UTILIZAREA MIJLOACELOR HIDROENERGETICE ÎN ISRAEL, DE-A LUNGUL VEACURILOR

Samuel Avitsur

Teritoriul istoric al Galileei este regiunea de unde s-a dezvoltat mai întîi mica roată orizontală de măcinat grăunțe. Pe de altă parte, roata cea mare, de apă, verticală, folosită la început pentru pomparea apei, în irigații, își are originea pe malurile rîului Orontes, din nordul Siriei. Primul dintre aceste două tipuri de roți a cunoscut o dezvoltare către sfîrșitul secolului al II-lea î.e.n., al doilea, puțin mai tîrziu.

Dintre rîurile care curg tot timpul anului aici, puține au curs continuu de la izvor la vărsare. Prin albiile multora dintre ele (și chiar și ale celor ce se varsă în Marea Mediterană) curge o apă leneșă, în regiunile joase de la gurile de vărsare. Parte din această apă provine din mare. În afara rîului Iordan și a afluenților săi principali, există numai două alte ape (Yarkon și Na'aman) cu un debit mai mare de un metru cub pe secundă, de-a lungul întregului lor curs. Alte două ajung sau depășesc acest debit numai în anumite părți. Pe de altă parte, pîraiele de munte din regiunile carstice adesea dispar, apărînd în chip de izvor, din nou, mai la vale, de-a lungul albiei, reîmprospătînd cursul apei pentru alți cîțiva kilometri.

Cele mai multe rîuri au un debit continuu și constant doar în anotimpul ploios și mai ales în perioada inundațiilor. În afară de aceasta, majoritatea izvoarelor din această regiune tind să dea dovadă de un debit destul de sărăcăcios care scade și deseori dispare cu totul, pe timpul verii.

Însă cu toate că natura s-a arătat zgîrcită în precipitații, acestea sînt din plin compensate prin înălțimi și pante. Structura muntoasă a mai tuturor regiunilor din aceste ținuturi, mai ales către nord unde apele curgătoare apar mai frecvent, a dus la existența unor importante diferențe de nivel de pînă la o mie de metri între izvor și vărsare. Astfel, au apărut diferite instalații (de obicei mori de făină) construite aproape unele de celelalte pentru o exploatare adecvată a cursurilor de apă stabile și a structurilor topografice convenabile.

DIE VERWENDUNG HYDROENERGETISCHER MITTEL IN ISRAEL IM LAUFE DER JAHRHUNDERTE

Samuel Avitsur

Im einstigen Galiläa, entwickelte sich zunächst das kleine horizontale Rad zum Mahlen des Getreides. Andrerseits hat das große senkrechte Wasserrad, das als Schöpfrad bei der Bewässerung diente, seinen Ursprung in Syrien, an den Ufern des Flusses Orontes. Das erste der beiden erwähnten Räder erfuhr am Ende des 2. Jahrhunderts v.u.Z. eine Entwicklung, während das zweite diese erst später durchmachte.

Von den Gewässern, welche das ganze Jahr über das Gebiet durchziehn, haben nur wenige einen von der Quelle bis zur Mündung ununterbrochenen Lauf. In vielen Flußbetten (selbst der Gewässer, welche ins Mittelmeer münden) fließt das Wasser in den tiefer gelegenen Regionen nahe der Mündung nur träge dahin. Außer dem Jordanfluß und seinen wichtigen Zuflüssen gibt es nur zwei Wasserläufe (Jarkon und Na'aman), die eine größere Menge als ein Kubikmeter/s entlang ihres gesamten Laufs befördern. Zwei andere Gewässer überschreiten diese Menge nur an bestimmten Stellen. Andrerseits verschwinden die Gebirgsbäche aus den Karstgebieten oft und erscheinen dann als Quellen wieder talwärts, wobei sie ihr Bett erneut einige Kilometer lang bewässern.

Die meisten Wasserläufe befördern konstant gleiche Wassermengen, nur während der Regenzeit und vor allem während der Überschwemmungen. Die Mehrheit der Quellen dieses Gebiets führt wenig Wasser, das sommers oft vollkommen versiegt.

Obwohl die Natur mit Niederschlägen geizt, werden diese durch Höhenzüge und Steilhänge vollkommen ersetzt. Der Gebirgscharakter aller Regionen dieser Gebiete, von allem jener aus dem Norden, wo die fließenden Gewässer zahlreicher sind, hat zu bedeutenden Höhenunterschieden geführt, Unterschiede die bis zu 1000 m ausmachen. So erschienen hier verschiedene Anlangen (zumeist Getreidemühlen), welche sehr nahe aneinander gebaut wurden und die beständigen Wasserläufe und günstigen topographischen Strukturen entsprechend nutzten.

www.muzeulastra.com / www.cimec.ro

Pîraiele ce curg doar primăvara şi iarna, fiind secate în timpul verii, au fost şi ele exploatate. În Europa nordică şi în cea răsăriteană, s-au construit mori care funcţionau învîrtite de forţa apelor între cinci şi opt luni pe an, timp în care rîurile nu erau acoperite cu gheaţă. În Eretz-Israel, însă, situaţia era tocmai pe dos. Pîraiele al căror curs creşte în timpul iernii, precum şi apele provenite din ploile ce se scurg de-a lungul unor albii lipsite de apă pe timpul verii, au fost folosite din plin iarna şi la începutul primăverii.

