid kohti leidub ka Nõukogude Liidus. Esmajoones tuleb arvesse Kamtšatka poolsaar ja mõned Tšuktši poolsaare rajoonid, samuti mõned Kesk-Aasia ja Kaukaasia piirkonnad. Hiljuti aval-

datud teate kohaselt on Nõukogude Liidus projekteeritud geotermiline elektrijaam ühe meie maa idarajooni jaoks. Suurt tähelepanu tuleb pöörata kasvuhoonete kütmisele kuumaveeallikate abil sellistes karimi kliimaga rajoonides nagu Kamtšatka poolsaar ja Ida-Siber.

Maailma energiavarude seisukohalt on vulkaanilise auru ja kuumade vee kasutamisel siiski vaid piiratud tähtsus, olles abiks üksikute rajoonide varustamisel elektrienergia ja soojustega.

VÄLK JA ATMOSFÄÄRIELEKTER

Välgu suur jõud on kõigile hästi tuntud. Metsades lõhestab ta puid ladvast juurteni, asulais purustab hooneid. On esinenud juhtum, kus välg paiskas vundamendilt eemale mitmekorruselise kivimaja!

On loomulik, et leidureil on korduvalt tekkinud mõte rakendada välgu jõudu kasulikuks otstarbeks. Selle mõtte teostamisel seisavad ees väga suured tehnilised raskused. Välgu puhul on tegemist ülikõrgete elektripingetega, mis ületavad elektriülekandeliinides kasutatava kõrgepingega mitmekümnekordselt.

Ka välgu energia on sisuliselt pärit Päikeselt. Äikesepilvede tekkimine on tingitud kiirelt tõusvatest õhuvooludest või õhumasside segunemisest. Õhuvoolude põhjustajaks on aga maapinna ja mere ebaühtlane soojenemine päikese kiirguse toimel.

Kas välgu «kinnipüüdmine» energia tootmiseks on üldse majanduslikult tasuv? Üksiku välgu «jõud»; s. t. tema võimsus on suur, kuid välg «töötab» vaid ülilühikese aja vältel, mis ei ületa mõnd kümnetuhandikku sekundit. Energia võrdub aga võimsuse ja aja korrutisega. Kui arvutada tavalise elektrienergia tariifi alusel keskmise välgu «hind», siis saame üsna tagasihoidliku arvu — paar rubla. Isegi äikeserikkas rajoonis ei ole ühes kindlas kohas aasta vältel üle saja välgu. Siit järeldub, et välgu kasutamine energiaallikana ei ole tasuv.

Välku on mõtet kinni püüda vaid selleks, et kasutada tema tohutut elektripinget, mille saamine tehniliselt on väga raske. 1930. aasta paiku ehitati Alpides seade välkude püüdmiseks, mis koosnes kahe mäetipu vahele tõmmatud 600 meetri pikkusest metallvõrgust. Kinnipüütud

välke kasutati aatomituuma purustamise katsetel. Kuid peagi loobuti välgu «teenetest», kuna ei jätkunud kannatust oodata iga katse läbiviimiseks järjekordset äikest.

Atmosfäär sisaldab elektrilaenguid kogu aeg, mitte ainult äikese ajal. Seetõttu on atmosfääri ülemiste kihtide ja maapinna vahel pidevalt olemas sadade tuhandete völdideni ulatuv elektripingeline. Juba möödunud sajandi algul esitas Harkovi ülikooli professor Karazin atmosfäärielektrik kasutamise projekti. Sada aastat hiljem töötas sama küsimuse kallal prantsuse teadlane Plauson, kelle ettepaneku kohaselt tuleb õhupallide abil õhku tõsta suured terasvõrgud. Maapinna ja võrkude vahel tekiks sel juhul elektripingeline, mida saab kasutada elektrenergia tootmiseks.

Plauson lootis oma seadmete abil saada maapinna iga ruutkilomeetri kohta 400-kilovattilist võimsust, mis suuremate territooriumide puhul teeks välja miljoneid ja miljandeid kilovatte. Tänapäeva teadmiste valguses tundub projekt aga teoreetiliselt üpris kahtlasena, kõnelemata tehnilistest raskustest, millistest on raske isegi ülevaadet saada.

*

Eelnenud peatükkides tutvusime rea uute ja vähetuntud energiaallikatega. Igaüks neist avab teatava väljapääsu meid ähvardavast energianäljast — üks suuremal, teine väiksemal määral. Ent senini on jäänud mainimata energiaallikas, mis viimase 15 aasta vältel on tekitanud teaduses ja tehnikas tõelise murrangu — aatomi tuumaenergia. Missugused on selle noorima energiaallika kasutamise võimalused ja tulevikuväljavaated?

VI PEATÜKK

AATOMIENERGIA JA SELLE TULEVIK

MIS ON AATOMIENERGIA?

Kõik ained meid ümbritsevas maailmas koosnevad aatomeist, aatomid omakorda tuumast ja selle ümber tiirlevaist elektronidest, mis moodustavad elektronkesta. Kuni viimase ajani olid energeetikud suutelised valitsema vaid aatomite elektronkesta üle, kuhu on koondunud tühine osa aatomi massist. Keemilised reaktsioonid, sealhulgas põlemine, on seotud aatomite ümberrühmitumistega, kusjuures üksikud aatomid omandavad või annavad ära elektrone; valgus- ja soojuskiirguse tekkimine on seotud muutustega aatomi elektronkestas; vabade elektronide liikumises avaldub elektrienergia. Seetõttu võime kogu senituntud energeetikat nimetada elektronide energeetikaks. Aatomituum jäi aga senini puutumatuks.

Radioaktiivsuse avastamine möödunud sajandi lõpuaastail avas tee ka aatomituumade saladustesse. Raadiumi aatomituumade lagunemine oli esimene protsess, mille puhul vabanes mitte enam aatomi elektronkesta, vaid tuuma energia. Peagi õppisid teadlased ise tekitama uut tüüpi reaktsioone — tuumareaktsioone, mille puhul muutusid ja purunesid seni ligipääsmatud aatomituumad. Võimsate tuumareaktsioonide kõrval näivad kõik senituntud protsessid lausa mannetutena.

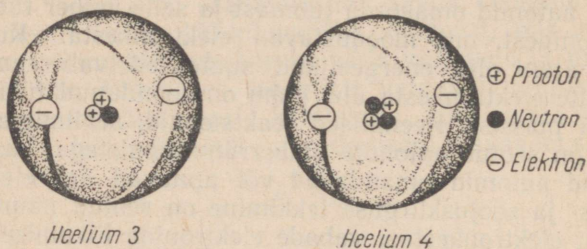
Nii panid aatomifüüsikud aluse uuele energeetikaharule — tuuma energeetikale.

Edaspidise mõistmiseks peatume õige lühidalt aatomituumade ehitusel⁶. Kõigi aatomite tuumad koosnevad prootoneist ja neutroneist, mis on omavahel praktiliselt võrdse

⁶ Soovi korral võib lähemaid andmeid leida mõnest aatomi ehitust käsitlevast brošüürist, näiteks V. A. Mezentsevi «Aatom ja aatomenergia», Eesti Riiklik Kirjastus, 1955.

massiga. Prooton kannab positiivset elektrilaengut, sellal kui neutron on hoopis ilma laenguta. Mingil keemilisel elemendil on prootonite arv kõigis aatomituumades sama ja võrdub tuuma ümber tiirlevate elektronide arvuga. Näiteks heeliumiaatomi tuum sisaldab alati 2 prootonit.

Neutronite arv tuumas võib olla mitmesugune. Heeliumiaatomi tuum võib sisaldada 1 või 2 neutronit (joon. 56). Mingi keemilise elemendi aatomeid erineva neutronite arvuga tuumas nimetatakse isotoopideks. Ühe elemendi kõikidel isotoopidel on ühesugused keemilised omadused. Küll aga võivad mõnel isotoobil tuumad olla püsivamad, teisel vähem püsivad ja kolmandal isegi radioaktiivsed.



Joon. 56. Heeliumiaatomi isotoopide ehitus.

Isotoope nimetatakse tavaliselt keemilise elemendi nime ja aatomikaalu järgi (aatomikaal võrdub tuumaosakeste koguarvuga). Joonisel 56 kujutatud aatomeid võime nimetada «heelium 3» ja «heelium 4». Loodusest saadud puhtad keemilised elemendid kujutavad endast tegelikult isotoopide segu. Tänapäeval suudetakse sellest segust eraldada ka puhtaid isotoope. Paljusid isotoope toodetakse tehiskult, nende hulgas selliseid, mida looduses üldse ei leidu.

Milles seisab tuumaenergia olemus? Kuidas on võimalik, et tillukeses aatomituumas, mis on võrreldes aatomi ruumalaga väike nagu kirsikivi jalgpalliväljakul, peituvad palju suuremad energiahulgad kui kogu aatomi elektronkestas? Selle mõistmiseks tuletame meelde üht-teist esimesest peatükist.

Salvestatud potentsiaalne energia on alati seotud mingisuguste jõudude olemasoluga. Käes kokkupigistatud vedru avaldab käele survet, sama suure survega surub käsi vedrut.

Ülestõstetud kellapomm tõmbab ketti, mille otsas ta ripub; elektriyaama paisu taha kogunenud vesi rõhub paisule. Mida suuremad on jõud, seda suurem on energia-varu.

Ka keemiline energia kuulub potentsiaalsete energiavor-mide hulka. Mõjuvateks jõududeks on siin elektrilised jõud elektronide ja aatomituumade vahel. Aatomituumas peituv potentsiaalne energia on aga määratud eriliste, tuumaosakeste vahel mõjuvate jõududega — tuumajõudu-dega, mis erinevad oma iseloomult elektrilistest jõududest. Suurte kauguste puhul aineosakeste vahel on ülekaalus elektrilised jõud, üliväikestel kaugustel osutuvad aga tuumajõud sadu miljoneid kordi tugevamaiks.

Kuna aatomituumas on tuumaosakesed — neutronid ja prootonid — tihedalt kokku surutud, siis on ülekaal üli-tugevatel tuumajõududel. Seetõttu ongi salvestatud ener-gia tohutu suur.

Kui purustame elektriyaama paisu, siis langeb vesi võimsa kosena — potentsiaalne energia muundub kineeti-liseks, liikumisenergiaks. Samuti juhtub aatomituuma lõhustumisel. Tuuma killud lendavad laiali tohutu kiiru-sega, potentsiaalne energia muundus kildude liikumis-energiaks (väike osa tuumaenergiast vabaneb ka kiirgu-sena).

Radioaktiivsete ainete, näiteks raadiumi aatomituumad lagunevad iseenesest, olgugi õige harva. Teiste tuumade lõhustamiseks on vaja neid «pommitada». Sobivaimaks «tuumamürsuks» on osutunud neutron — üks aatomituuma ehituskividest.

Nagu näitab Einsteini seadus energia ja massi vahelise seose kohta, mida mainisime esimeses peatükis, võiks teo-reetiliselt saada energiat hulgal, mis vastab kogu aatomi-tuuma massile. Tegelikult vabaneb mitmesuguste reakt-sioonide puhul suurem või väiksem osa sellest energiast — kütuse põlemisel mõni miljardik osa, aatomikatlas üks tuhandik, vesinikupommi plahvatusel aga ligi sa'andik. Seetõttu on mitmesugustes seadmetes tarvisminevad tuumakütuse hulgad tühiselt väikesed. Kui maailm vajab praegu ööpäevas ligi 7 miljonit tonni tavalisi kütuseid, siis tuumakütust uraani vajaks ta vaid 2,5 tonni, kõige täiuslikuma mõeldava tuumareaktsiooni puhul aga vähem kui 3 kilogrammi.

Üksiku «tuumamürsu» tekitamiseks ja teelesaatmiseks on vaja keerulisi aparate ning palju elektrienergiat. See tõttu ei ole mõeldav toota energiat tuumi ükshaaval lõhustades. Saadav energiahulk oleks palju kordi väiksem kulutatud energiast. Oleksime taolises olukorras, kui ahju kütmisel oleks vaja süüdata tikuga omaette iga puuosake. Tegelikult põleb halg ise edasi, kui ta ühest otsast läita. Esimene süttinud puuosake süütab teise, see omakorda kolmanda ja neljanda. Põlemisreaktsioon kasvab nagu mäeveerult allaveerev laviin, kuni halg on üleni tulest haaratud.

Taolist reaktsiooni nimetatakse ahelreaktsiooniks. Sama teed on vaja minna ka tuumaenergia vabastamisel. Selleks peab iga tuuma lõhustamisel tuumamürsuga tekkima vähemalt üks või rohkem uut «mürsku».

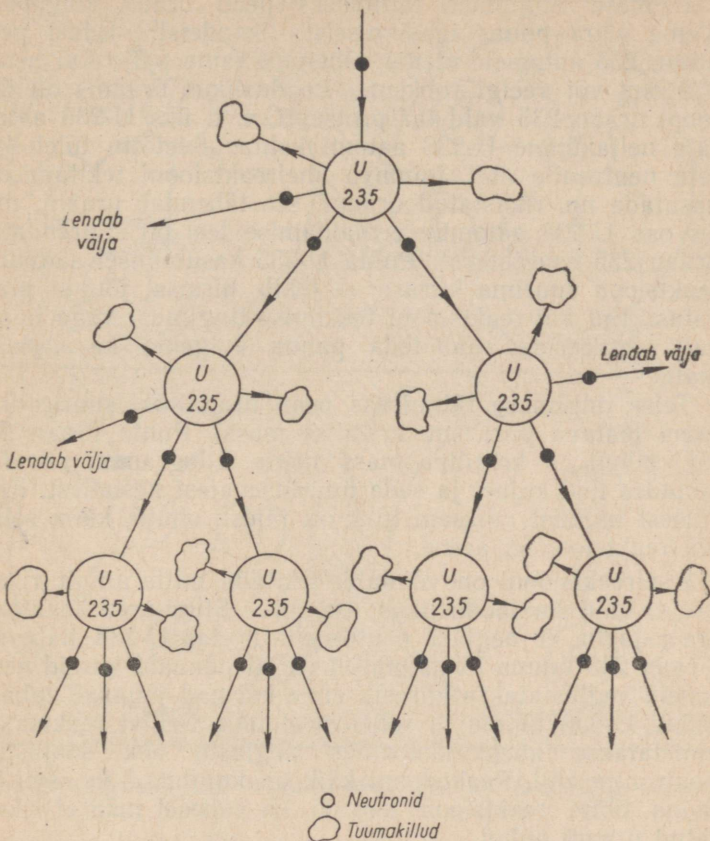
Aineid, kus võib toimuda tuumade ahelreaktsioon, nimetame tuumakütusteks. «Tavalistes» keemilistes kütustes teostub põlemisel keemiline ahelreaktsioon, samuti plahvatavates lõhkeainetes.

Esimeseks teadlaste poolt tundmaõpitud tuumakütuseks oli uraani isotoop uraan 235. Tuleb mainida, et looduslik uraan koosneb kahe isotoobi — uraan 235 ja uraan 238 segust. Tühisel määral leidub veel kolmandat isotoopi, millel praktiliselt ei ole mingit tähtsust.

Kui «tuumamürsk» — neutron tabab uraanituuma, siis käitub tuum kummagi isotoobi puhul erinevalt. Nn. kiired neutronid (kiirusega umbes 10 000 km/sek.) on võimelised lõhustama uraan 235 tuuma kaheks suuremaks killuks, kusjuures tuumast lendab välja ka 2 kuni 3 uut kiiret neutronit. Uraan 238 aga neelab teda tabanud kiire neutroni ja muundub rea vaheastmete kaudu uueks elemendiks — plutooniumiks, mis on samuti tuumakütus nagu uraan 235. Keskmise kiirusega neutroneid neelab uraan 238 eriti ahnelt. Väga aeglasi, nn. soojuslikke⁷ neutroneid neelab uraan 238 halvasti, uraan 235 lõhustub aeglaste neutronite mõjul sama hästi nagu kiirete puhul.

Joonisel 57 on kujutatud kiirete neutronite abil toimuva

⁷ Soojuslikeks nimetatakse neutroneid kiirusega alla 3 km/sek., ligikaudu sama kiirusega toimub gaasi molekulide soojuslik liikumine.