Astfel, în ciuda (sau, mai precis, tocmai datorită) insuficienţei hidrografice, s-au născocit noi moduri şi mijloace de exploatare a apelor existente în nişte condiţii şi la o scară necunoscută şi nesolicitată pînă atunci în alte părţi ale lumii poate doar cu excepţia regiunilor vecine din nord.

Moara de apă a fost menţionată pentru prima oară, în literatură, în faimoasa epigramă a poetului Antipater din Sidon care a trăit în sec. II î.e.n. şi care s-a născut la Tyr. Pînă în secolul al XIX-lea s-a crezut în mod greşit că această epigramă ar aparţine lui Antipater din Thessalinica (Salonic) care a trăit la mai mult de un secol după primul.

Moara de apă apare menţionată pentru prima oară într-o sursă talmudică sub numele de Tosefta care interzice folosirea ei pe timpul Sabatului. Acelaşi pasaj este citat şi în Talmudul Ierusalimului care explică această interzicere ca urmare a unor anume dispute dintre şcoala din Hillel şi cea din Shamai. Deoarece aceste şcoli au existat înainte de cucerirea şi distrugerea Ierusalimului, în anul 70 e.n., rezultă că folosirea morilor de apă, conform legislaţiei iudeice, a fost discutată nu mai tîrziu de prima jumătate a secolului întîi, era noastră. Logica ne îndeamnă să credem că cu greu ar fi fost posibilă o interdicţie a folosirii morilor în timpul Sabatului, la început. Această interdicţie a putut deveni efectivă doar atunci cînd morile au devenit parte integrantă din viaţa cea de fiecare zi.

Primul pas înspre o exploatare a forţei hidrografice a fost probabil făcut odată cu îngustarea albiei rîurilor, cu scopul intensificării vitezei curentului. Acest lucru a făcut necesară o cantitate mărită de apă, astfel încît folosirea unor rîşniţe rotative a devenit inevitabilă. Astfel de mori rotative dădeau un randament de un kilogram pe oră (egalînd munca fizică manuală), însă puteau fi folosite 24 de ore pe zi.

În faza a doua, puterea a fost mărită prin introducerea unor căderi de apă artificiale, precum şi prin abaterea cursului de apă către paletele roţii, printr-o cădere înclinată primitivă. Forţa morii a fost astfel mărită, căci o apă curgătoare cu un debit minim de 100 litri pe secundă şi cu o cădere verticală de un metru, avînd un randament de 15 pînă la 20% putea dezvolta o forţă echivalentă cu cea a unui măgar, făcînd astfel posibilă măcinarea unei cantităţi de 5 kg făină pe oră.

Selbst die Bäche, die nur im Winter und Frühling Wasser führen, wurden ausgebeutet. In Nord- und Osteuropa wurden Wassermühlen gebaut, welche jährlich zwischen fünf und acht Monaten in Betrieb waren, dann wenn die Wasserläufe nicht eisbedeckt waren. In Eretz-Israel hingegen verhielt es sich umgekehrt. Die Bäche, welche im Winter anschwellen, sowie die Gewässern, die sich aufgrund der Niederschläge bilden und deren Bett im Sommer austrocknet, wurden im Winter und zu Frühlingsbeginn maximal genutzt.

So kam es, daß trotz der Wasserarmut (oder genauer, gerade deswegen) andere Möglichkeiten und Mittel zur Nutzung der Gewässer ersonnen wurden, unter Bedingungen und in einem Maßstab, der bis dahin, außer in den nördlichen Nachbargebieten, weder bekannt noch beansprucht war.

Die Wassermühle wurde zum ersten Mal in der Literatur in dem berühmten Epigramm des Dichters Antipater von Sidon erwähnt, der im 2. Jahrhundert v.u.Z. gelebt hat und in Tyr geboren wurde. Bis zum 19. Jahrhundert glaubte man irrtümlicherweise, dieses Epigramm stamme von Antipater von Thessalinica (Saloniki), welcher mehr als ein Jahrhundert später als der vorhin erwähnte gelebt hat.

Die Wassermühle wurde zum ersten Mal in einer der Schriften des Talmud erwähnt, unter der Bezeichnung „Tosefta", und ihr Gebrauch während des Sabbats untersagt. Die gleiche Stelle wird auch im Talmud Jerusalems zitiert und das Verbot als Folge einer Auseinandersetzung zwischen der Schule von Hillel und der von Shamai erklärt. Weil diese Schulen bereits von der Eroberung und Zerstörung Jerusalems im Jahre 70 u.Z. existierten, kann man schlußfolgern, daß die Benutzung der Wassermühlen in Übereinstimmung mit der judäischen Gesetzgebung nicht später als in der ersten Hälfte des 1. Jahrhunderts u.Z. zur Frage gestellt wurde. In den Anfängen war also logischerweise ein Benutzungsverbot der Wassermühlen während des Sabbats nur schwer möglich. Dieses Verbot konnte nur zu einer Zeit notwendig werden, als die Mühlen bereits zu dem alltäglichen Leben gehörten.

Der erste Schritt zur Nutzbarmachung der Wasserkraft wurde mit der Verengung des Bachbettes getan, um auf diese Weise die Geschwindigkeit des Wassers zu erhöhen. Diese Tatsache führte zum Gebrauch der wasserbetriebenen Mahlmühlen, welche pro Stunde 1 kg Mahlgut verarbeiten konnten (was der menschlichen Leistungskraft entsprach), aber täglich 24 Stunden in Betrieb standen.

In der zweiten Phase wurde die Leistungskraft durch ein künstliches Gefälle des Wassers und ein primitives geneigtes Gerinne gesteigert, womit das Wasser dem Rad zugeleitet wurde. Ein fließendes Gewässer mit einer Wassermenge von 100 l/s, mit dem Gefälle von 1 m und einem Wirkungsgrad von 15—20% entwickelte eine Kraft, die etwa derjenigen eines Esels entsprach, und ermöglichte die Verarbeitung von 5 kg Mahlgut pro Stunde.

www.muzeulastra.com / www.cimec.ro

În cea de a treia fază s-au introdus jghiaburi şi căderi mai înalte. Aceste jghiaburi, lungi de la 4 la 8 metri, aveau o cădere verticală de 2,5 pînă la 3,5 metri, mărită şi mai mult, ulterior. Jghiabul a devenit mai îngust şi mai adînc, la capăt, transformînd curentul într-un şuvoi concentrat. Se pare că eficacitatea a atins echivalentul unei cămile putere. A atins probabil o forţă de un cal putere şi chiar şi mai mult (randament de 20—25%). În această fază au fost ridicate şi nişte clădiri permanente din piatră. Au rămas urmele unor instalaţii de acest tip, precum şi ale unor stăvilare solid construite, datînd din secolul al doilea şi al patrulea, era noastră.

Local, nu s-a descoperit nimic care să corespundă primei şi celei de-a doua faze. Totuşi, putem considera că instalaţiile au fost înainte adăpostite în construcţii temporare şi, anume, colibe sau stîlpi de lemn cu acoperiş de trestie, fie fără pereţi, fie cu pereţii din rogojini. Morile primitive cu roată orizontală care au supravieţuit în alte părţi ale lumii sînt cam tot aşa adăpostite. (Fig. 1).

Un alt pas hotărîtor în dezvoltarea instalaţiilor hidroenergetice s-a făcut odată cu dezvoltarea aşa-zisului jgheab „arubah" (Fig. 2, 3).

Pînă la această dată, unica sursă hidroenergetică a constituit-o energia cinetică a apei curgătoare, în cădere. Prin intermediul jgheabului arubah, s-a folosit efectiv presiunea coloanei de apă, asemeni ca în cazul unei turbine moderne. Apa nu era condusă de-a lungul unui scoc înclinat, deschis în partea superioară, ci printr-un turn de piatră vertical, scobit, asemeni unui puţ (care ar putea fi la fel de bine descris drept axul de alimentare, conducta sau jgheabul turbinei). Acest puţ este jgheabul „arubah". El conţinea o coloană de apă de înălţimea căderii, la baza acestuia exista un orificiu îngust prin care ţîşnea jetul de apă, izbind roata. În acest mod, randamentul roţii a fost ridicat de la 20—25%, la 30—40%. Odată cu introducerea roţilor de metal, mai perfecţionate, de către generaţiile viitoare, randamentul şi capacitatea instalaţiei au crescut pînă la 55—60%. Şi, ceea ce este şi mai important, această eficienţă ridicată a făcut posibilă exploatarea unor cursuri de apă mai sărace, precum şi a acelora cu debit cu mult mai scăzut în timpul anotimpului secetos.

Schimbînd inelele interioare ale „ajutajului" din lemn, din canalul arubah, debitul a putut fi regularizat păstrîndu-se doar forţa şi eficienţa şuvoiului. Atît iarna cît şi vara se putea folosi din plin presiunea şuvoiului, prin intermediul unui ajutaj cu orificiul adecvat nevoilor specifice fiecărui anotimp.

Cu vreo 1500 sau 1600 ani mai tîrziu, Pelton a reintrodus acest principiu, prevăzînd cu ajutaje de diametre variabile conductele care dirijează şuvoiul de apă asupra paletelor roţii, una din principalele caracteristici ale turbinei cu impuls.

In der dritten Phase wurden Gerinne und höhere Gefälle verwendet. Die Gerinne waren 4 bis 8 m lang, das Gefälle (vertikal) betrug 2,5 bis 3,5 m und wurde später noch erhöht. Das Gerinne wurde schmaler und tiefer und der Wasserfluß zu einem konzentrierten Strahl. Die Nutzkraft entsprach etwa der eines Kamels oder einer Pferdestärke (Wirkungsgrad 20—25%). In dieser Phase wurden auch Steinbauten errichtet. Die Spuren einer solchen Anlage und eines fest gefügten Damms aus dem 2. und 4. Jahrhundert u.Z. sind erhalten geblieben.

Örtlich wurden keine Spuren entdeckt, welche auf die erste oder zweite Phase hinweisen. Trotzdem können wir annehmen, daß die Anlagen in Hilfsbauten untergebracht waren, entweder in Hütten, oder in Pfahlbauten mit Dächern aus Rutengeflecht und Wänden aus Rohrmatten, oder ohne Wände. Die primitiven Mühlen mit waagerechtem Rad, welche in anderen Teilen der Welt erhalten geblieben sind, weisen etwa die gleiche Bauart auf (Fig. 1).