Joon. 57. Ahelreaktsioon kiirete neutronite abil puhtas uraanis 235.

ahelreaktsiooni skeem. Et selline reaktsioon saaks toimuda, on vaja täita järgmised tingimused:

1) uraanitükk ei tohi sisaldada liiga palju uraan 238 või ka teiste ainete tuumi, mis neelaksid neutronid enne, kui need jõuavad tabada järjekordset uraan 235 tuuma;

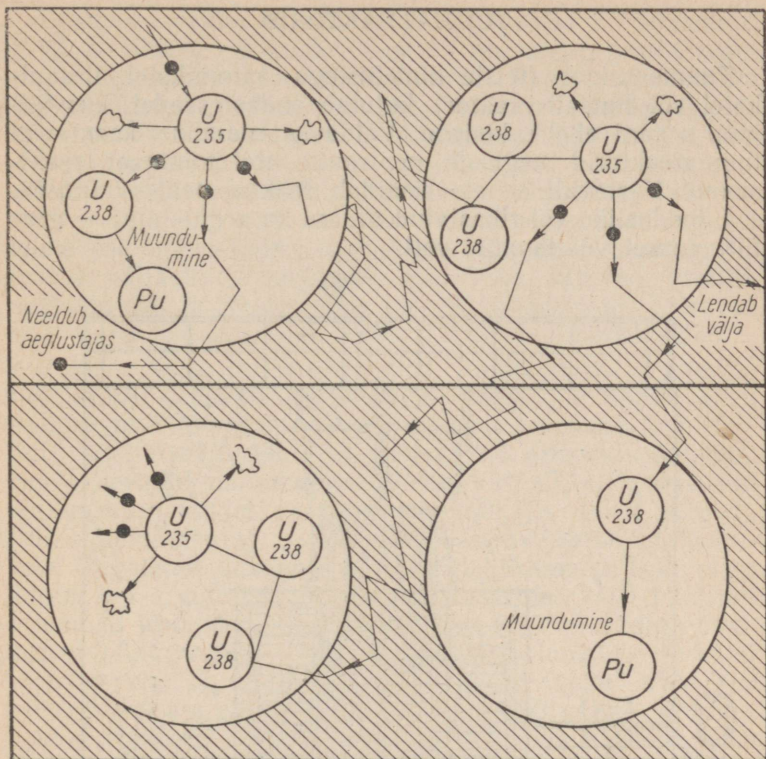
2) uraanitükk peab olema küllalt suur, et mingis suunas lendav neutron satuks uraan 235 tuumale enne uraanitükist väljalendamist (aatomituumad asuvad ju aines väga hõredalt, nagu kirsikivid jalgpalliväljakul, kui kasutada eespooltoodud võrdlust).

Esimese tingimuse täitmiseks peab uraan kõigepealt olema väga puhas ligasuguseist lisandest. Edasi peab uraan 235 aatomeid olema vähemalt sama palju kui uraan 238 omi või veelgi rohkem. Looduslikus uraanis on isotoopi uraan 235 vaid 0,7 protsenti, s. t. üks U-235 aatom saja neljakümne U-238 aatomi kohta. Seetõttu tuleb kiirete neutronite abil toimuva ahelreaktsiooni tekitamiseks kasutada nn. rikastatud uraani, see tähendab uraani, milles osa U-238 aatomite eemaldamise teel on suurendatud uraan 235 osatähtsust. Puhta U-235 kasutamisel saavutab reaktsioon suurima kiiruse — tekib hirmsa jõuga plahvatus. Ent kui reaktsiooni tekkimise tingimusi väga hoolikalt reguleerida, saab teda panna kulgema ka aeglase-malt.

Teise tingimuse täitmiseks peab uraanitüki suurus ületama teatava piiri, nn. kriitilise massi. Puhta uraan 235 tüki puhul on kriitiline mass mõne kilogrammi piirides, sõltudes tüki kujust ja seda ümbritsevatest kestadest. Kriitilisest massist väiksem tükk on täiesti ohutu, kuna selles ahelreaktsioon ei arene.

Ahelreaktsiooni on võimalik tekitada mitte ainult rikastatud, vaid ka looduslikus uraanis. Siinjuures kasutame ära asjaolu, et aeglasi neutroneid neelab U-238 halvasti. Uraan 235 tuuma lõhustumisel väljalendavaid kiireid neutroneid aeglustatakse kiiresti, enne kui nad jõuavad tabada mõnd U-238 tuuma ja selles neelduda. Sellist reaktsiooni nimetatakse ahelreaktsiooniks aeglaste ehk soojuslike neutronite abil. Reaktsiooni käik on kujutatud joonisel 58. Sama tüüpi reaktsioon teostub ka vähesel määral rikastatud uraani puhul.

Aeglustajana kasutatakse ainet, mis ei neela neutroneid, kuid mille tuumade vastu põrkudes neutronid kaotavad oma kiiruse, umbes nagu lutsuviskamisel kivi kaotab kiirust iga põrkega vastu veepinda. Praktiliselt sobivad selleks otstarbeks kõige paremini kaks ainet: süsinik, mida puhtal kujul esineb teemandina (muidugi liiga kallis materjal aatomikatla jaoks!) ning grafiidina, ja nn. raske vesi. Raske vees on tavaline vesinikuaatom asendatud «raske vesinikuga» — isotoobiga, mille tuum sisaldab lisaks ühele prootonile veel ühe neutroni. Selline vesi on püsut raskem tavalisest veest (1 liiter kaalub 1,1 kg). Looduslikus vees leidub rasket vett keskmiselt üks seitsmetuhandik.

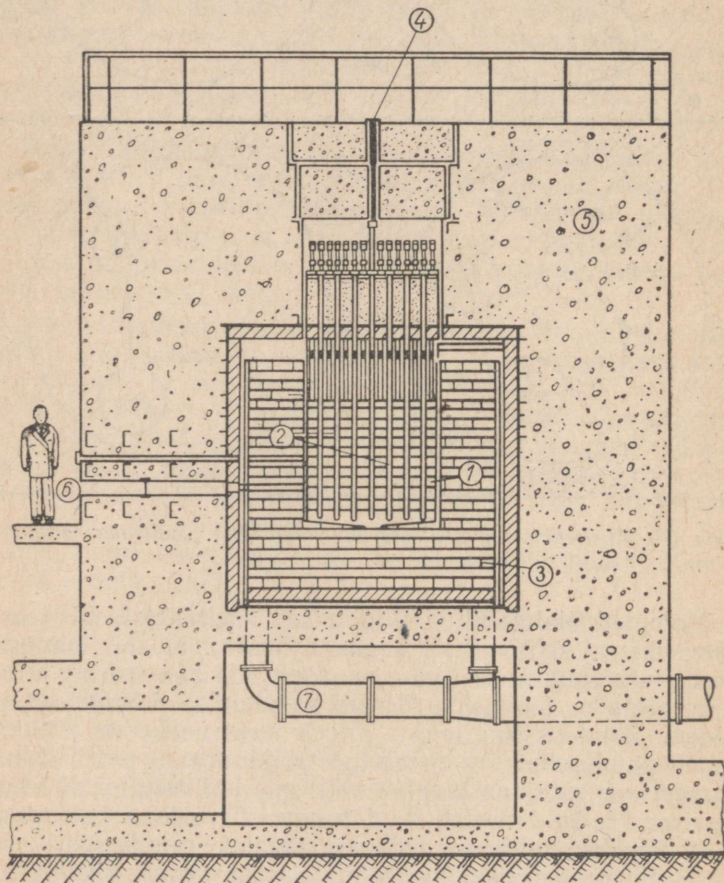


Joon. 58. Ahelreaktsioon aeglase neutronite abil looduslikus uraanis.

Mõlemad ülalmainitud tingimused ahelreaktsiooni teostamiseks on kehtivad ka aeglase neutronite abil toimuva reaktsiooni puhul. Kriitiline mass on siin aga märksa suurem, ulatudes loodusliku uraani kasutamisel kümnete tonnideni. Esimene tingimus — neutroneid neelavate kõrvalainete puudumine — takistab loodusliku uraani puhul kasutamast aeglustajana tavalist vett, mis küll aeglustab hästi neutroneid, kuid neelab neid tunduvalt rohkem kui raske vesi. Seetõttu tuleb aeglustajana tavalise (loodusliku) vee kasutamisel reaktsiooni toimumiseks võtta rikastatud uraani, et neutroneid tekiks rohkem.

TUUMAREAKTORID

Tuumareaktor (teiste nimetustega aatomikatel, uraani-katel või lihtsalt reaktor) kujutab endast seadet, kus toimub uraani ahelreaktsioon. Valdavas enamikus kasutavad tuumareaktorid aeglase neutronite abil toimuvat reaktsiooni. Vastavalt sellele sisaldab reaktor peale «kütuse», s. t. loodusliku või rikastatud uraani ka aeglustajat — grafiiti, rasket või tavalist vett.



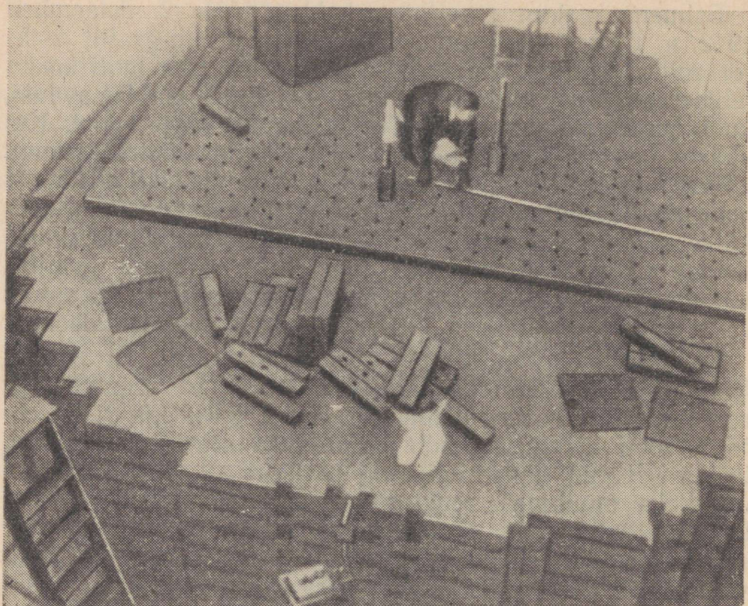
Joon. 59. Uraan-grafiit reaktori ehitus: 1 — grafiidplokid, 2 — uraani-
vardad, 3 — peegeldaja, 4 — reguleerimisvarras, 5 — betoonkaitse, 6 —
kanalid kiiritamiseks, 7 — ventilatsioonitoru.

Esimene reaktor maailmas hakkas tööle 2. detsembril 1942. a. Chicago ülikoolis. See oli nn. uraan-grafiit reaktor, milles kasutati looduslikku uraani. Reaktor laoti kokku tellisetaolistest grafiidiklotsidest. Osa neist sisaldas avausi, kuhu pandi uraanipulgad. Tekkis midagi kärjetaolist. Kui «kärje» suurus ületab teatava piiri, algab ahelreaktsioon. «Tikke» reaktsiooni süütamiseks, s. t. juhuslikke ekslevaid neutroneid leidub alati kosmilises kiirguses, samuti laguneb väike osa uraanituumi iseenesest. Esimesel lõhustumisel lendab välja 2—3 neutronit, mis kohe satuvad grafiiti, aeglustuvad, ja jõudes taas mõnda uraanitükki, kutsuvad esile uued lõhustumised. Selliselt areneb ahelreaktsioon.

Reaktor laoti üles kihtide viisi. Ligikaudselt oli arvutatud, millal saavutatakse kriitiline mass ja algab ahelreaktsioon. Arvutustulemused polnud päris kindlad, seetõttu võeti tarvitusele kõik mõeldavad ettevaatusabinõud, kaasa arvatud dünamiidilaeng reaktori all, et reaktsiooni ohtlikuks muutudes reaktor silmapilkselt laiali paisata. Dünamiidiplahvatus on siiski eelistatav aatomi-plahvatu-
sele! Tegelikult saabuski katla tööle hakkamise hetk pisut varem kui arvutatud. Selleks ajaks sisaldas katel 52 tonni uraani ja uraaniühendeid (katla kaal ühes grafiidiga moodustas 1400 tonni!). Tänu reguleerimisabinõudele jäi katel töötama kindlal tasemel, andes soojust algul vaid 0,2 vatti. Mõne aja pärast tõsteti võimsus 200 vattini. Rohkem polnud võimsust võimalik suurendada, kuna katlal puudus jahutusseadeldis.

Nõukogude Liidu esimene tuumareaktor oli samasuguse ehitusega nagu ülalkirjeldatud Chicago ülikooli reaktor. Ta kujutas endast grafiidiplokkidest laotud 6-meetrise läbimõõduga kera. Plokkide avaustes paiknes kokku 45 tonni uraani.

Reaktori töö reguleerimiseks, s. t. ahelreaktsiooni võimsuse suurendamiseks või vähendamiseks võib muuta uraani-hulka reaktoris, nihutades uraanivardaid välja- või sissepoole. Veelgi mugavam ja kindlam on kasutada teist reguleerimisviisi. Reaktoris asuvasse kanaleisse paigutatakse üks või mitu neutroneid eriti tugevasti neelavast ainest varrast. Sellisteks aineteks on metall kadmium või boori sisaldav teras. Reguleerimisvardas neeldub suur osa neutroneid enne, kui nad jõuavad lõhustada mõnd tuuma ja jätkata ahelreaktsiooni. Seega reaktsioon lakkab. Kui varras pikkamööda välja tõmmata, muutub reaktsioon järk-



Joon. 60. Nõukogude Liidu esimene aatomikatel (foto on tehtud ehitamise ajal).

järgult intensiivsemaks, kuni saavutab varda teatava asendi puhul soovitud taseme.

Tavaliselt on osa vardaid määratud reaktori töö reguleerimiseks, üks või kaks neist on aga «stoppvardad», mis avariil puhul seadme mingis osas lastakse silmapilkselt reaktorisse. Selle tagajärjel lakkab ahelreaktsioon otsekohe.

Suure võimsusega reaktorid tuleb varustada jahutus-seadmega. Esimestes võimsates uraan-grafiit reaktorites kasutati jahutamiseks õhku või vett, mis juhiti läbi reaktori torude. Kui reaktoris eralduv soojus jääb kasutamata, juhitakse jahutusvesi jõkke, jahutusõhk atmosfääri. Reaktoris viibides muutub jahutusvesi või õhk teataval määral radioaktiivseks. Et vältida ümbruskonna mürgitamist radioaktiivsete ainetega, tuleb hoolitseda, et jahutusvee radioaktiivsus ei ületaks lubatavat piiri. Jahutusõhk juhitakse atmosfääri kõrgete korstnate kaudu.

Võimsates tuumareaktorites eralduvad tohutud soojus-

hulgad. Näiteks Ameerika Ühendriikides, Hanfordis asuvad uraan-grafiit reaktorid võimsusega mitusada tuhat kilovatti plutooniumi tootmiseks aatomipommide jaoks. Jahutusvesi juhitakse Columbia jõkke, mille temperatuur selle tagajärjel tõuseb mitme kraadi võrra.

Reaktori lahutamatuks koostisosaks on mitmesugused grafiitsüdamikku ümbritsevad kestad (vt. joon. 59). Kõigepealt tuleb nn. peegeldaja, mis vähendab neutronite väljalendamist katlast. Peegeldajana kasutatakse grafiidikihti või õhukest metallikihti berülliumist.

Töötamisel tekitab reaktor tugevat radioaktiivset kiirgust, mis ohustab iga temale läheneva inimese elu. See tingib reaktori varustamist nn. bioloogilise kaitsega. Parimaks kaitseks kiirguse eest on paks seatinakest. Seatina on kallis ja defitsiitne materjal. Seepärast moodustab põhiosa kaitsekestast 1,5 kuni 3 meetri paksune betoonsein, millele lisandub sageli 10—20 sentimeetri paksune seatinakiht ja mõne millimeetri paksune kiht kadmiumi.

Uraan-grafiit reaktori kõrval on olemas väga palju teisi reaktoritüüpe, mida vaatleme lähemalt järgmises punktis.

Milleks kasutatakse aatomireaktoreid? Kõige esimesed reaktorid ja paljud hilisemad olid määratud teaduslike uurimuste läbiviimiseks. Tuumareaktoreis tekkiv ülitugev neutronite kiirgus võimaldab uurida mitmesuguseid tuumafüüsika probleeme. Sellise reaktori kaitsesein ja reaktorissee endasse tehakse vastavad kanalid uuritava preparaadi sisseviimiseks või neutronite joa väljajuhtimiseks (joon. 59).

Edasi kasutatakse reaktoreid radioaktiivsete ainete tootmiseks. Uraan 235 tuumade lõhustumisel tekkivad killud kujutavad endast mitmesuguste ainete aatomituumi (kokku tekib umbes 30 uut elementi). Suur osa neist on radioaktiivsed, näiteks radioaktiivne jood, koobalt jt. Neid aineid kasutatakse väga laialdaselt arstiteaduses, bioloogias ning teistel teaduse ja tehnika aladel.

Reaktoreid võib kasutada mitmesuguste ainete kiiritamiseks. Tugev tuumakiirgus võimaldab valmistada eriliiki plastmasse, toota lämmastikuühendeid ja rida teisi aineid. Sellistel protsessidel on tuleviku keemiatööstuses kahtlemata suur osatähtsus.