Ein entscheidender Schritt in der Entwicklung der hydroenergetischen Anlangen vollzog sich mit dem Erscheinen des „Arubah" — Gerinnes (Fig. 2,3).

Bis zu diesem Zeitpunkt war die einzige hydroenergetische Quelle die Bewegungsenergie des fließenden Wassers mit Gefälle. Mittels des „Arubah" — Gerinnes wurde der Druck des Wasserstrahls, wie im Falle einer modernen Turbine, effektiv genutzt. Das Wasser wurde nicht durch eine geneigte Rinne geführt, welche am oberen Ende geweitet war, sondern durch einen vertikalen steinernen Stollen, der einem Brunnen ähnlich, eine Höhlung besaß (der ebensogut als Druckrohr oder Gerinne einer Turbine gelten könnte). Diesen „Brunnen" bildet das „Arubah" — Gerinne. Es enthält eine Wassersäule von der Höhe des Gefälles und am unteren Ende eine schmale Öffnung, durch welche der Wasserstrahl auf das Rad fällt. Auf diese Weise wurde der Wirkungsgrad des Wasserrades von 20—25% auf 30—40% erhöht. Mit der Verwendung von Metallrädern, wie sie von den nächsten Generationen eingeführt wurden, stieg der Wirkungsgrad und das Leistungsvermögen der Anlage auf 55—60%. Was dabei weitaus bedeutender ist, dieser gesteigerte Wirkungsgrad machte die Ausbeutung der wasserarmen Flußläufe und derjenigen mit niedrigem Wasserstand zur Trockenzeit möglich.

Durch den Austausch der Innenringe der „Anpassung" aus Holz im „Arubah" — Kanal konnte die Kraft und Wirksamkeit des Strahls beibehalten werden. Mittels der Anpassung und der für jede Jahreszeit entsprechenden Öffnung konnte der Druck des Wasserstrahls ohne Einschränkungen sowohl sommers als auch winters genutzt werden.

Etwa 1 500 oder 1 600 Jahre später hat Pelton dieses Prinzip wieder eingeführt, wobei die Druckrohre, welche den Wasserstrahl auf das Rad lenken, mit Anpassungen von verschiedenen Durchmessern versehen sind —eines der Hauptmerkmale der Impulsturbine.

www.muzeulastra.com / www.cimec.ro

Introducerea jgheabului arubah nu a dus numai la mărirea capacității de lucru a instalației, ci (după cum am văzut) și la prelungirea perioadei de exploatare a surselor hidroenergetice care nu putuseră fi folosite înainte, provocînd astfel o adevărată revoluție industrială. A crescut considerabil numărul morilor care au fost construite, oriunde exista destulă apă pentru a le pune în mișcare, unele dintre ele funcționînd pînă în epoca modernă, cu toate că au fost, fără îndoială, reconstruite și restaurate în repetate rînduri.

Pentru a pune în mișcare niște pietre de moară cu un diametru de 53—55 cm, asemeni celor descoperite prin săpăturile de la Beth-Shean, într-un sat datînd din veacul al patrulea sau al cincilea e.n., erau necesari aproximativ 100 l apă/secundă, cu o cădere de 2—2,35 m, prin jgheab. Folosindu-se la niște pietre de moară echivalente, un arubah de 4—8 m înălțime (standardul obișnuit), nevoia cantității de apă a scăzut de la 100 l/secundă la 25 și chiar și la 12—15 l. Puteau fi astfel exploatate și pîraie cu debit mediu sau mic. A rezultat apariția unei largi rețele de mori de apă, înălțate într-o perioadă relativ scurtă. În măsura în care acestea puteau satisface nevoile locale, era posibilă folosirea unor pîraie primăvăratice sau hibernale cu o capacitate minimă de cel puțin 12 l/secundă. Cu toate acestea, mai tîrziu s-au folosit numai morile prevăzute cu pietre de moară avînd un diametru de 90—120 cm, iar cantitatea minimă de apă necesară era rareori mai mică de 18—20 l/secundă. Acestea par să fi fost limitele folosinței jgheabului arubah pe atunci. Ulterior, s-a ajuns la perfecționarea unor detalii, a roții și a lucrului mecanic util.

Bazinele de acumulare constituie o metodă specială în exploatarea hidroenergetică. Acestea erau alcătuite din pereți de zidărie închiși care captau anumite izvoare „arteziene", înclinate conform principiului vaselor comunicante; ca rezultat, apa se înălța în aceste bazine pînă ajungea să-și stabilească un nivel propriu. De aici, apa putea fi dirijată în scopuri de irigație, dintr-un bazin situat deasupra unor pante sau depresiuni, sau putînd chiar și să cadă direct într-un puț „arubah" al unei mori.

Această metodă de exploatare a resurselor hidroenergetice se folosește doar în regiunea dintre Tyr și Petra, fiind caracteristică în limitele geografice ale Palestinei. Reprezintă, probabil, rezultatul unei tradiții feniciene în agricultură, inginerit, irigații și construcții. Apele rîului Tyr de la izvoarele Ras el 'Ain, care se găsesc la sudul orașului, puteau fi folosite doar în acest mod, o scurgere gravitațională fiind cu totul ineficientă. După Iosif (Antichități, IX, 287) o linie hidrografică de acest tip a existat încă din secolul al VIII-lea î.e.n., cînd orașul Tyr a fost asediat de asirieni.

Die Einführung des „Arubah"-Gerinnes führte nicht nur zur Steigerung der Arbeitskapazität der Anlage, sondern auch (wie wir sahen) zur Verlängerung der Nutzungsperiode der hydroenergetischen Quellen, welche vorher ausgebeutet werden konnten, und bewirkte solcherart eine wahre Industrierevolution. Die Anzahl der Mühlen, die überall dort gebaut wurden, wo genügend Wasser vorhanden war, um sie in Bewegung zu setzen, wuchs rasch an und einige davon haben bis zum modernen Zeitalter funktioniert, obwohl sie zweifelsohne des öfteren wiederaufgebaut und restauriert worden sind.

Um ein Mühlsteinpaar mit dem Durchmesser von 53—55 cm in Bewegung zu setzen, gleich jenem das bei den Ausgrabungen von Beth-Shean in einer Schicht aus dem 4. oder 5. Jahrhundert u. Z. entdeckt wurde, waren etwa 100 Wasser pro Sekunde mit einem Gefälle von 2—2,5 m und ein Gerinne notwendig. Wurde für ähnliche Mühlsteine ein „Arubah" von 4—8 m Höhe benutzt (der gewöhnliche Standard), so konnte die benötigte Wassermenge statt 100 l/s auch nur 25 oder selbst 12—15 l betragen und Bäche mit geringer Wasserführung ausgebeutet werden. Das führte zum Erscheinen einer ausgedehnten Kette von Mühlen, die in einer relativ kurzen Zeit erbaut wurden. In dem Maß, in welchem sie den lokalen Anforderungen entsprachen, war die Nutzung von durch das Frühjahr oder den Winter bedingten Bächen möglich, die eine minimale Wasserführung von 12 l/s hatten. Trotzdem wurden später nur Mühlen mit Mühlsteinen von 90—120 cm Durchmesser verwendet, wobei die benötigte Wassermenge selten kleiner als 18—20 l/s war. Dieses scheint damals die untere Grenze für die Verwendung des „Arubah" — Gerinnes gewesen zu sein. Später wurden Details, das Rad und das mechanische Triebwerk verbessert.

Die Staubecken stellen eine besondere Methode der hydroenergetischen Ausbeutung dar. Die Staudämme wurden aus geschlossenen Backsteinmauern errichtet, welche das Wasser der sogenannten „artesischen" Quellen auffingen, und waren gemäß dem Prinzip der kommunizierenden Gefäße geneigt: so stieg das Wasser in diesen Becken bis zu einer bestimmten Höhe. Von hier konnte es in ein Bekken, das tiefer gelegen war, weitergeleitet werden und zur Bewässerung dienen, oder unmittelbar in den „Arubah" — Schacht einer Mühle stürzen.

Diese Methode der Nutzung hydroenergetischer Ressourcen wurde nur in dem Gebiet zwischen Tyra und Petra angewandt, sie ist für die geographischen Gegebenheiten Palästinas kennzeichnend. Wahrscheinlich stellt sie die Fortführung phönizischer Traditionen in Landwirtschaft, Ingenieurwesen, Bewässerung und Bautechnik dar. Das Wasser des Tyr-Flusses, dessen Quellen Ras el Ain im Süden der Stadt liegen, konnte nur in dieser Art und Weise verwendet werden, weil das natürliche Gefälle vollkommen unwirksam war. Eine hydrographische Linie von diesem Typus existiert nach der Meinung Josefs (Altertümer, IX, 287) bereits im 8. Jahrhundert v. u. Z., als die Stadt Tyr von den Assyrern belagert wurde.

www.muzeulastra.com / www.cimec.ro

E rezonabil să considerăm că asemenea bazine de acumulare au facilitat construcţia scocului arubah, căci acesta reprezintă o modalitate convenabilă, simplă şi ieftină de folosire a forţei hidroenergetice în asemenea structuri.

Acolo unde exista apă îndeajuns, o serie de agregate (arubah—roată—pietre de moară) alcătuiau o singură structură în timp ce apa din jgheabul morii era deviată printr-o serie de scocuri secundare. Dacă înălţimea pantei permitea o cădere de aproximativ 12 m, morile erau construite pe nivele diferite, creînd o „cascadă", de obicei din două, dar uneori chiar şi din trei mori, aşa cum sînt cele de la FAROB, beneficiind de o cădere de apă de 20 m. Această ultimă fază în dezvoltarea morilor la nivel local s-a încheiat prin veacul al V-lea sau al VI-ea e.n. Ulterior, au apărut diverse îmbunătăţiri tehnice; cea mai importantă dintre ele fiind adăugarea unui inel (o ramă din lemn) în jurul paletelor roţii. Îmbunătăţirea finală a constituit-o roata din fier.