Reaktoreid kasutatakse ka plutooniumi tootmiseks. Nagu eespool mainitud, on uraan 238 tuumade muundumisel tekkiv plutoonium lõhkeaineiks aatomipommidel. Olemas-

olevad võimsamad reaktorid on ehitatud just selleks otstarbeks.

Lõpuks võib reaktorit kasutada energia tootmiseks. Reaktoris tekkivat soojust, mis varem juhiti jahutusveega jõkke või ventilatsioonihuga atmosfääri, võime kasutada ruumide kütteks, aga samuti auru tekitamiseks, mis rakedaks tööle elektrijaama turbiini. Selliselt töötabki aatomi-
elektri- ja am.

AATOMIELEKTRIJAAM TUUMAREAKTORITEGA

Tänapäeva aatomi-
elektri- ja am kujutab endast sisuliselt soojust-
jõu- ja am, milles kütuse abil köetav katel on asen-
datud tuumakütusel «küdeva» tuumareaktoriga.

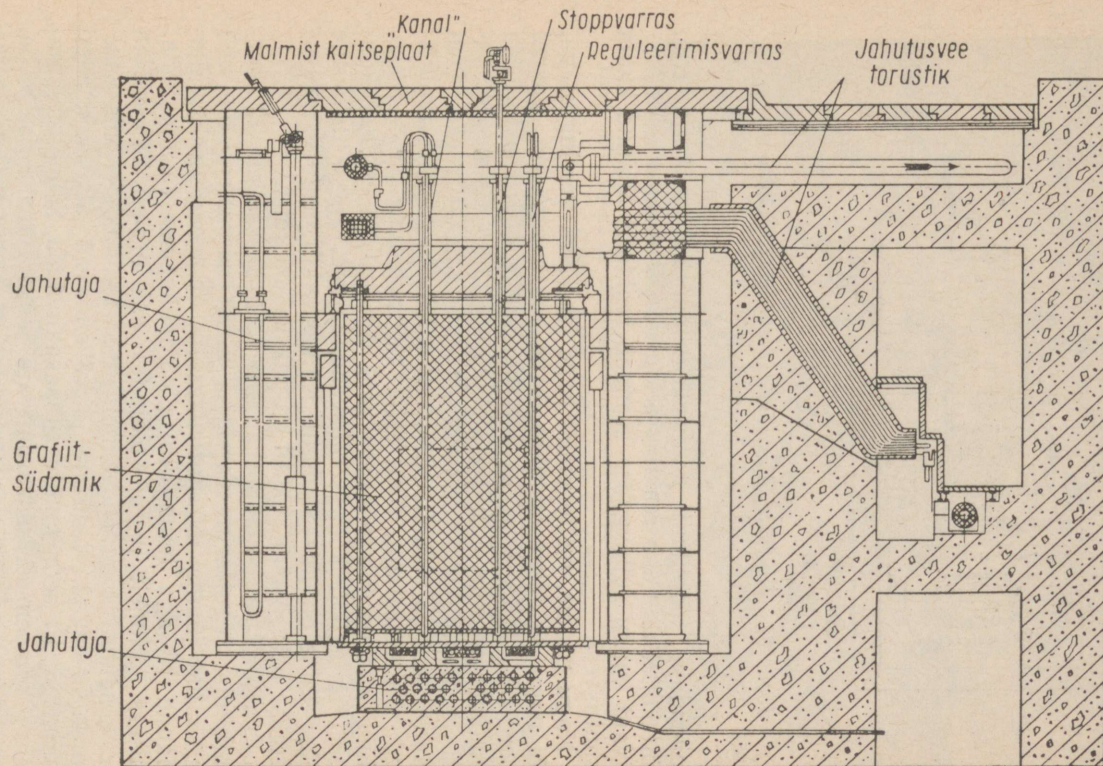
Et saada ettekujutust aatomi-
elektri- ja am ehitusest ja töötamisest, vaatleme maailma esimest tööstuslikku aatomi-
elektri- ja am, mis astus rivisse Nõukogude Liidus 27. juu-
nil 1954. aastal.

Jõu- ja am südameks on reaktor — silindrikujuline grafiitplok-
k läbimõõduga 1,5 meetrit ja kõrgusega 1,7 meetrit, mida püstsuunas läbib rida torukujulisi avausi. Avaus-
tes asuvad nn. «kanalid» — vardakujulised elemendid, kus toimub soojuste eraldumine, ning boorkarbiidist juhtimis-
ja stoppvardad (joon. 61). Tuumakütusena kasutatakse rikastatud uraani, milles uraan 235 sisaldus on tõstetud 5 protsendini. Reaktori südamikku ümbritseb grafiidist peegeldaja.

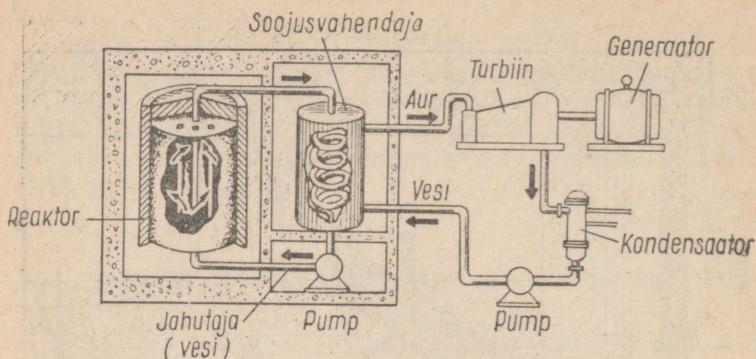
Uraanituumade lõhustumisel vabanev soojus eraldub nn. soojust eraldavais elementides. Element kujutab endast erilise-
st uraanisulamist valmistatud peenikest terasvooderdusega toru. Neli sellist ühise kestaga ümbritsetud ele-
menti moodustavadki «kanali».

Läbi «kanali» torude voolab jahutusvesi (tavaline, mitte raske vesi), mis reaktoris kuumeneb 280 kraadini. Et vesi sealjuures ei aurustuks, on ta torudes 100-atmosfäärilise rõhu all.

Kuumenenud jahutusvesi juhitakse kahte nn. soojusvahendajasse ehk aurugeneraatorisse, mis kujutavad endast suuri metallpaake. Siin antakse jahutusvee soojus edasi teisel poöl torude seinu olevale veele, mis muutub auruks ja juhitakse edasi auruturbiini, see omakorda paneb pöörlema elektrigeneraatori (joon. 62). Seega täidab soojus-



Joon. 61. Nõukogude Liidu Teaduste Akadeemia aatomielektirijaama reaktor (läbilõige).



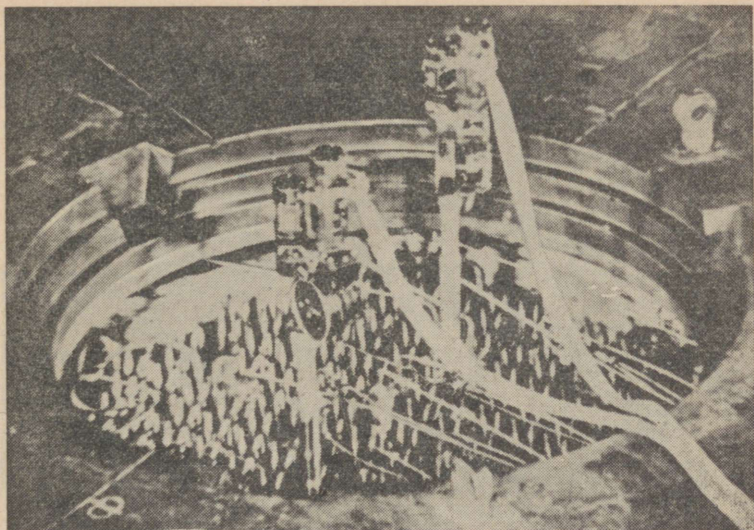
Joon. 62. Teaduste Akadeemia aatomielektrijaama skeem.

vahendaja tegelikult soojuselektrijaama aurukatla osa, küttekollet asendab reaktor ja kütuse põlemisel koldes tekivaid kuumi suitsugaase asendab reaktorit läbinud kuum jahutusvesi.

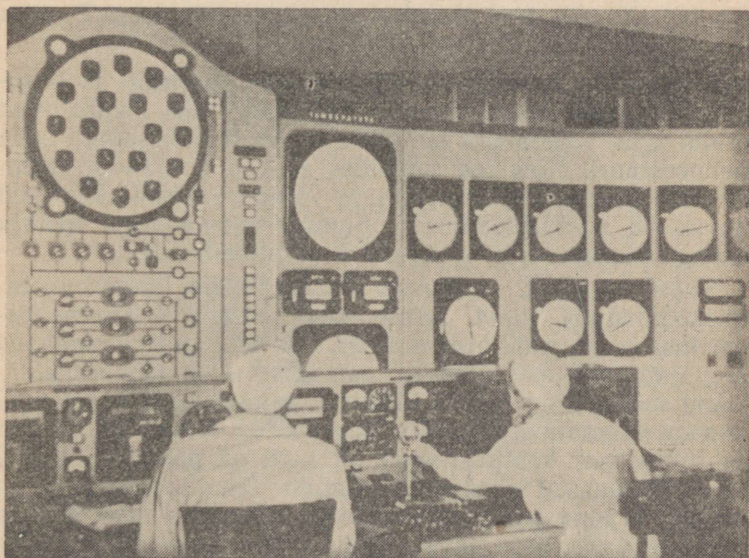
Nagu näeme, on tegemist kahe iseseisva veeringlusega, või nagu öeldakse tehnikas, kahe kontuuriga (vt. skeemi joon. 62). Miks ei võiks vett aurustada otse reaktoris ja aur kohe juhtida turbiini? Põhjus on lihtne. Esimeses kontuuris muutub vesi reaktorit läbides radioaktiivseks. Kui saadav aur juhtida turbiini, siis tuleks ka turbiin ümbritseva kaitsekestaga, ning selle teenindamine oleks raske. Nüüd aga on kiirguskaitse vaid reaktoril ja esimese kontuuri torustikul koos soojusvahendajaga, kuna turbiinile lähenemine on täiesti ohutu. Kaitsena kiirguse eest kasutatakse betoonseinu, ukSED on paksust malmist.

Reaktor sisaldab 128 «kanalit» ja lisaks sellele 22 boorkarbiidist reguleerimisvarrast. Neist varrastest on neli määratud jaama töö automaatseks reguleerimiseks, ülejäänud 18 aga tuumakütuse «ärापõlemise» tasakaalustamiseks. Nimelt jaama töötades osa uraani 235 «põleb ära», samuti koguneb «kanalitesse» tuumakilde, mis omakorda neelavad neutrone ja vähendavad ahelreaktsiooni võimsust. Et seda muutust tasakaalustada, selleks tõmmatakse kompenseerimisvardad aja jookSul reaktorist välja. Lisaks on reaktor varustatud kahe stoppvardaga, mida tõstvad elektrimootoritega vintsid asuvad reaktori kaanel.

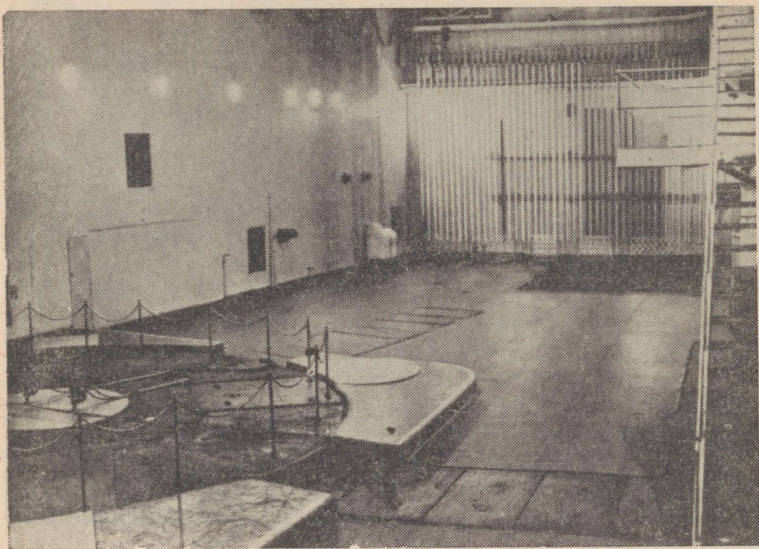
Jaama juhtimine on täielikult automatiseeritud. Juhti-



Joon. 63. Teaduste Akadeemia aatomielektriijaama reaktor (pealt-
vaade, näha stoppvarraste vintsid).



Joon. 64. Teaduste Akadeemia aatomielektriijaama juhtimispuht.



Joon. 65. Teaduste Akadeemia aatomielektirjaama reaktorisaal; tagaplaanil tagavara-«kanalid».

mispuldile on koondatud mitmesugused kontroll- ja juhtimisaparaadid, teiste hulgas seadmed, mis kontrollivad eraldi igast «kanalist» läbivoolava vee hulka, samuti selle temperatuuri. Kõikides ruumides asuvad aparaadid radioaktiivse kiirguse mõõtmiseks ja vajaduse korral töötajaid hoiatavad signaalseadmed. Samuti kannab iga töötaja endaga kaasas individuaalseid kontrollivahendeid.

Nagu mainitud, muutuvad «kanalid» aja jooksul töötamiskõlbmatuks, kuna neisse koguneb palju lagunemisaadusi — tuumakütuse «tuhka». Seetõttu tuleb «kanaleid» aeg-ajalt vahetada. Reaktor pannakse seisma ja eemaldatakse seda kattev kaas. Töölised kinnitavad käsitsi kraanakonksu vahetatava «kanali» külge. Edasi toimub kõik kaugjuhtimise teel kabiinist, mis on kaitstud paksust kiirguskindlast klaasist akendega. «Kanal» tõmmatakse välja ja viiakse kraana poolt reaktorisaali tagumisse ossa, kus ta lastakse vastavasse paaki. Sinna jääb «kanal» üheks aastaks seisma. Selle aja jooksul jõuab suur osa lühiealisi radioaktiivseidprodukte laguneda. Edasi viiakse «kanal»

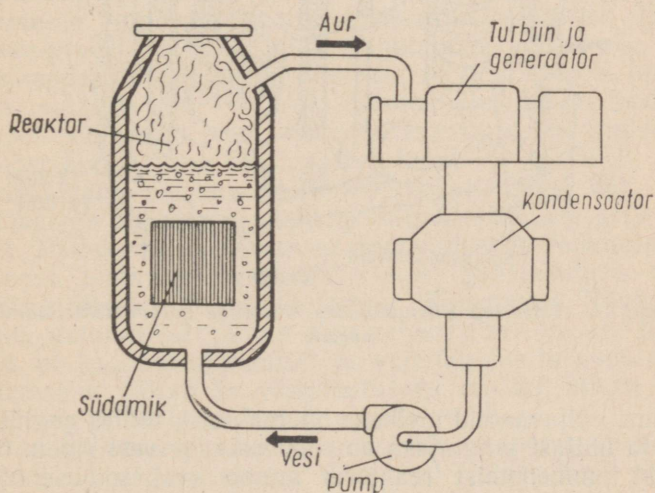
keemiateshasesse, kus temast eemaldatakse ülejäänud lagunemisproduktid ja «kanal» muutub taas tarvitamiseks kõlblikuks.

Tagavara-«kanalid» seisavad samas saalis seina ääres (joon. 65). Kuna nad ei ole ümbritsetud aeglustajaga, ei toimu neis mingit ahelreaktsiooni ja «kanalid» on täiesti ohutud.

Reaktor sisaldab normaalselt 550 kilogrammi uraani 128 «kanalis». Iga 2—3 kuu järel vahetatakse mõnikümmend «kanalit». Kokku on uraanikulu ühe päeva kohta umbes 600 grammi, millest tegelikult «ära põleb» 30 grammi, kuna ülejäänud osa taastatakse keemiateshas. Sama võimsusega soojuselektrijaam vajaks 80 kuni 100 tonni kivisütt päevas.

Genfis toimunud aatomiteadlaste konverentsil teatas prof. Blohhintsev, et praegu on Nõukogude Liidus projekteerimisel ja ehitamisel aatomielektrijaam võimsusega 200 000 kilovatti, milles on sama tüüpi reaktorid nagu esimeses aatomielektrijaamas.

Ameerika Ühendriikides hakkas esimene katseline aatomielektrijaam töötama 1955. aasta kevadel. Reaktoris kasutatakse aeglustajana ja ühtaegu jahutamiseks tavalist vett. Taolisi reaktoreid uurimisotstarbeks on ehitatud ka

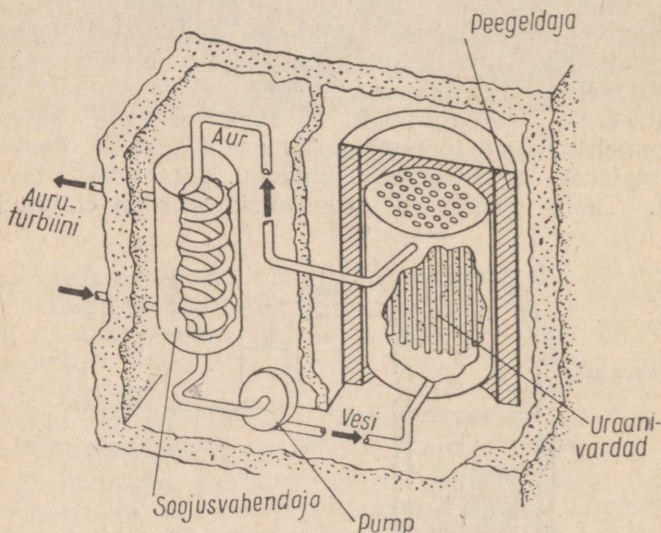


Joon. 66. «Keeva» reaktoriga aatomielektrijaama skeem.

varem, kuid jahutajana on kasutatud rasket vett. Tavalise vee kasutamine teeb seadme tunduvalt odavamaks.

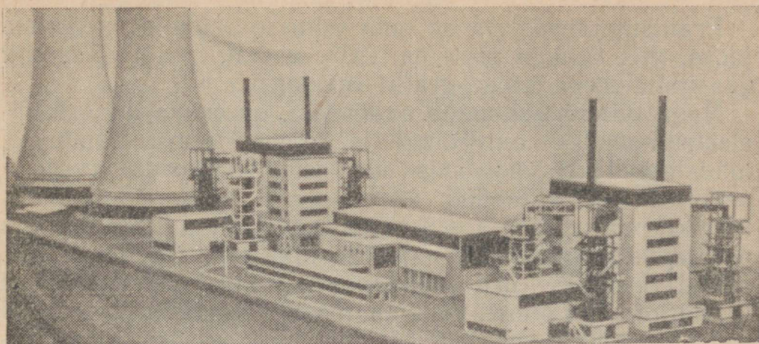
Reaktoris vesi keeb ja ühtaegu aurustub. Sellist reaktorit nimetatakse «keevaks» reaktoriks. Aur juhitakse otsekohe turbiini. Seega on siin tegemist ühe kontuuriga (joon. 66). Taolise skeemi puudusi on vaadeldud eespool. Ent «keeval» reaktoril on ka suuri eeliseid. Kui Nõukogude Liidu aatomelektrijaamas vesi läbib reaktori «kanaleid» 100-atmosfäärilise rõhu all, siis «keeva» reaktori puhul on rõhk hoopis madalam. See muudab reaktori konstruktiooni märksa lihtsamaks.

Ameerika Ühendriikides on kavatsusel ehitada «keeva» reaktoriga aatomelektrijaam võimsusega 180 000 kW. Aururõhk reaktoris ja ühtaegu ka turbiinis on 42 atmosfääri.



Joon. 67. Ameerika Ühendriikides ehitatava aatomelektrijaama skeem.

Suuri väljavaateid levikuks on reaktoril, milles aeglustajaks ja ühtlasi jahutajaks on rõhu all olev vesi (joon. 67). Pärast kuumenemist reaktoris annab vesi soojust edasi teise kontuuri, samuti nagu Nõukogude Liidu aatomelektrijaamas. Selletüübiline elektrijaam võimsusega 60 000 kW



Joon. 68. Inglismaal ehitatava Calder Halli aatomielektrijaama mudel. Näha kaks reaktorihoonet, nende ümber soojusvahendajad, vasakul jahutustornid.

on ehitamisel Ameerika Ühendriikides. Sama tüüpi võimsaid jaamu kavatseb ehitada ka Nõukogude Liit.

Aeglustajana tavalist vett kasutavais reaktorites tuleb tuumakütusena kasutada rikastatud uraani. Kui aga kasutada aeglustajana rasket vett, võib reaktor töötada ka loodusliku uraaniga.

Tunduvalt erinevat teed on läinud inglise teadlased. Esimeses inglise aatomielektrijaamas seatakse üles 2 uraan-grafiit reaktorit, mida jahutatakse mitte vee, vaid süsihappegaasiga 7-atmosfäärilise rõhu all. Gaas kuumeneb reaktoris 400 kraadini. Tuumakütuseks on looduslik uraan. Nimetatud jaam, mille ehitamist alustati Inglismaal Calder Hallis juba 1953. aastal, astub rüüsi 1956. aasta lõpus. Jaama võimsus on 92 000 kilovatti (joon. 68).

Gaasiga jahutatava reaktori eeliseks peetakse selle ohutust. Näiteks toru lõhkemisel vesijahutusega reaktoris võib esineda teatav plahvatusoht, kuna gaasjahutuse puhul reaktor lihtsalt lakkab töötamast. Kogemused Nõukogude Liidu aatomielektrijaama ekspluateerimisel on aga tõestanud, et hoolikal ehitamisel ja vajaliku juhtimisaparatuuri olemasolul töötab ka vesijahutusega reaktor täiesti kindlalt ning puudub igasugune plahvatusoht.

Gaasijahutuse puuduseks on asjaolu, et soojusvahendajad kujunevad väga suurteks. Kummagi Calder Halli elektrijaama reaktori juurde kuulub neli soojusvahendajat, igaüks 24 meetri kõrgune (joon. 68).

Prantsuse insenerid on oma esimese aatomielektrejaama jaoks, mis hakkab töötama 1957. aastal, valinud samuti gaasijahutusega uraan-grafiit reaktorid.

Nagu nähtub eeltoodud andmetest, on esimestes aatomielektrejaamades aururõhud ja temperatuurid tunduvalt madalamad kui moodsais soojuselektrejaamades (vrd. II peatükis lk. 21 toodud andmetega). Näib, nagu oleks tehnika paarikümne aasta võrra tagasi läinud. See on aga paratamatu, arvestades aatomitehnika noorust. Veel 1937. aastal avaldas üks silmapaistvamaid aatomiteadlasi Rutherford arvamus, et tema töödel tuumafüüsika alal ei saa olla mingit praktilist väärtust! See pessimistlik mõtteavaldus kummutati juba paar aastat hiljem. Möödunud 15 aasta vältel on aatomitehnika arenenud tehnika ajaloos senitundmatu kiirusega ja pole kahtlust, et aatomielektrejaamad jõuavad ka rõhkude ja temperatuuride poolest peagi hoopis kõrgemale tasemele.

Aatomikatlas peamiseks temperatuuride tõstmist takistavaks teguriks on materjalide küsimus. Tuumareaktoris on torude ja teiste detailide materjal palju raskemates tingimustes kui soojuselektrejaamas, kuna muudele teguritele lisandub ülitugeva radioaktiivse kiirguse mõju. Sobivate materjalide väljatöötamisel saavutatakse iga päev uusi edusamme.

Ülalkirjeldatud reaktoritüübid on vaid üksikuteks näideteks paljude võimalike tüüpide hulgas. Olemasolevad ja projekteeritud reaktorid erinevad üksteisest järgnevate tunnuste poolest:

- 1) kasutatav tuumakütus: looduslik uraan, rikastatud uraan, puhas uraan 235 varrestes, rikastatud uraan lahusena või segatult aeglustajaga,
- 2) jahutaja: gaas (õhk, süsihappegaas, heelium jt.), tavaline vesi, raske vesi, vedelad (sula-) metallid — naatrium, kaalium, seatina, elavhõbe jt.,
- 3) aeglustaja: grafiit, raske vesi, tavaline vesi (aeglustaja võib ka hoopis puududa).

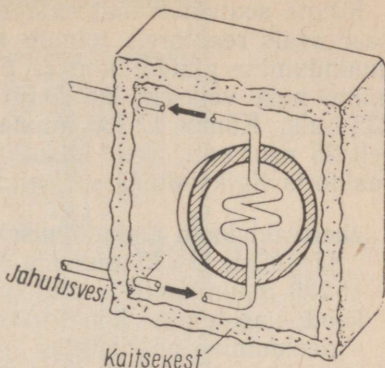
Siin pole loetletud kaugeltki kõiki tunnuseid ja nende variante. Kombineerides neid tegureid omavahel, võib luua kõige mitmekesisemaid reaktorite tüüpe. Senikirjeldatud tüüpide kõrval (uraan-grafiit reaktor vesi- või gaasijahutusega ning uraan-vesi reaktor, kus aeglustaja on ühtlasi jahutajaks) pakuvad erilist huvi kaks reaktori tüüpi: homogeenne reaktor ja «hauduv» reaktor.

Homogeenses reaktoris ei asu tuumakütus, näiteks rikastatud uraan, mitte varrastena, vaid on ühtlaselt segatud aeglustajaga. Võib kasutada uraani- ja grafiidipulbri segu, samuti uraanisoola lahust raskes või tavalises vees ning peent uraanitolmu vees hõljuvana.

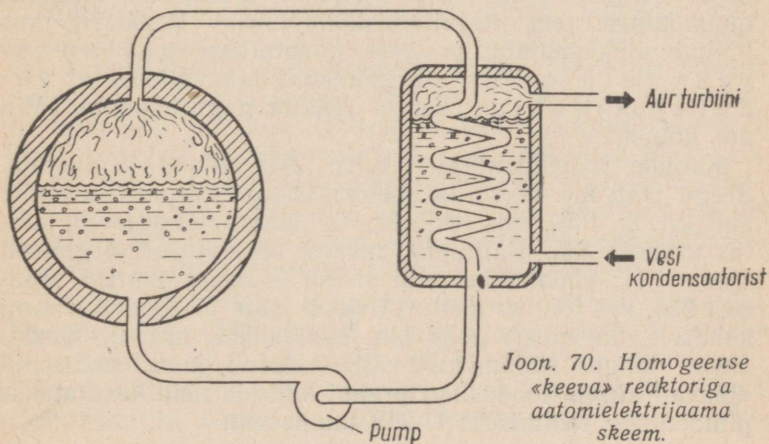
Sellist tüüpi reaktor ehitati Ameerika Ühendriikides juba 1944. aastal (joon. 69). Roostevabast terasest kera, läbimõõduga 30 sentimeetrit, sisaldab 13 liitrit uraanisoola vesilahust.

Kasutatud on peaaegu puhast uraani 235, seetõttu on ka kriitiline mass väga väike (reaktoris on uraani ainult 800 grammi). Reaktori jahutamiseks asub anuma sees spiraal jahutusveega.

Veelgi huvitavam on nn. keev homogeenne reaktor, milles tuumakütust sisaldav segu ise keeb ja sealjuures aurustub. Aur juhitakse soojusvahendajasse, kus ta oma soojust edasi annab turbiini kulgevale aurule (joon. 70). Ühe sellise reaktori projektiga tutvustasid Genfi aatomiteadlaste konverentsi nõukogude teadlased.



Joon. 69. Homogeense tuumareaktori ehitus.



Joon. 70. Homogeense «keeva» reaktoriga aatomielektijaama skeem.

Kõigis senivaadeldud looduslikku või rikastatud uraani kasutavais reaktoreis toimub teatavas ulatuses uraan 238 muundumine plutooniumiks. Sealjuures on tekkiva plutooniumi hulk väiksem kui kulutatud tuumakütuse — uraan 235 hulk. Kümne U-235 tuuma lõhustumisel tekib keskmiselt 25 neutronit. Neid kasutatakse tavalises uraan-grafiit reaktoris ligikaudu järgmiselt:

ahelreaktsiooni alalhoidmiseks, s. t.

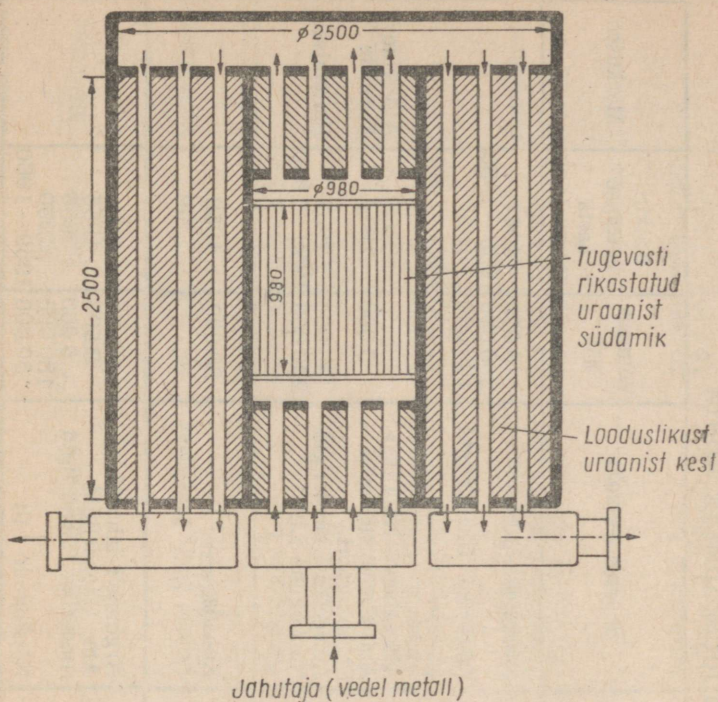
järgmiste U-235 tuumade lõhustamiseks	— 10	neutronit
U-238 muundamisele plutooniumiks	— 5	„
kaod: neeldumine konstruktsiooniosades	— 2	„
neeldumine aeglustajas (grafiidis)	— 5	„
neeldumine U-235-s ilma lõhustumiseta	— 2	„
väljalendamine reaktorist	— 1	„

kokku 25 neutronit

Katla töökäigus tekib seega ühe kilogrammi U-235 kohta 0,5 kilogrammi plutooniumi, mis hakkab pikkamööda ise osa võtma ahelreaktsioonist, asendades «ärापõlevat» U-235. Kui varras lagunemisproduktide kõrvaldamiseks reaktorist eemaldatakse, saab temast eraldada teatava hulga plutooniumi.

Kui vähendame neutronite kadusid viimse võimaluseni, siis tekib plutooniumi sama palju või isegi rohkem kui U-235 «ära põleb». Sellises reaktoris toimub järelikult kütuse «laiendatud taastootmine». Muidugi ei teki tuumakütus mittemillestki, vaid saadakse uraan 238 tuumade muundamise teel «tarvitamiskõlblikuks». Reaktorit, kus toimub siinkirjeldatud protsess, nimetatakse paljundavaks reaktoriks või mõnikord tabavalt ka «haudivaks» reaktoriks — reaktor nagu hauduks välja uut kütust.

Kadude vähendamiseks tuleb kõrvaldada aeglustaja. Seega jääb üle kasutada ahelreaktsiooni kiirete neutronite abil (vt. lk. 106), mis tekib üksnes puhtas või peaaegu puhtas uraanis 235. Paljundav reaktor on ehitatud järgmiselt (joon. 71): südamikku puhtast või peaaegu puhtast uraanist 235, kus toimub ahelreaktsioon joon. 57 toodud skeemi kohaselt, ümbritseb paks kiht looduslikku uraani. Reaktsiooni käigus südamikust väljalendavad kiired neutronid «jäävad kinni» loodusliku uraani kihis ja neid kasutatakse plutooniumi tootmiseks U-238 tuumadest.



Joon. 71. «Hauduva» reaktori ehitus.

Võimsais «hauduvais» reaktoreis tuleb tegemist teha tohutute soojuslike koormustega. Südamiku ruumalaühikus eraldub 2000 korda rohkem soojust kui sama suures ruumalas aurukatla koldes! Seetõttu vajab «hauduv» reaktor eriti head jahutust. Selleks on võetud kasutusele vedel (sula-) metall, näiteks naatrium, mis sulab juba 97 kraadi juures. Vedela naatriumi kasutamine võimaldab tõsta jahutaja ja reaktori töötemperatuuri, kuna naatrium püsib vedelana 880-kraadise kuumuseni. Kõrgemal temperatuuril suureneb tunduvalt seadme võimsus ja kasutegur.