Arabii au răspîndit scocul-arubah atît către apus (Spania) cît şi către răsărit (Persia şi India). Merită să subliniem faptul că numeroşi termeni în ebraică şi armeană, desemnînd părţi ale morii de apă, sînt folosiţi în unele dialecte arabe locale, pînă şi în ziua de azi. Cu toate că cuvîntul ARUBAH nu există în araba contemporană, el este însă folosit în mod curent, astăzi, în Spania, alături de alţi cîţiva termeni din domeniul morăritului provenind din araba veche. Acest fenomen a fost pus în lumină de cercetările lui A. Stoyel. Mori de zahăr, puse în mişcare de ape, au apărut în ultima perioadă a dominaţiei bizantine. Aceste mori erau menite să zdrobească trestia de zahăr, înainte de a fi prelucrată prin presare. Faţă de metoda indiano-persană, care făcea uz de pietre cilindrice cu şanţuri verticale, sistemul local seamănă cu moara de zdrobit măsline, fiind alcătuită dintr-o bază de piatră, rotundă, de mari dimensiuni, uşor scobită, în care se rotea o piatră masivă, verticală, rotundă. În cazul morii de măsline, mişcarea de rotaţie era obţinută prin forţa animală a unui patruped înjugat la un leaţ perpendicular pe ax. Însă moara de zahăr se rotea prin intermediul unei roţi hidraulice, angrenată la axul central.

În unele locuri, de-a lungul *Iordanului*, rîul local, au fost ridicate roţi de irigaţie verticale de tipul NAVRA. Ele au funcţionat pînă în anii 1920. Aceste roţi erau învîrtite de scurgerea apelor. Evreii expulzaţi din Spania au introdus şi au dezvoltat producţia textilă de lînă la o scară şi prin nişte metode necunoscute în Palestina acelor vremuri şi care au fost egalate aici doar în secolul nostru. Piue mecanice puse în mişcare de forţa apelor au apărut lîngă Safed, pe atunci centrul industriei lînii.

O altă aplicare a acestui sistem este caracteristică *Galileei* de apus, unde măslinii de calitate cresc din abundenţă. După ce măslinele erau zdrobite de către o flanşă de piatră, învîrtită de animale, uleiul era stors într-o presă. Pulpa zdrobită

Es liegt auf der Hand, daß diese Staubecken den Bau der „Arubah"—Rinne erleichtert haben, denn diese stellt eine passende, einfache und billige Möglichkeit dar, die hydroenergetische Kraft unter solchen Gegebenheiten zu nutzen.

Dort wo genügend Wasser vorhanden war, bilteten eine Reihe von Aggregaten (Arubah — Wasserrad — Mühlsteine) eine einzige Struktur, während das Wasser des Mühlengerinnes einer anderen Reihe von Gerinnen zugeführt wurde. Wenn der Höhenunterschied ein Gefälle von etwa 12 m möglich machte, so wurden mehrere Mühlen gebaut und ein „Wasserfall" von gewöhnlich zwei, manchmal sogar drei Mühlen gebildet, so wie jene von FAROB, wo das Gefälle 20 m ausmacht. Diese letzte Phase fand auf lokaler Ebene ihren Abschluß etwa im 5. oder 6. Jahrhundert u.Z. Später wurden verschiedene technische Verbesserungen gemacht: die bedeutendste davon war das Hinzufügen eines Ringes (eines hölzernen Rahmens) um die Schaufeln des Rades. Die letzte Verbesserung war das eiserne Rad.

Die Araber verbreiteten das „Arubah" — Gerinne sowohl im Westen (Spanien), als auch im Osten (Persien und Indien). Es verdient hervorgehoben zu werden, daß viele Ausdrücke aus dem Hebräischen und Armenischen, die Teile der Wassermühle bezeichnen, bis auf den heutigen Tag in einigen Mundarten des Arabischen gebraucht werden. Obwohl das Wort ARUBAH im zeitgenössischen Arabisch nicht vorkommt, wird es heute in Spanien häufig gebraucht, ebenso wie andere Ausdrücke aus der Müllerei, die aus der alten arabischen Sprache stammen. Diesem Phänomen wurde in den Untersuchungen des Herrn A. Stoyel besondere Aufmerksamkeit geschenkt.

Die wasserbetriebenen Zuckermühlen erschienen in der letzten Periode der byzantinischen Herrschaft. Diese Mühlen waren dazu bestimmt, das Zuckerrohr zu zerstampfen, bevor es durch Pressen bearbeitet wurde. Zum Unterschied von der indisch-persischen Methode, worbei zylinderförmige, mit vertikalen Rillen versehene Steine gebraucht wurden, hatte das lokale System mit der Olivenmühle Ähnlichkeit. Es setzte sich aus einem runden, großen Unterstein, der leicht ausgehöhlt war, und einem runden, vertikalen, massiven Oberstein zusammen, der sich auf dem Unterstein drehte. Die Drehbewegung wurde im Falle der Olivenmühle mit Hilfe eines Vierbeiners erzeugt, der vor einen Hebel gespannt wurde, welcher zur Spindel senkrecht stand. Das Mahlwerk der Zuckermühle aber drehte sich mittels des wasserbetriebenen Rades, welches die Hauptwelle in Bewegung setzte.

An einigen Orten entlang des Jordan-Flusses (der lokale Fluß) wurden vertikale Schöpfräder vom NAVRA-Typus errichtet. Sie funktionierten bis in die zwanziger Jahre unseres Jahrhunderts. Diese Räder wurden von der Wasserkraft angetrieben.