Sellist tüüpi väike «hauduv» reaktor ehitati Ameerika Ühendriikides 1951. aastal. Jahutajana kasutati vedela naatriumi ja kaaliumi segu 320-kraadisel temperatuuril. See oli ühtlasi esimene reaktor, mida kasutati katseliselt elektrienergia tootmiseks. 20. detsembril 1951. aastal andis

ANDMEID EHITATUD, EHITAMISEL OLEVATE JA PROJEKTEERITUD AATOMIELEKTRIJAAMADE NING AATOMIJÕUSEADMETE KOHTA

Jõuseadme skeem			Tuuma- kütus	Seadme asukoht	Võimsus kW	Käiku- laskmise aasta	Märkused
Aeglustaja	Jahutaja (I kontuur)	II kon- tuur					
grafiit	vesi rõhu all	vesi/aur	rikastatud uraan	Nõukogude Liit " Ameerika Ühendriigid	5 000 200 000 100 000	1954 1959—1960 1957	
vesi	vesi rõhu all	vesi/aur	rikastatud uraan	Allveelaev «Nautilus», Am. Ühendriigid Shippingport, Ameerika Ühendriigid Nõukogude Liit	5 000 60 000 200 000	1954 1957 1959—1960	Allveelaeva jõuseade Ehitamisel
raske vesi	raske vesi rõhu all	vesi/aur	looduslik uraan	Kanada	20 000	1958	
«Keev» reaktor		—	rikastatud uraan	Argonne'i laborat., Am. Ühendriigid Ameerika Ühendriigid	3 500 5 000	1955 1956	
vesi	vesi/aur			" Nõukogude Liit	180 000 50 000	1960 1959—1960	

Jõuseadme skeem			Tuuma- kütus	Seadme asukoht	Võimsus kW	Käiku- laskmise aasta	Märkused
Aeglustaja	Jahutaja (I kontuur)	II kon- tuur					
grafiit	süsihappe- gaas	vesi/aur	looduslik uraan	Calder Hall, Inglismaa Prantsusmaa	92 000 40 000	1956 1957	Valmimisel
raske vesi	süsihappe- gaas	vesi/aur	looduslik uraan	Nõukogude Liit	200 000	1959–1960	
grafiit	vedel naat- rium (naat- riumi-kaa- liumi segu)	vedel naat- rium ^s	rikastatud uraan	Allveelaev «Seawolf», Am. Ühendriigid Ameerika Ühendriigid Nõukogude Liit	? 75 000 50 000	1955 1959 1959–1960	Allveelaeva jõuseade
«Hauduv» reaktor —	vedel naatrium	vedel naat- rium ^s	plutoonium (uraan 235) + looduslik uraan (uraan 238)	Dounreay, Inglismaa Ameerika Ühendriigid Nõukogude Liit	15 000 15 000 50 000	1958? 1958 1959–1960	Ehitamisel
«Hauduv» homogeenne reaktor raske vesi	raske vesi + uraan 233	vesi/aur	uraan 233 + toorium	Nõukogude Liit Ameerika Ühendriigid	50 000 16 000	1959–1960 1959	

^s III kontuur — vesi/aur

esmakordselt maailmas väike, 250-kilovatiline generaator valgustuse otstarbeks elektrivoolu aatomienergia arvel.

Sotimaa põhjarannikul, Dounreays alustati 1955. aastal «hauduva» reaktoriga aatomielektriijaama ehitamist. Reaktor ühes rea abiseadmetega on suletud 40-meetrise läbimõõduga kerakujulisse teraskesta, mis annab jõujaamale fantastilise välimuse. Selline ehitusviis kindlustab, et ka kõige tõsisema avarii puhul radioaktiivsed ained ei saa paiskuda laiali ega ohustada elanikkonda.

Kuna «hauduv» reaktor võimaldab toota uraanist 238, mis muidu jääb kasutult kõrvale, uut tuumakütust, siis omavad «hauduvad» reaktorid tuleviku jaoks väga suurt tähtsust ja kujunevad kahtlematult üheks aatomielektriijaama reaktori põhitüübiks.

Tabelis lehekülgedel 126—127 on toodud mõningad andmed ehitatud, ehitusel olevate ja projekteeritud aatomielektriijaamade kohta. Rööbiti kohtkindlate seadmetega on toodud ka olemasolevate allveelaeva jõuseadmete andmed (lähemalt vaata järgmises punktis). Tuleb rõhutada, et toodud loetelu ei ole kaugeltki täielik.

Aatomielektriijaamal on töötamisel rida eeliseid, võrreldes tavalise soojuselektriijaamaga. Kõigepealt ei vaja ta pidevat kütuse juurdevedu. Reaktor varustatakse kohe algul teatava kütusehulgaga, mis tuleb asendada alles mõne kuu või isegi aasta pärast. Mõninga hulga kütust võib alati varus hoida, nii et jaam ei vaja raudtee- ega laevaühendust. See võimaldab ehitada aatomielektriijaamu peaaegu kõikjale.

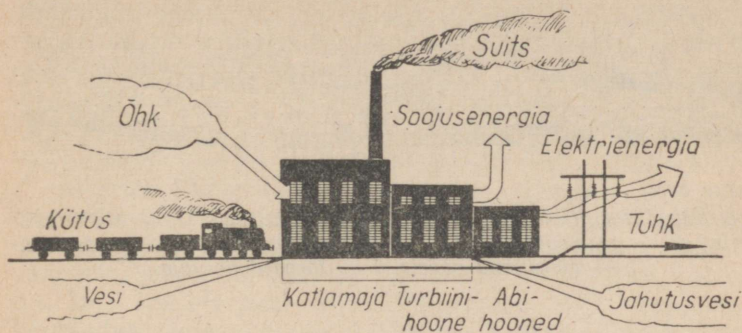
Aatomielektriijaama töötamisel ei teki õhku rikkuvaid suitsugaase, samuti eemaldamist vajavat tuhka. Kuna aga jaam kasutab oma turbiinis veeauru, siis vajab ta jahutusvett kondensaatori jaoks samuti nagu soojuselektriijaam. Reaktorit läbiv jahutaja voolab kinnises kontuuris, seetõttu radioaktiivseid «jäätmekke» jaamast välja ei pääse.

Aatomielektriijaama kasutamise majandusliku külje juures peatume tagapool, lk. 143—144.

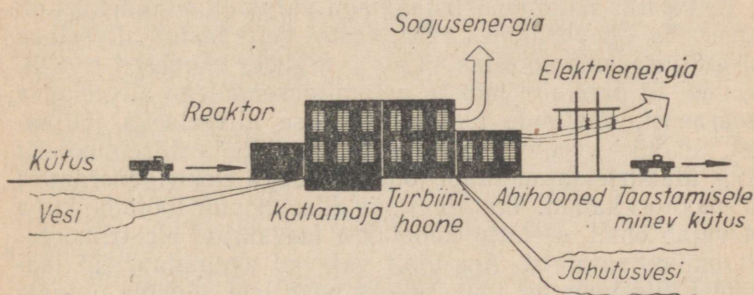
AATOMIMOOTOR SÕIDUKEIL

Aatomijõuseadme suur eelis — tühiselt väike kütusekulu — tekitab iseenesest mõtte kasutada aatomienergiat transpordis, nii merel, maal kui ka õhus. Sõidukile kasu-

SOOJUSELEKTRIJAAM



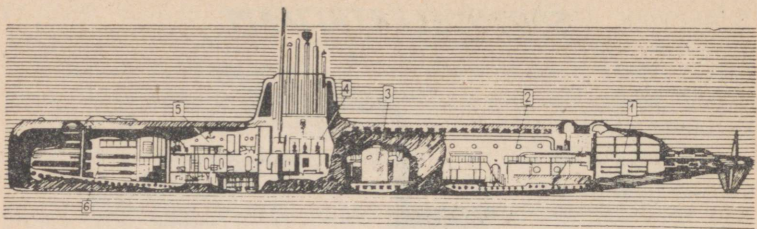
AATOMIELEKTRIJAAM



Joon. 72. Soojuselektrijaama ja aatomielektrijaama võrdlus.

tamiseks sobiva aatomimootori loomine pole aga sugugi kerge ülesanne.

Suuremail sõidukeil, näiteks laevadel, on mõeldav kasutada jõuallikana väikest aatomielektrijaama. Tegelikult pole «elektrijaama» rajamise mõte sõidukile sugugi uus. Juba üle viiekümne aasta kasutatakse laevadel jõuseadet, milles auruturbiin paneb pöörlema mitte otseselt laevakruvi, vaid elektrigeneraatori, moodustades nagu elektrijaama. Laevakruvi on varustatud elektrimootoriga. Sellisel jõuseadmél, vaatamata näilisele keerukusele ja suurele masinate arvule, on rida häid omadusi, eriti juhtimise suh-



Joon. 73. Aatomijõuseadmega allveelaev «Nautilus»: 1 — eluruumid ahtris, 2 — peamootorid, 3 — tuumareaktor, 4 — juhtimiskeskus, 5 — eluruumid vööris, 6 — torpeedoderuum.

tes. Samalaadseid seadmeid kasutatakse diiselledureil, kus elektrijaama turbiini asendab diiselmootor. Miniatuurne elektrijaam asub ka autobussi «ZIS-155» tagaistme all.

Esimeseks aatomielektrijaamaga varustatud sõidukiks oli Ameerika Ühendriikides 1954. aastal vette lastud allveelaev «Nautilus», mis sooritas 1955. a. alguses esimesed proovisõidud. Et paremini mõista aatomijõuseadmega allveelaeva iseärasusi, vaatleme lühidalt tavalise allveelaeva jõuseadet. Sõiduks veepinnal kasutab ta jõuallikana diiselmootorit koos ülalkirjeldatud tüüpi jõuülekandega elektrigeneraatori ja -mootori kaudu. Vee all ei saa diiselmootor töötada, kuna ta vajab õhku, seetõttu toidetakse laevakruvi elektrimootorit akumulaatoreist. Aeg-ajalt vajavad akumulaatorid laadimist diiselmootori jõul, selleks peab laev tõusma pinnale või vähemalt tõstma veepinnani õhutoru. See võimaldab sõjaolukorras laeva kiiresti avastada.

«Nautiluse» jõuallikaks on tuumareaktor, mis asub laeva keskosast pisut tagapool. Tuumareaktor annab auru turbiinile, mis omakorda käitab elektrigeneraatori. Selline «aatomimootor» ei vaja töötamiseks õhku, seetõttu võib allveelaev sõita vee all praktiliselt piiramata kaua, kas või kuude viisi. On vaja vaid varuda meeskonnale küllaldasel hulgal toiduaineid ja hapnikku hingamiseks (hapnikku võib hädakorral saada ka mereveest elektrolüüsi teel).

Aeglustajaks ja reaktori jahutajaks on rõhu all olev vesi, seega on siin tegemist joon. 67 kujutatud skeemiga. «Nautiluse» järglases, 1955. a. vette lastud aatomiallveelaevas «Seawolf» töötab uraan-grafiit reaktor, mida jahutatakse vedela naatriumiga.

Reaktori paigutamisel sõidukilä moodustab ühe raskema probleemi meeskonna kaitsmine kiirguse eest. Tavalistel reaktoritel on bioloogilise kaitse kaal 40 tonni ja enam reaktori mahu ühe kuupmeetri kohta, ulatudes võimsatel reaktoritel sadade tonnideni, mis moodustab suurema osa kogu seadme kaalust. Kuna betoonkaitse nõuaks liiga palju ruumi, kasutati «Nautilusel» seatinast kaitsekesta.

Ameerika Ühendriikide merejõudude juhtkond pani aatomimootoriga allveelaevale suuri lootusi. Ent «Nautilusel» on rida puudusi, mis tugevasti vähendavad tema sõjalist väärtust. Tingituna reaktori ja kaitsekesta suurest kaalust tuli laev ehitada suur (veeväljasurvega 2700 tonni), see kergendab tema avastamist vee all. Reaktori kujust tingituna tuli kere keskosa muuta jämedamaks, mis halvendas laeva manööverdamisomadusi ja vähendas kiirust. Pealegi on relvastuse jaoks ruumi jäänud vähe — «Nautilusel» ainsaks relvaks on mõned torpeedotorud.

Praegu on Ameerika Ühendriikides ehitusel veel 7 aatomiallveelaeva, sealhulgas väike allveelaev ja suur, 4600-tonnise veeväljasurvega allveeristleja, mis arendab kiirust 30 sõlme vee all.

Ent aatomiallveelaeval ei ole üksnes sõjaline tähtsus. Sellisel allveelaeval on suuri väljavaateid kasutamiseks polaarmeredes, eriti Arktikas. Liikudes jääkatte all võib aatomiallveelaev takistamatult vedada kaupu või tegelda isegi kalapüügiga.

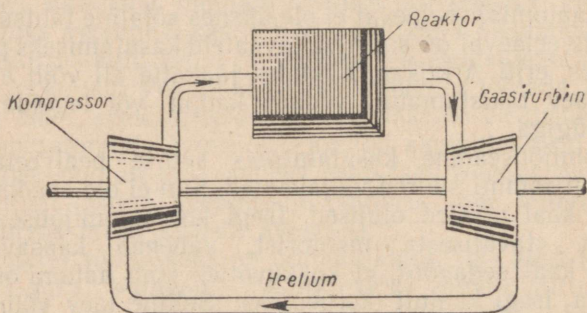
Aatomijõuseadme kasutamiseks suurte pealveelaevade jaoks on samuti suured väljavaated. Siin ei ole seadme suurus ja kaal niivõrd olulised. Isegi kui aatomijõuseade on raskem «tavalisest» mootorist, väheneb kaasaveetava kütuse kaal sedavõrd, et kokkuvõttes võib aatomijõuseade osutada isegi kaalult kergemaks. Selline laev võib sõita meredel pikka aega kütusevarusid täiendamata. Seetõttu võib aatomijõuseadmega pealveelaevadele ennustada suurt tulevikku.

Nõukogude Liidus ehitatakse käesoleval viisaastakul aatomijõuseadmega jäälõhkuja, veeväljasurvega 16 000 tonni. Jõuseadme võimsuseks tuleb 44 000 hobujõudu, mis ületab sama suure jäälõhkuja tavalise jõuseadme enam kui poolteisekordselt. «Tavaline» jäälõhkuja võtab kaasa kuni 3000 tonni kütust, millest talle ei piisa kauemaks kui kuuks ajaks; aatomijäälõhkuja võib takistamatult töötada 2–3 aastat järjest.

Reas maades, sealhulgas ka Norras ja Hollandis, on väljatöötamisel aatomijõuseadmed kaubalaevade jaoks. Takistused on siin rohkem majanduslikku kui tehnilist laadi. Arvatakse, et aatomijõuseadme kasutamine kaubalaevastikus võib olla majanduslikult tasuv esialgu ainult suurte laevadel, veeväljasurvega 15 000—25 000 tonni ja rohkem, ning suurte kiirustel.

Ameerika Ühendriigid ehitavad aatomijõuseadet lennukite emalaeva jaoks.

Väikese aatomielektriijaama võime paigutada ka teistele sõidukitele. Mida väiksem on sõiduk, seda suuremad on jõuseadme ja eriti kaitsekesta suurest kaalust tingitud raskused. On loodud 7000-hobujõulise «aatomiveduri» X-12 projekt. Veduri kaal on 327 tonni, millest üle poole moodustab homogeenset tüüpi reaktor koos kaitsekestaga. Selline vedur võib sõita läbi 80 000 kilomeetrit kütusevaru täiendamata. Paraku on vedur väga raske (umbes sama raske kui ülivõimas diiselledur ja mitu korda raskem elektrivedurist). Aatomiveduri ehitamine on esialgu tehniliselt lahendamata küsimus ja nõuab veel väga põhjalikke uurimusi.



Joon. 74. Gaasiturbiiniga aatomimootor.

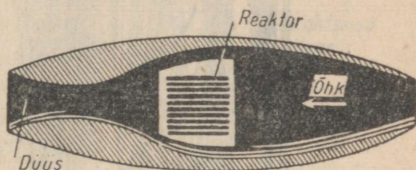
Praegu töötatakse ka eespoolkirjeldatud tüüpi aatomijõuseadmega lennuki loomise kallal. Seadme suuruse tõttu on võimalik paigutada tuumareaktorit vaid väga suurele lennukile, lennukaaluga 50 kuni 100 tonni, millest jõuseadme kaal moodustaks vähemalt 15 tonni.

Peale ülalkirjeldatud jõuseadme skeemi: reaktor — jahutaja — soojusvahendaja — aur — auruturbiin — generaator.

tor — elektrimootor, on mõeldav kasutada ka teisi skeeme. Näiteks võib reaktori jahutamiseks kasutada gaasi, mis juhitakse seejärel otsekohe gaasiturbiini (joon. 74). Selline seade oleks eelmisest märksa lihtsam ja kergem. Gaasina tuleks sel juhul kasutada mõnda vääriskaasi, näiteks heeliumi, mis reaktorit läbides ei muutu radioaktiivseks. Vastasel juhul tuleks ka gaasiturbiin ümbritseda kaitsekestaga, seade muutuks raskeks ja teenindamisel tülikaks.

Lennukite jaoks oleks vaja luua mitut tüüpi aatomi-reaktiivmootoreid. Need sarnaneksid põhimõtteliselt tavaliste reaktiivmootoritega, ainult kütuse põlemiskambrit asendaks reaktor. Näitena on joonisel 75 kujutatud aatomi-otsevoolu-reaktiivmootori skeem. Õhk kuumeneb reaktorit läbides tugevasti ja paisatakse suure kiirusega düüsisist välja. Tavaliselt on mõeldav ehitada ka aatomi-turboreaktiivmootorit.

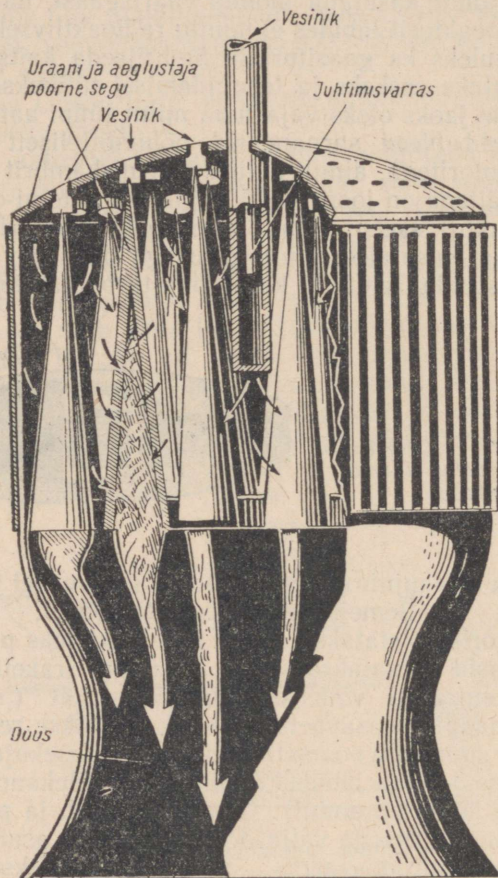
Joon. 75. Otsevoolu-reaktiivmootor tuuma-reaktoriga.



Et saada ettekujutust aatomimootori loomisel tekkivaist raskustest, vaatleme aatomi-rakettmootorit. Tavalises rakettmootoris põletatakse mingi kütus (näiteks piiritus) ja põlemisgaasid paisatakse suure kiirusega raketi düüsisist välja. Aatomiraketi võiks ehitada järgmiselt (joon. 76). Vastavas paagis kaasavõetud vesinik juhitakse reaktorisse, mida läbib suur hulk poorsete seintega koonusekujulisi torukeid (poorseid seinu läbides toimub soojusülekanne reaktorilt gaasile kõige paremini). Gaas kuumeneb ja paisatakse düüsisist suure kiirusega välja. Reaktori keskel asub poorsest kadmiumist juhtimisvarras, mida jahutatakse külma vesiniku abil. Reaktor ise koosneb rikastatud uraani ja grafiidi poorsest segust.

On arvestatud, et seda tüüpi rakett tuleks ehitada tohutu suurte mõõtmetega — läbimõõt 12 meetrit, pikkus 120 meetrit (keskmise kaubalaeva suurus!). Sellise raketi kõrval näiks sakslaste kaugelaskerakett «V-2» lausa kääbusena. Raketi ümmarguselt tuhandetonnise kaalust moodustab suurema osa vesinikuvaru. Raketi võimsus oleks 200 miljo-

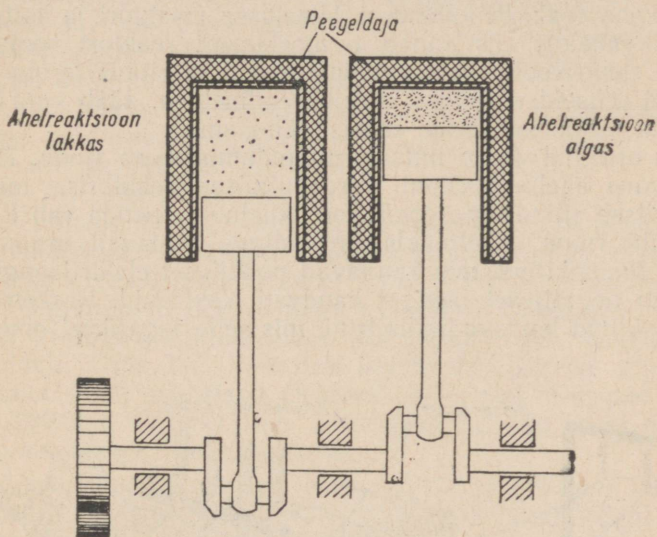
nit hobujõudu (100 tuhande veduri võimsus!) ja ta saavutaks kiiruse üle 8 kilomeetri sekundis, millest piisaks, et muuta rakett Maa kunstlikuks kaaslaseks.



Joon. 76. Aatomi-rakettmootor.

Peetakse võimalikuks vähendada niisuguse raketi kaalu teoreetiliselt umbes saja tonnini. Poorsest materjalist reaktori ehitamine ja juhtimine on omaette ülisuur tehniline probleem.

On esitatud veel huvitav kolb-aatomimootori projekt (joon. 77). Oletame, et liikuva kolviga suletud silindris asub homogeenne tuumakütus, s. t. uraani ja aeglustaja segu gaasi kujul. Kui segu kokku suruda, siis tuumakütus tiheneb ja teataval hetkel algab ahelreaktsioon. Selle tagajärjel kütusesegu kuumeneb ning paisub suure kiirusega, samuti nagu plahvatusel automootori silindris. Mootori kolb liigub silindris väljapoole, kütuse maht suureneb, tuumakütus muutub hõredamaks ja ahelreaktsioon lakkab. Edasi järgneb uus kokkusurumine. Saame üksteisele järgneva plahvatuste rea nagu automootoris. Kas seda projekti jõutakse kunagi teostada, on raske ennustada.



Joone 77. Kolb-aatomimootori skeem.

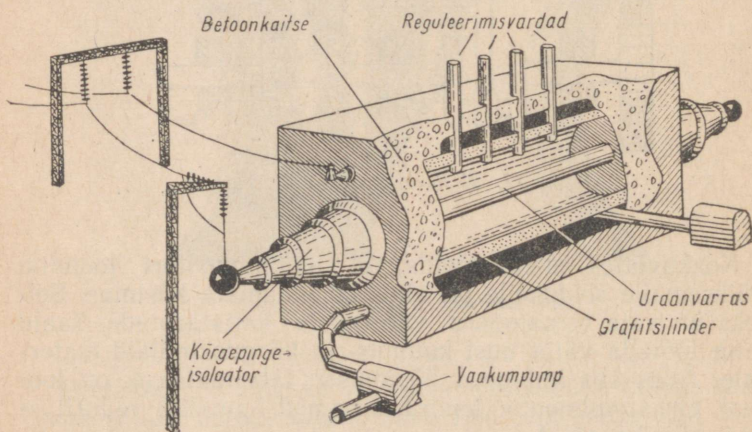
Kokkuvõttes tuleks öelda, et aatomimootori loomine väiksemaile sõidukeile on alles lahendamata küsimus. Selleks on vaja esmajoones vähendada kaitsekestade kaalu ning töötada välja uusi kuumus- ja kiirguskindlaid materjale. Alles siis kui need küsimused lahendatakse, on lootust, et aatomimootor leiab kasutamist lennukil, veduril ja võib-olla ka autol.

TUUMAENERGIA OTSENE MUUNDAMINE ELEKTRIENERGIAKS

Eespool on korduvalt juhitud tähelepanu vajadusele vähendada energia tootmisel muundumiste arvu. Sama on kehtiv ka aatomienergia kohta. Aatomielektrijaamas esinevad kokkuvõttes järgmised muundumised: tuumaenergia — tuumakildude kineetiline energia — soojusenergia (kantakse korduvalt üle ühelt keskkonnalt teisele) — mehaaniline energia — elektrienergia.

Üheks võimaluseks vähendada muundumiste arvu on termoelementide kasutamine. Neist seadmeist oli juttu II peatükis lk. 43—45. Kui paigutame termoelemendi kuuma jootekoha reaktori vahetusse lähedusse (reaktori ja kaitsekesta vahele), siis annab termoelement reaktori soojuse arvel elektrivoolu. Pole vajadust uuesti selgitada termoelemendi eeliseid võrreldes aurujõuseadmetega. Jääb vaid üle oodata termoelementide edasist täiustamist.

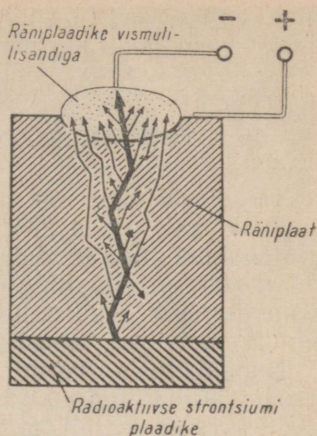
On esitatud veelgi lihtsam muundumisskeem (joon. 78). Tekitame ahelreaktsiooni vardakuulises reaktoris, mida ümbritseb silindriline grafiitkest, kusjuures nende vahel on õhutühi ruum. Ahelreaktsiooni käigus lendavad uraanist välja tuumakillud, mis kannavad positiivset elektrilaengut, samuti negatiivset laengut kandvad elektronid. Raskemad tuumakillud lendavad silindrini, mis selle tagajärjel oman-



Joon. 78. Aatomi-elektrigeneraator.

dab positiivse elektrilaengu; kerged elektronid ei suuda var-
dast välja lennata ja jäävad
vardasse, andes talle negatiivse
laengu. Selline «aatomigeneraa-
tor» võib anda kõrgepingelist
alalisvoolu.

Kirjeldatud kujul tundub «aato-
mi-elektrigeneraator» vähe läbi-
mõelduna, võib-olla ei osutu
selle loomine tehniliselt isegi
võimalikuks. Aatomi-elektriele-
ment on aga juba olemas. Põhi-
mõttelt on ta pisut sarnane
ülalkirjeldatud «aatomigeneraa-
toriga», kuid tuumade lõhustu-
mine ei toimu ahelreaktsiooni
käigus, vaid iseenesest — radio-
aktiivsuse tagajärjel. Elemendi
(joon. 79) põhiosaks on rāni-
plaadi pinnale kinnitatud radioaktiivse strontsiumi plaadike



Joon. 79. Aatomi-elektri-
elemendi skeem.

(radioaktiivset strontsiumi saab toota reaktorites). Radio-
aktiivses strontsiumiplaadikeses toimub pidevalt aatomituu-
made lagunemine, samuti nagu raadiumis. Sealjuures väl-
juvad strontsiumiplaadikesest elektronid, mis tungivad
rāniplaati. Oma teel vabastab iga radioaktiivsest ainek-
st väljunud suure energiaga elektron palju uusi elektrone —
kuni 200 000. «Vabastatud» elektronid liiguvad edasi neid
koguvale teisele rāniplaadikesele.

Aatomi-elektrielement on väga väike ja mugav, kuna
radioaktiivset ainet võime võtta ükskõik millisel hulgal —
siin ei ole ju kriitilise massi tingimust. Aatomielementide
patarei annab pinget kuni tuhat volti, kusjuures vool on
väga väike — 2 miljondikku amprit. Patarei võimsuseks
saame 2 tuhandikku vatti, millest piisab väikeste radio-
ja telefoniseadmete jaoks. Aatomi-elektrielemendi iga on
vähemalt 25 aastat!

Sellistele elementidele võib side- ja mõõtmistehnikas
ennustada suurt tulevikku. Vooluallikana sõidukeile ei tule
nad arvesse, kuna saadavad võimsused on paratamatult
liiga väikesed. Võimsuse suurendamiseks tuleks radioak-
tiivset ainet võtta väga suurel hulgal, millega element muu-
tub kalliks ja raskeks. Võttes tugevama radioaktiivsusega

aine, on elemendi iga lühike; ühtlasi vajab element kaitse-kesta, kuna tema kiirgus muutub inimestele öhtlikuks.

TUUMAKÜTUSED JA NENDE TOOTMINE

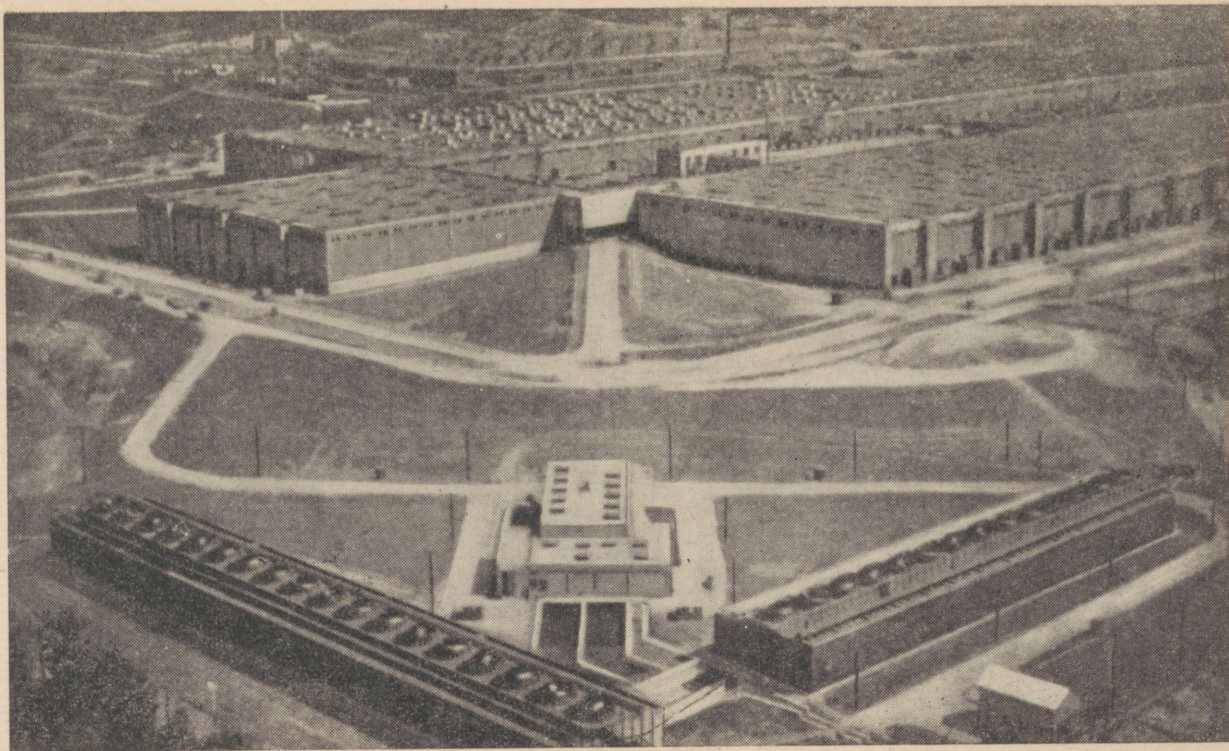
Käesoleval ajal on teada kolm reaktoritele sobivat tuumakütust: uraan 235, mida leidub looduslikus uraanis; plutoonium, mida saadakse uraani isotoobi U-238 pommitamisel neutronitega, ning uraan 233, mida saadakse tooriumi pommitamisel neutronitega. Seega leidub looduses vaid üht tuumakütust, teised kaks saadakse kunstlikult.

Tuumakütuste varud esinevad maapõues loodusliku uraani ja tooriumi maakide näol. Uraan on helehall kullast pisut kergem metall, tema kõvadus on terase omast väiksem. Temperatuuril üle 100 kraadi uraan süttib põlema. Seega oleks ta kasutatav ka keemilise kütusena, kuid kuulub siinjuures väheväärtuslike kütuste hulka: 1 kilogramm uraani annaks põlemisel tunduvalt vähem soojust kui 1 kilogramm puitu või turvast, kõnelemata kivisööst. Kasutamisel tuumakütusena saame uraanist 20 miljonit korda rohkem energiat kui keemilisel põletamisel.

Looduses leidub uraani võrdlemisi palju — enam kui näiteks hõbedat. Valdav osa uraanist peitub aga vaeseis maakides, mis sisaldavad vaid mõne grammi uraani ühe tonni kohta (näiteks graniit). Rikkaimaks uraanimaagiks on uraanipigimaak, mis sisaldab 30 kuni 80 protsenti uraani.

Kaevandusest saabuv maak läheb metallurgiatehasesse, kus toodetakse puhast metallilist uraani. See toimub piinliku hoolega: uraan ei tohi sisaldada üksikuid lisandeid rohkem kui mõni gramm tonni kohta. Uraani saab kergesti treida ja valtsida. Tavaliselt toodetakse uraani mõnesentimeetrise läbimõõduga varrastena. Kuna uraan õhu käes kiiresti oksüdeerub ja kõrgemal temperatuuril süttib, kaetakse uraanivardad alumiiniumkestaga. Valmis vardad lähevad tuumakütusena reaktorisse.