Die nach Spanien verbannten Juden haben dort die Wollindustrie eingeführt und sie durch verschiendene, im damaligen Palästina unbekannten Methoden in einem Maßstab entwickelt, der hier nur in unserem Jahrhundert erreicht wurde. Wasser-

www.muzeulastra.com / www.cimec.ro

a măslinelor era dusă la o moară de apă pentru a fi stoarsă încăodată. Piatra de moară superioară era înlocuită cu o elice specială din fier, care învîrtea pulpa zdrobită, încălzind-o în același timp. Pulpa era apoi băgată din nou la presat.

Înaintea primului război mondial se mai foloseau încă o serie de roți verticale pentru pompat apă, de tipul na'ura (sirian), de-a lungul cursului superior al Iordanului.

La începutul secolului, în Palestina, la vest de Iordania, existau cam 200 mori de apă cu 320 pietre de moară folosite efectiv. Numărul lor a descrescut continuu. În 1922 mai existau încă 135 de mori. În 1928 a fost înregistrat un total de 55, deși se foloseau de fapt mai multe, în timp ce în 1950 nu mai existau decît patru în Israel și douăsprezece în acea regiune a Palestinei (țărmul de apus) care se găsea sub jurisdicție iordaniană. Ulitma dintre morile din Israel și-a încetat activitatea în 1955, iar pe malul de apus, 6—7 ani mai tîrziu. În general, morile de apă erau exploatate de arendași și nu de proprietari (stăpînitorii de pămînturi în trecut, negustori și bancheri în timpurile moderne), pentru care nu erau decît o simplă sursă de venit de rentă.

În timpul primelor decade ale veacului XX, moara părăsită de la izvorul 'Ain Quelt a fost reconstruită și reechipată cu o turbină reactivă modernă. Și pe rîul Yarkon, una dintre roțile hidraulice din lemn, au fost înlocuite cu o turbină reactivă Francisc. Același lucru s-a întîmplat și la moara 'Abadaya, pe Iordan. Totuși, în comparație cu roțile de fier tradiționale (turbina cu impuls activ, de tip local), aceste turbine nu dau un randament mai mare în ceea ce privește forța pe unitate de măsură (calul putere). În locul a două mori de tip tradițional, alimentate din bazinele artificiale de la 'Ein Muy, s-a instalat în 1919 o turbină modernă care furnizează energie pentru un generator electric, o moară de grăunțe precum și pentru niște pompe ce aduc apă din Marea Galileei.

Uzina hidroelectrică, de la confluența rîului Yarmuk cu Iordanul, a fost pusă în funcțiune în 1932. Această uzină, avînd o capacitate de 18 000 kw, furniza 85% din cererea totală de energie a țării, în anii 1932—34. Acest procentaj a scăzut considerabil ulterior, datorită unui ritm rapid de mecanizare a irigațiilor și de industrializare. În 1948, cînd uzina a încetat să mai funcționeze, can-

betriebene mechanische Walken erschienen neben Safed, dem damaligen Wollindustriezentrum.

Zu einer anderen Anwendung dieses Systems kam es in West-Galiläa, wo hochwertige Oliven in Fülle gedeihen. Nachdem die Oliven mittels einer göpelbetriebenen primitiven Vorrichtung aus Stein zerstoßen waren, wurde ihnen das Öl behelfs einer Presse entzogen. Der Olivenrückstand wurde dann zu einer Wassermühle transportiert, um nocheinmal gepresst zu werden. Der Läufer der Mahlvorrichtung wurde durch eine besondere Schraube ersetzt, welche den Rückstand drehte und zugleich erwärmte. Dann wurde der Rückstand erneut gepresst.

Vor dem ersten Weltkrieg wurden noch eine Reihe von vertikalen Schöpfrädern vom na'ura, (dem syrischen) Typus entlang des Oberlaufs des Jordans verwendet.

Zu Beginn des Jahrhunderts gab es in Palästina, im Westen Jordaniens etwa 200 Wassermühlen mit 320 Mühlsteinen, die in Gebrauch waren. Ihre Anzahl wurde immer kleiner, so daß es 1922 noch 135 Mühlen gab, 1928 insgesamt 55 gezählt wurden, obwohl eigentlich mehr in Betrieb standen, und 1950 gab es in Israel nur noch vier davon und 12 in jenem Gebiet Palästinas (an der Westküste), welches sich unter jordanischer Oberhoheit befand. Die letzte der Mühlen von Israel wurde 1955 stillgelegt und die an der Westküste 6 oder 7 Jahre später. Im allgemeinen wurden die Wassermühlen von den Pächtern und nicht von den Besitzern ausgebeutet (Grundbesitzer von damals, Händler und Bankbesitzer der neueren Zeit, für welche die Mühle nur eine einfache Einnahmequelle darstellten).

In den ersten Jahrzehnten des 20. Jahrhunderts wurde die verlassene Mühle an der 'Ain Quelt-Quelle wieder aufgebaut und mit einer modernen Turbine bestückt. Auch am Jarkon-Fluß wurde eines der hölzernen Wasserräder durch eine Francis-Turbine ersetzt. Das gleiche geschah auch mit der 'Abadaya-Mühle am Jordan. Trotzdem leisten diese Turbinen, verglichen mit den traditionellen Eisenrädern (die Turbinen mit aktivem Impuls —der lokale Typus) nicht mehr, was die Kraft pro Maßeinheit (Pferdestärke) anbelangt. Anstelle von zwei traditionelle Mühlen, die von den künstlichen Becken von 'Ein Muy gespeist wurden, montierte man 1919 eine neuzeitliche Turbine, welche einen elektrischen Generator, eine Getreidemühle und einige Pumpen, die Wasser aus dem Galiläischen Meer befördern, mit Kraft beliefert.