Rikastamisele minevat uraani toodetakse mitte metallilisel kujul, vaid gaasilise ühendina. Loodusliku uraani rikastamisel suurendatakse temas tegeliku tuumakütuse U-235 osatähtsust, kõrvaldades osa uraan 238 aatomeid. Tänapäeval kasutatakse rikastamiseks peamiselt gaasidifusiooni meetodit, mille juures uraani sisaldav gaas juhatakse kuni 4000 korda läbi poorsete vaheseinte. Samal viisil too-



Joon. 80. Uraani rikastamistehas (Oak Ridge, Ameerika Ühendriigid).

detakse ka puhast uraani 235, mida kasutatakse aatomipommides tuumalõhkeainena.

Rikastamistehased kujutavad endast tohutu suuri ettevõtteid. Näiteks Ameerika Ühendriikides Teise maailmasõja ajal ehitatud Oak Ridge'i difusioonitehas oli maailma suurimaks ühe katuse all olevaks ettevõtteks. Tehase 15 meetri kõrgune hoone on 800 meetrit pikk ja 400 meetrit lai, kogupindalaga 32 hektarit! Selline rikastamistehas tarbib elektrienergiat sama palju kui suur tööstuslinn. Pärast sõda laiendati nimetatud tehast veelgi, ühtlasi ehitati uued Paducah' ja Portsmouthi difusioonitehased, mis läksid maksma miljardeid dollareid.

Praegu kasutatakse Ameerika Ühendriikides difusiooni-tehaseid vaid aatomilõhkeaine — puhta uraan 235 tootmiseks. Neid on võimalik kasutada ka rikastatud uraani tootmiseks mitut tüüpi reaktoritele.

Teist tuumakütust — plutooniumi — tekib igas loodusliku või rikastatud uraaniga töötavas reaktoris kõrvalproduktina. Reaktorist väljavõetud varraste ümbertöötamisel keemiatehases eraldatakse vardaist nii tekkinud plutoonium kui ka radioaktiivsed isotoobid. On ehitatud erilisi reaktoreid plutooniumi tootmiseks. Sellised plutooniumitehased asuvad Ameerika Ühendriikides Hanfordis (ehitatud Teise maailmasõja ajal) ja Savannah Riveril (ehitatud pärast sõda). Reaktori töötamisel tekiv soojus juhitakse jahutusveega jõkke. Niisugune tuumaenergia kasutusviis on muidugi otsene raiskamine ja on tingitud üksnes püüdest toota võimalikult kiiresti suurel hulgal plutooniumi, mis on samuti nagu U-235 lõhkeaineks aatomipommidele. Relvastuse võidujooksu lakkamisel muutuvad ka plutooniumitehased ülearuseks. Ent plutooniumi tootmine jätkub ka siis aatomielektrejaamades, eriti «hauduvais» reaktorites. Tekkiv plutoonium leiab kasutamist tuumakütusena.

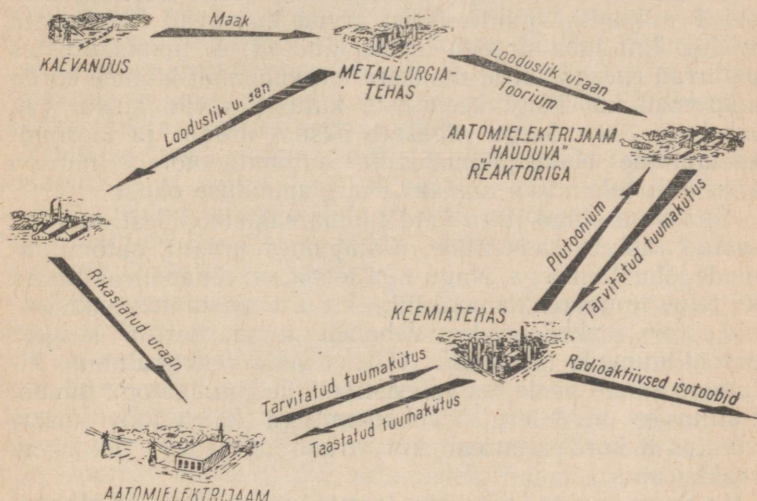
Teine looduses leiduv tooraine tuumaenergia tootmiseks on toorium — uraanist tunduvalt kergem metall (erikaalult võrdne seatinaga). Tooriumi töötlemine on raskem kui uraani puhul. Tooriumipulber pressitakse kokku kõrgel temperatuuril ja alles pärast seda valtsitakse varrasteks.

Tooriumi leidub looduses rohkem kui uraani, kuid tema kasutatavaid varusid peetakse väiksemateks, kuna nad on raskemini kättesaadavad.

Tooriumi muundamisel tuumakütuseks U-233 tuleb

kasutada «hauduvaid» aatomireaktoreid, tekkinud tuumakütus eraldatakse keemiatehastes.

Nagu selgub, on aatomielektrijaamade tööga vahetult seotud terve rida ettevõtteid: kaevandus, metallurgiatehased, keemiatehased. Kuna mitmed reaktoritüübid vajavad rikastatud uraani, siis on esialgu vajalikud ka rikastamistehased. Kui «haduvad» reaktorid hakkavad andma küllaldasel hulgal uut tuumakütust, siis muutub rikastamistehas ülearuseks, kuna kütuse rikastamiseks võib talle lisada puhast plutooniumi või uraani 233.



Joon. 81. Ettevõtted, mis on seotud aatomielektrijaamaga.

AATOMIENERGIA VARUD JA KASUTAMISVÄLJAVAADED

Nagu nägime, on looduses kaks elementi, mis võimaldavad toota tuumaenergiat: uraan (kasutatavad on mõlemad isotoobid) ja toorium. Mõlemaid aineid toodeti vähesel määral juba enne Teist maailmasõda: uraani mõningate värvainete valmistamiseks, tooriumi raadiolampide kütteniidide jaoks. Aastas toodetava uraani hulka võis mõõta kilogrammides. Ka mõlemate ainete varud olid võrdlemisi vähe uuritud.

Seoses tuumaenergia rakendamisega algas üle maailma jaht uraanivarude järele, uraani tootmine tõusis järsult ja ületab praegu mõningail andmeil 600 tonni aastas. Tähtsaimad uraanimaagi leiukohad kapitalistlikes maades asuvad Belgia Kongos, Kanadas, Lõuna-Aafrikas ja Ameerika Ühendriikides. Valdavas osas käsutab neid varusid Ameerika aatomitööstus, rakendades praktiliselt kogu toodetud uraani aatomipommide valmistamiseks.

Suurimad tooriumivarud asuvad Indias ja Brasiilias.

Läbiuuritud kasutamiskõlblikke uraanivarusid kogu maailmas hinnatakse praegu 25 miljonile tonnile, tooriumivarusid 1 miljonile tonnile. Need arvud kasvavad kahtlemata veelgi. Ent juba praegu teame kindlalt, et tuumakütustes peituvad energiavarud maakeral on vähemalt kümme korda suuremad kui kõigi keemiliste kütuste varud kokku (vt. tabel lk. 149). Seega vabastab üksnes uraani ja tooriumi kasutamine elektrijaamades ja aatomimootoreis inimsoo vähemalt tuhandeks aastaks energiapuuduse ohust.

Siiani on olnud juttu vaid tuumareaktsioonidest, mis on seotud raskete elementide, esmajoones uraani, aatomituumade lõhustumisega. Nagu aga teada, on tänapäeval tuntud ka teine tuumareaktsiooni liik — nn. termotuumareaktsioonid. Neis reaktsioonides vabaneb tuumaenergia kergete aatomituumade liitumisel. Näiteks nelja vesinikutuuma liitumine annab peale rea vaheastmeid heeliumiaatomi tuuma. Siinjuures on energia vabanemisega kaasaskäiv massi muutus 8 korda suurem kui uraanituumadega toimuvast reaktsioonist.

Me oleme õppinud teostama termotuumareaktsiooni plahvatuseks, vesinikupommis. Selle võimsa energiaallika rakendamiseks rahulikuks otstarbeks on vaja «põletada» vesinikutuumakütust aeglaselt, nii nagu see toimub Päikese ja tähtede sisemuses ja nagu seda oleme õppinud tegema uraaniga.

Termotuumareaktsiooni algatamiseks on vaja vesinikku kuumutada mitmesaja miljoni kraadise temperatuurini ja hoida sellel temperatuuril teatava ülilühikese aja vältel. Vesinikupommis tekitatakse selline temperatuur aatomipommi plahvatuse abil. Nüüd on vaja õppida kuumutama väikesi vesinikukoguseid. Selleks võivad leida rakendamist tuumaosakeste kiirendajad, mida praegu kasutatakse aatomifüüsika probleemide uurimisel. Samuti võib ülikõrgeid temperatuure saavutada tugeval gaaslahendusel, juhtides läbi hõrendatud vesiniku miljonite ampriteni ulatuva voolu.

Tööst nende probleemide lahendamiseks võtavad osa mitmete maade nimekad teadlased.

Genfi aatomiteadlaste konverentsil avaldas konverentsi juhataja dr. Homi Bhabha lootust, et inimkond õpib valitsema termotuumareaktsioone lähema kahe aastakümne jooksul. Võib-olla läheb selleks rohkem aega. On ju mingi protsessi läbiviimisest laboratooriumis selle tehnilis-tööstusliku rakendamiseni suur vahemaa. Kuid varem või hiljem suudame alistada ka vesinikuaatomi, ja siis tunduvad kõik senised kaalutlused energiavarude kohta naeruväärseina. Vesinik-tuumakütus, nn. raske vesinik, moodustab looduslikust veest kaalult ühe viiekümnetuhandiku, seega on teda kogu maakeral triljoneid tonne. Sellises tuumakütuse koguses sisalduv energiahulk on niivõrd suur, et selle kujutamiseks kahvatuvad ka kõige rabavamad võrdlused. Jätame lugeja hooleks neid leiutada.

Vaatleme veel aatomienergia kasutamise väljavaateid majanduslikust seisukohast, piirdudes vaid eespool lähemalt vaadeldud tuumakütuste ja reaktoritega. Kas aatomi-elektrijaam on lähemas tulevikus võimeline majanduslikult võistleva teiste elektrijaamadega?

Sellele küsimusele on antud palju vastuseid sõltuvalt jaama tüübist, võimsusest jne. Esimesed aatomi-elektrijaamad on ehitatud põhiliselt katse otstarbeks, et kontrollida teoreetilisi kaalutlusi, selgitada välja sobivamaid konstruktsioone ja õppida sellises jaamas töötama. Neid jaamu ei saa muidugi majanduslikul võrdlemisel aluseks võtta. Lähemale suurest tööstuslikust aatomi-elektrijaamast sellisena, nagu ta võiks olla 3—4 aasta pärast.

Toodetava energia omahind tuleb tõenäoliselt sama kõrge või pisut kõrgem kui sama suures kivisöeküttel töötavas elektrijaamas. Jaama ehituskulud on võrreldes soojus-elektrijaamaga suuremad, tingituna reaktori ja teiste seadmete iseärasustest. Seevastu on jaama hoone umbes kaks korda väiksem. Kõige tugevam on kütuse hinna mõju. Soojuselektrijaamas moodustab kütuse hind üle poole energia omahinnast, aatomi-elektrijaamas neli kuni viis korda vähem. Pealegi tekib aatomi-elektrijaamas kütuse «põlemisel» uut kütust plutooniumi näol, «hauduva» reaktori puhul isegi rohkem, kui oli tuumakütust esialgu. See katab täielikult kütusekulud ja võib anda jaamale isegi lississetulekut. Samuti saab aatomi-elektrijaam sissetulekut radioaktiivsetest isotoopidest.

Mitmetes maades teostatud hinnangud ühtivad peaaegu eranditult ühes punktis: võimas aatomielektrijaam on juba lähemal ajal täiesti võimeline võistlema soojuselektrijaamaga.

Eriti põhjendatud on aatomielektrijaamade rajamine neis rajoonides, kus keemilise kütuse varud puuduvad või on lõppemisel ja ei leidu ka odavat hüdroenergiat, näiteks Austraalias, mõnedes Aafrika ja Lõuna-Ameerika osades ning Inglismaal. Samuti on otstarbekohane rajada aatomielektrijaam sinna, kus kütuse juurdevedu on seotud raskustega.

Neil põhjustel pööratakse paljudes maades aatomielektrijaamade ehitamisele suurt tähelepanu. Nõukogude Liidus ehitatakse kuuenda viisaastaku vältel aatomielektrijaamu üldvõimsusega üle 2 miljoni kilovati, mis moodustab umbes 8 protsenti uute ehitatavate elektrijaamade võimsusest. Teiste hulgas ehitatakse 2 jõujaama võimsusega kumbki 500 000 kW Uraali tööstusrajooni ja jõujaam võimsusega 400 000 kW Moskva lähedale.

Inglismaa kavatseb kuni 1965. aastani ehitada kokku 16 aatomielektrijaama üldvõimsusega kuni 2 miljonit kW. Ulatuslik programm aatomielektrijaamade rajamiseks on ka Ameerika Ühendriikidel. Ettevalmistusi aatomielektrijaamade ehitamiseks on alustanud Prantsusmaa, Brasiilia, Rootsi, Norra, Kanada jt. Belgia kavatseb ehitada aatomielektrijaama 1957. aastal korraldatavaks maailmanäituseks. Rahvademokraatia maad on alustanud suuri töid aatomienergeetika alal tänu Nõukogude Liidu poolt osutatavale abile.

On põhjust väita, et juba lähema 10—20 aasta vältel saavutavad aatomielektrijaamad laialdase leviku. See sõltub põhiliselt muidugi reaktoriehituse alal saavutatavaist edusammudest. Tingituna uurimistööde suurejoonelisest ulatusest on need edusammud seni olnud väga kiired, tööde tempo kasvab iga aastaga. Mõnede asjatundjate arvates toodetakse 15—20 aasta pärast veerand kogu elektrienergiast aatomielektrijaamades. Võib-olla on see hinnang isegi veel tagasihoidlik.

KOKKUVÕTE

Energiatarvidus kasvab maailmas iga aastaga, sammu-des käsikäes tehnilise arenguga ja elutingimuste parane-misega. Toome mõned iseloomustavad andmed.

Möödunud saja aasta vältel tarbiti maailmas umbes sama palju energiat kui kogu eelnenud 18½ sajandi vältel, alates meie ajaarvamise algusest. Vaatamata sõdadele ja teistele arengut takistavaile tegureile on energia tarbimine keskmiselt iga 25 aasta jooksul kahekordistunud. Nõuko-gude Liidus on kasv aga võrdlematult kiirem: 1913. aas-taga võrreldes on energia tarbimine kuuekordistunud.

Joonisel 82 toodud bilanss iseloomustab energia tootmist tänapäeval üksikute energiaallikate ja energialiikide järgi. Nagu bilansist nähtub, tarbitakse praegu kogu maailmas ühe elaniku kohta kütuste ja hüdroenergia näol kümme korda rohkem energiat kui toiduainetena. Tehniliselt arene-nud maades on «masinate toidu» hulga suhe inimtoidusse 20 kuni 50, majanduslikult mahajäänud maades seevastu kuni 100 korda vähem.

Huvitav on jälgida seost rahvatulu ja energiatarviduse vahel reas kapitalistlikes maades⁹:

Riik	Rahvatulu ühe elaniku kohta dollarites	Energia tarbimine elaniku kohta milj. kcal
Ameerika Ühendriigid.	1858	59,1
Kanada	1294	50,2
Inglismaa	695	34,5
Prantsusmaa	684	17,8
Itaalia	276	6,4
Argentiina	222	6,7
Filipiinid	102	0,9
India	77	0,7

Need andmed näitavad kujukalt, et ühe elaniku kohta tarbitud energiahulk iseloomustab hästi maa tehnilist ja elatustaset. 7 protsenti maailma elanikkonnast, kes ela-vad Ameerika Ühendriikides, tarbivad 44 protsenti maa-

⁹ Tabeli koostamisel on kasutatud 1952. aasta andmeid, välja arvatud India, mille kohta andmed on pärit 1949. aastast.

ilmas toodetavast energiast, seega iga elaniku kohta 10 korda rohkem kui keskmiselt kogu ülejäänud maailmas.

Sotsialistlikes riikides allub rahvatulu jaotus muidugi hoopis teistele seadustele, kuid ülalmainitud seaduspärasus kehtib ka siin.

Vaadeldes mehaanilise energia — «jõu» — kasutamist, saame samalaadse pildi. Inimene oma lihastejõuga toodab päevas kõige rohkem 0,5 kilovatt-tundi energiat (selle hind, arvestatuna tavalise elektrienergia tariifi järgi, on ainult 20 kopikat!). Tänapäeval kasutatakse maailmas mehaanilist energiat ühe elaniku kohta keskmiselt 3 korda enam, s. t. iga elaniku heaks töötab 3 tugevat «mehaanilist orja», kes panevad liikuma masinaid ja sõidukeid. Tööstuslikult kõrgesti arenenud maades on see arv märksa suurem: Prantsusmaal töötab iga elaniku kohta 5 «mehaanilist orja», Inglismaal 10, Ameerika Ühendriikides isegi 20. Seevastu mahajäänud ja koloniaalmaades pole olukord kuigi palju parem kui saja aasta eest.

Nagu näeme, iseloomustab energia kasutamist kogu maailmas äärmine ebaühtlus. Üheks peamiseks inimkonna ees seisvaks ülesandeks on selle ebaõigluse kõrvaldamine.

Ülevaate energia tarbimise kasvust kogu maailmas annab joonis 83. Ühtlasi annavad toodud andmed hea ettekujutuse üksikute energiaallikate osatähtsuse muutumisest¹⁰.

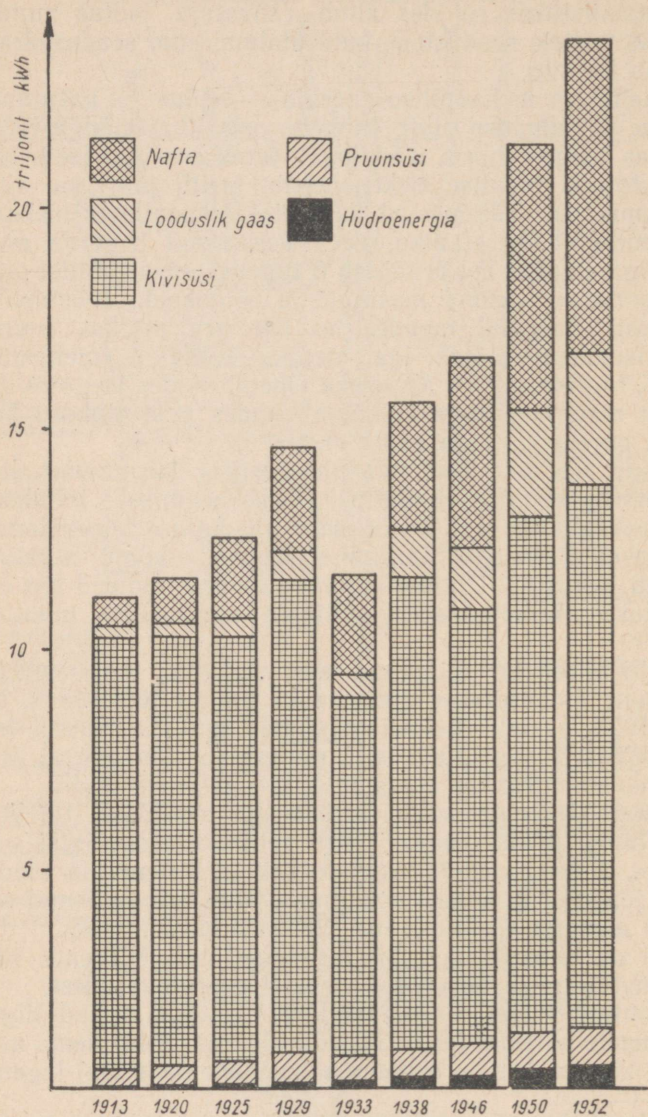
Eriti kiirelt on toimunud elektrienergia tootmise kasv. Esimene üldkasutatav elektrijaam hakkas tööle 1882. aastal. 1925. aastaks toodeti maailmas iga kilogrammi leiva kohta üks kilovatt-tund elektrienergiat, tänapäeval tuleb iga leivakilogrammi kohta juba viis kilovatt-tundi!

Tsaari-Venemaa oli elektrienergia tootmiselt 15. kohal maailmas, jäädes maha isegi sellisest väikeriigist nagu Šveits. Praegu on Nõukogude Liit elektrienergia tootangult jõudnud 2. kohale maailmas, olles suurendanud seda 1913. aastaga võrreldes ligi üheksakümnekordseks.

Nii on olukord energia tarbimise osas. Teeme nüüd kokkuvõtte meie käsutuses olevaist energiavarudest.

Joonisel 84 on eespoolvaadeldud energiaallikad liigitatud nende päritolu järgi. Toodud liigitus peaks olema mõistetav kõigile, kes on eelnenu tähelepanelikult läbi lugenud.

¹⁰ Joonisel puuduvad kokkuvõtlikud andmed puidu ja turba kohta, mis praegu annavad umbes 12% kogu tarbitavast energiahulgast.



Joon. 83. Maailma energiatarbimise kasu 1913.—1952. a.

Et võrrelda omavahel varude suurusi, selleks peame valima sobiva mõõtühiku. Võtame selleks kvintiljon (miljon triljonit) kilokalorit (10^{18} kcal) ja tähistame selle «EÜ» (energiaühik). Selle ühiku suurust on raske endale kujutada. Sellespärast toome mõned näited. Maailma energiatarvidus möödunud saja aasta vältel moodustab umbes ühe EÜ. Maailma aastane energiatarbimine moodustab praegu 0,02 EÜ.

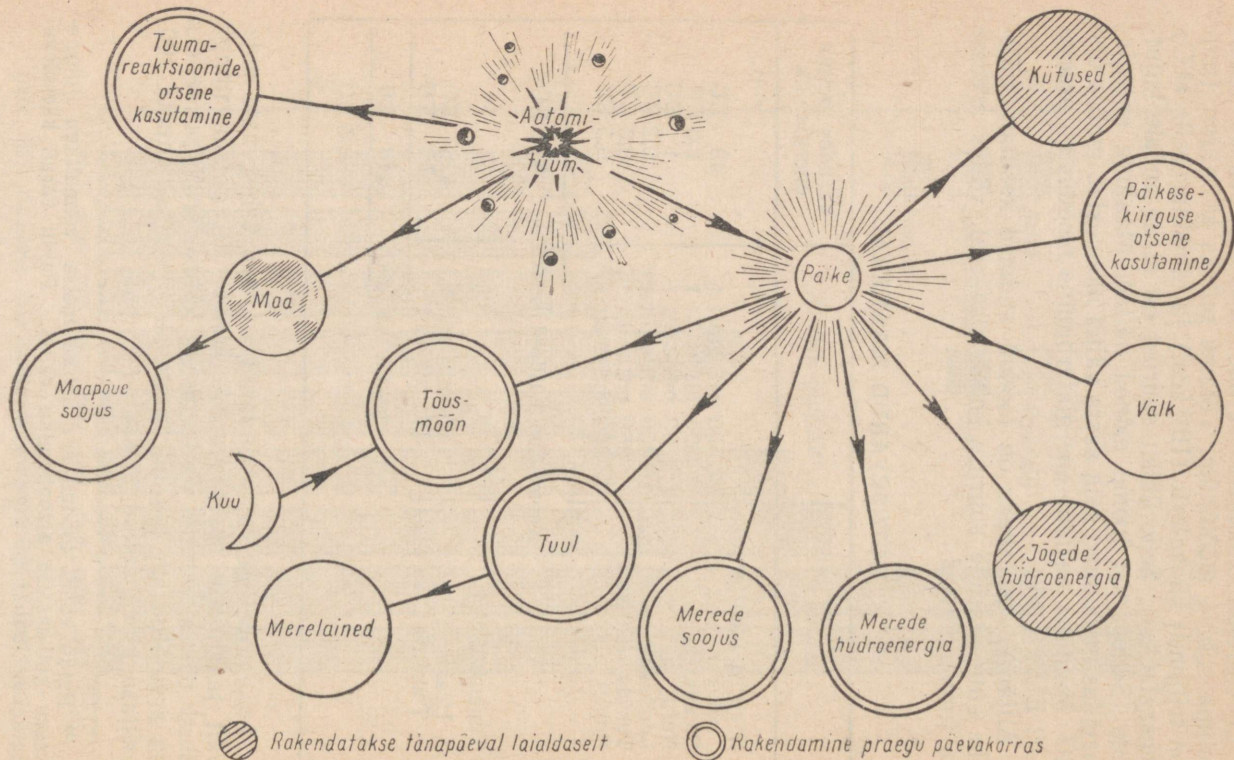
Alljärgnevas tabelis on toodud andmed kasutamiskõlblike kütusevarude suuruse kohta maakeral, võttes arvesse ka tuumakütused.

KÜTUSEVARUD MAAKERAL

Kütus	Varude suurus	Varudes peituv energiahulk
Kivistisi (koos pruun-söega)	7 500 miljardit t	40 EÜ
Põlvkivi	600 miljardit t	1,5 EÜ
Nafta	90 miljardit t	1 EÜ
Looduslik gaas . . .	16 000 miljardit m ³	0,2 EÜ
Turvas (õhukuiv) . .	250 miljardit t	0,6 EÜ
Puit ¹¹	250 miljardit m ³	0,5 EÜ
Keemilised kütused kokku		43,8 EÜ
Tuumakütused:		
Uraan	25 miljonit t	425 EÜ
Toorium	1 miljon t	18 EÜ
Tuumakütused kokku		443 EÜ
Kõik kütused kokku		486,8 EÜ

Teise tabelisse on koondatud andmed tähtsamate pidevalt taastuvate energiavarude kohta. Et omada mingit alust nende varude võrdlemiseks kütusevarudega, selleks on arvutatud energiahulk, mida oleks võimalik toota 100-aastase ajavahemiku jooksul.

¹¹ Puidu kohta toodud arv näitab metsa võimalikku juurdekasvu 100-aastase ajavahemiku vältel. Puidu varud käesoleval hetkel on umbes 2,5 korda väiksemad.



Ioon. 84. Meie käsutuses olevad energiaallikad.

PIDEVALT TAASTUVAD ENERGIAVARUD

Energiaallikas	Praktiliselt kasutatav võimsus	100 aasta vältel toodetav energia-hulk
Tuul	20 miljardit kW	4 EÜ
Päikesekiirgus . . .	200 miljardit kW	40 EÜ
Jõgede hüdroenergia	1 miljard kW	0,2 EÜ
Tõus-mõõn	500 miljonit kW	0,1 EÜ

Kui lisaks tabelleis toodud andmeile võtta arvesse eelmistes peatükkides kirjeldatud tehnilisi raskusi ühe või teise energiaallika rakendamisel, siis saame oma käsutuses olevaist energiavarudest küllaltki ülevaatliku pildi.

Kahtlemata pakuvad huvi ka meie väbariigi — Eesti NSV — energiavarud. Nafta ja kivisüsi meil teatavasti puuduvad. Teiste energiaallikate kohta on andmed toodud alljärgnevas tabelis. Ühikuks on võetud tuhandik EÜ.

EESTI NSV ENERGIAVARUD

Energiaallikas	Varude suurus	Varudes peituv energiahulk	Osatähtsus võrreldes maailmavarudega
Põlevkivi	5,5 miljardit t	15 tuhandikku EÜ	$\frac{1}{100}$
Turvas (õhukuiiv)	1200 miljonit t	3 tuhandikku EÜ	$\frac{1}{200}$
Puit (juurdekasv 100 aasta kohta)	170 miljonit m ³	0,35 tuhandikku EÜ	$\frac{1}{1500}$
Jõgede hüdroenergia ¹² . . .	120 000 kW		$\frac{1}{8000}$
Tuul	5 miljonit kW		$\frac{1}{4000}$

Kõigest eeltoodust võime teha ühe põhilise järelduse: energianälga ei saabu kunagi. Väljavaated uute energiaallikate avastamiseks ja kasutuselevõtmiseks on märksa suuremad kui kütusevarude lõppemise oht.

Praegusel hetkel lasub raskuspunkt tavalistel kütustel, eriti kivisöel ja naftal. Lähema paarikümne aasta jooksul

¹² Hüdroenergia varude hulka on arvestatud Narva jõe hüdroenergia, mida tegelikult vaid osaliselt saab lugeda Eesti NSV-le kuuluvaks.

omandavad suure osatähtsuse tuumakütused — areneb aatomielektrijaamade ehitamine. See ei tähenda tavaliste kütuste tarbimise vähenemist; vastupidi — kivisütt ja naftat toodetakse iga aastaga üha rohkem. Samuti rakendatakse praktiliselt kõik kasutamiskõlblikud hüdroenergia allikad — peamiselt jõed, mõningais rajoonides aga ka tõus-mõõn.

Nimekas aatomiteadlane Frédéric Joliot-Curie kriipsutab alla, et ka «aatomisajandil» säilitavad oma tähtsuse pidevalt taastuvad energiaallikad, mis võlgnevad oma päritolu Päikesele. Hüdroenergia kõrval, mis isegi täielikul ärakasutamisel suudab katta vaid murdosa inimkonna energiavajadusest, on Joliot-Curie arvates eriline tähtsus päikesekiirguse otsesel kasutamisel. Lähema il aastakümneil on oodata päikesejõujaamade arengut ja laialdast levikut. Sama on kehtiv tuulejõujaamade kohta. Üksikuis rajoonides annavad oma osa energia tootmisse ka vulkaanilise auruga töötavad geotermilised jõujaamad, võib-olla ka troopikamerede soojust kasutavad jaamad, kuigi nende üldine osatähtsus maailma energiamajanduses jääb tõenäoliselt väga väikeseks.

Uute energiaallikate rakendamine toimub kõigis maades järjest kasvava hooga. Meie kodumaa teadlased ja insenerid on selles suures töös andnud oma väärika panuse, millest eriti eredalt kõneleb maailma esimene tööstuslik aatomielektrijaam.

Praegu kulutatakse veel suur hulk energiat relvastumise võidujooksuks. Näiteks Ameerika Ühendriikides tarbivad tuumalõhkeaine tehased 10 protsenti kogu toodetavast elektrienergiast. Ent üha võimsamalt segab end vahele rahvaste rahutahe. Rahvusvahelise julgeoleku kindlustamine ning rahvaste rahuliku koostöö ja kaubavahetuse areng kiirendaks tunduvalt ka uute energiaallikate, eriti aatomienergia rakendamist. Sellest kõneleb selget keelt 1955. aasta suvel Genfis toimunud konverents aatomienergia kasutamise alal rahulikeks otstarbeiks, millest võtsid osa 1410 teadlast 73 maalt, esitades konverentsile üle 1000 aruande oma töödest.

Me ei tarvitse kahelda selles, et rahvaste tahe elada rahu ja koostöös muutub iga päevaga kindlamaks. See tõttu võime vaadata julgelt tulevikku, kartmata energiapuudust.

SISUKORD

Sissejuhatus	3
I. Energia ja selle kasutamine	4
Mis on energia?	4
Energialiigid ja nende muundumised	4
Mõni sõna mõõtühikutest	11
Maa energiabilanss	13
II. Kütuste energia tänapäeval ja tulevikus	15
Kütused ja nende varud	15
Soojuselektrijaamad ja nende areng	21
Kütuste energotehnoloogiline kasutamine	25
Kütuste allmaagaasistamine	27
Teisi teid gaasi tootmise laiendamiseks	31
Soojusmootorid tänapäeval	33
Uus soojusmootor — gaasiturbiin	37
Soojuse ja kütuste energia otsene muundamine elektrienergiaks	42
III. Hüdroenergia ja selle tulevik	50
Hüdrojõujaamad tänapäeval	50
Hüdroenergia tähtsus ja varud	52
Mered energiaallikaina	56
Tõusu-mõõna energia kasutamine	61
Merelainete energia	68
IV. Tuul energiaallikana	72
V. Vähekasutatavad energiaallikad looduses	82
Päikesekiirgus	82
Merede soojus	89
Maapõue soojus	95
Välg ja atmosfäärielektter	101

VI. Aatomienergia ja selle tulevik	103
Mis on aatomienergia?	103
Ahelreaktsioonid	106
Tuumareaktorid	110
Aatomielektrijaam tuumareaktoritega	114
Aatomimootor sõidukeil	128
Tuumaenergia otsene muundamine elektrienergiaks	136
Tuumakütused ja nende tootmine	138
Aatomienergia varud ja kasutamiseväljavaated . . .	141
Kokkuvõte	145

У. Агуп
ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ БУДУЩЕГО
На эстонском языке
Обложка Р. Пангсепп
Эстонское Государственное Издательство
Таллин, Пярну маantee 10.

*

Toimetaja H. Rehema
Tehniline toimetaja K. Einberg
Korrektorid P. Hiie ja M. Sepp

Ladumisele antud 10. VIII 1956. Trükkimisele
antud 28. IX 1956. Paber 54×84, 1/16. Trüki-
poognaid 9,75. Formaadile 60×92 kohaldatud
trükipoognaid 8. Arvutuspoognaid 8,07.
Trüklarv 8000. MB-07180. Tellimise nr. 4743.
Trükikoda «Kommunist», Tallinn, Pikk tn. 2.

Hind rubl. 2.50

Rbl. 2.50

A-21219

TÜ RAAMATUKOGU



1 0300 00346654 9