Das elektrische Werk vom Zusammenfluß des Yarmuk mit dem Jordan wurde 1932 in Betrieb genommen. Dieses Werk hatte eine Leistung von 18 000 kW und deckte in den Jahren 1932—34 85% des gesamten Energieverbrauchs. Dieser Prozentsantz wurde später durch die Industrialisierung und die mechanisierte Bewässerung rasch kleiner. Bevor das Werk 1948 stillgelegt wurde,

www.muzeulastra.com / www.cimec.ro

titatea de energie electrică în Israel scăzuse cu numai 8% din cererea totală.

*
* *

Iată principalele caracteristici şi semnificaţia morilor folosite în *Israel, Palestina, Liban, Siria,* pe plan local, prin folosirea presiunii verticale a coloanei de apă, prin jgheabul arubah şi prin roata orizontală.

a. erau capabile să funcţioneze la un debit de apă scăzut;
b. roata putea angrena piatra de moară în mod direct (28—100 rotaţii pe minut), fără reductor şi fără pierderi de energie, prin frecare la nivelul reductorului;
c. eficienţă înaltă;
d. construcţia şi reparaţia lor nu puneau probleme;
e. lucrul cel mai important, forţa roţii, nu depinde de dimensiunile ei (mărimea paletelor sau a căuşelor la roţile cu ax orizontal).

Acest tip de moară era adecvat condiţiilor locale naturale. Schimbările de anotimpuri şi, mai ales, importanta scădere a debitului în timpul verii, puteau fi compensate prin schimbarea ajutajelor interne, a inelelor cu diametre variabile. De aici rezultă că forţa hidroenergetică putea fi exploatată oriunde era necesar (cu condiţia să existe o bază tehnică) la nişte parametri şi la o densitate aproape necunoscute în Europa acelor timpuri.

Dacă morile cu jet inferior ar fi existat în Palestina după moda celor descoperite în Europa pînă după cruciade, nu ar fi fost posibilă construcţia lor în număr mai mare de 15. Dacă s-ar fi folosit numai jgheabul înclinat, în cazul morilor de tipul celor existente în regiune, ar fi putut funcţiona cel mult 40—50 de mori. Astfel, construcţia a aproape 230 de mori (majoritatea cu o singură pereche de pietre de moară), în locuri cu slabe resurse hidroenergetice, a fost posibilă numai datorită introducerii scocului arubah. Nevoia folosirii tuturor surselor de apă dulce în irigaţie a dus la dispariţia morilor de apă. Marile centrale electrice proiectate în viitor se vor baza în primul rînd pe folosirea apei sărate.

deckte es nur noch 8% des gesamten Bedarfs an elektrischer Energie.

*
* *

Die Hauptmerkmale und die Bedeutung der in *Israel, Palästina, Libanon, Syrien,* auf lokaler Ebene verwendeten Mühlen, wobei der senkrechte Druck der Wassersäule, das „Arubah" — Gerinne oder das waagerechte Rad benutzt wurde:

a. Sie waren auch bei niedrigem Wasserstand wirksam.
b. Das Rad trieb die Mühlsteine unmittelbar an (80—100 Umdrehungen/min.) ohne Reduktor und ohne Energieverluste durch die Reibung des Reduktors.
c. Hohe Wirksamkeit.
d. Ihre Erbauung und Reparatur war problemlos.
e. Am wichtigsten war, daß die Kraft des Rades von seinen Ausmaßen unabhängig war (von der Größe der Schaufeln oder der Kammern, bei den Rädern mit horizontaler Welle).

Dieser Mühlentypus entsprach den lokalen natürlichen Gegebenheiten. Der Wechsel der Jahreszeiten und vor allem die schwankende Wassermenge während des Sommers konnten durch den Austausch der inneren Anpassungen, der Ringe mit variablem Durchmesser ausgeglichen werden. Daraus ergibt sich, daß die hydroenergetische Kraft, überall dort wo sie notwendig war, ausgebeutet werden konnte (mit der Bedingung, daß eine technische Grundlage vorhanden war), in einem Maßstab, der in dem Europa von damals nahezu unbekannt war.

Die Erbauung von mehr als 15 unterschlächtigen Mühlen, gemäß dem Modell, das in Europa bis nach den Kreuzzügen üblich war, wäre in Palästina nicht möglich gewesen. Hätte man bei dem hier existierenden Mühlentypus nur das geneigte Gerinne verwendet, so hätten höchstens 40—50 Mühlen tätig sein können. So aber war dank der Einführung der „Arubah"-Rinne die Erbauung von fast 230 Mühlen (die meisten mit einem einzigen Mühlsteinpaar) an Orten von geringer hydrotechnischer Bedeutung möglich. Die Verwendung sämtlicher Süßwasservorkommen für die Bewässerung führte zum Verschwinden der Wassermühlen. Die für die Zukunft geplanten großen Elektrizitätskraftwerke werden in erster Reihe das Salzwasser ausbeuten.

www.muzeulastra.com / www.cimec.ro

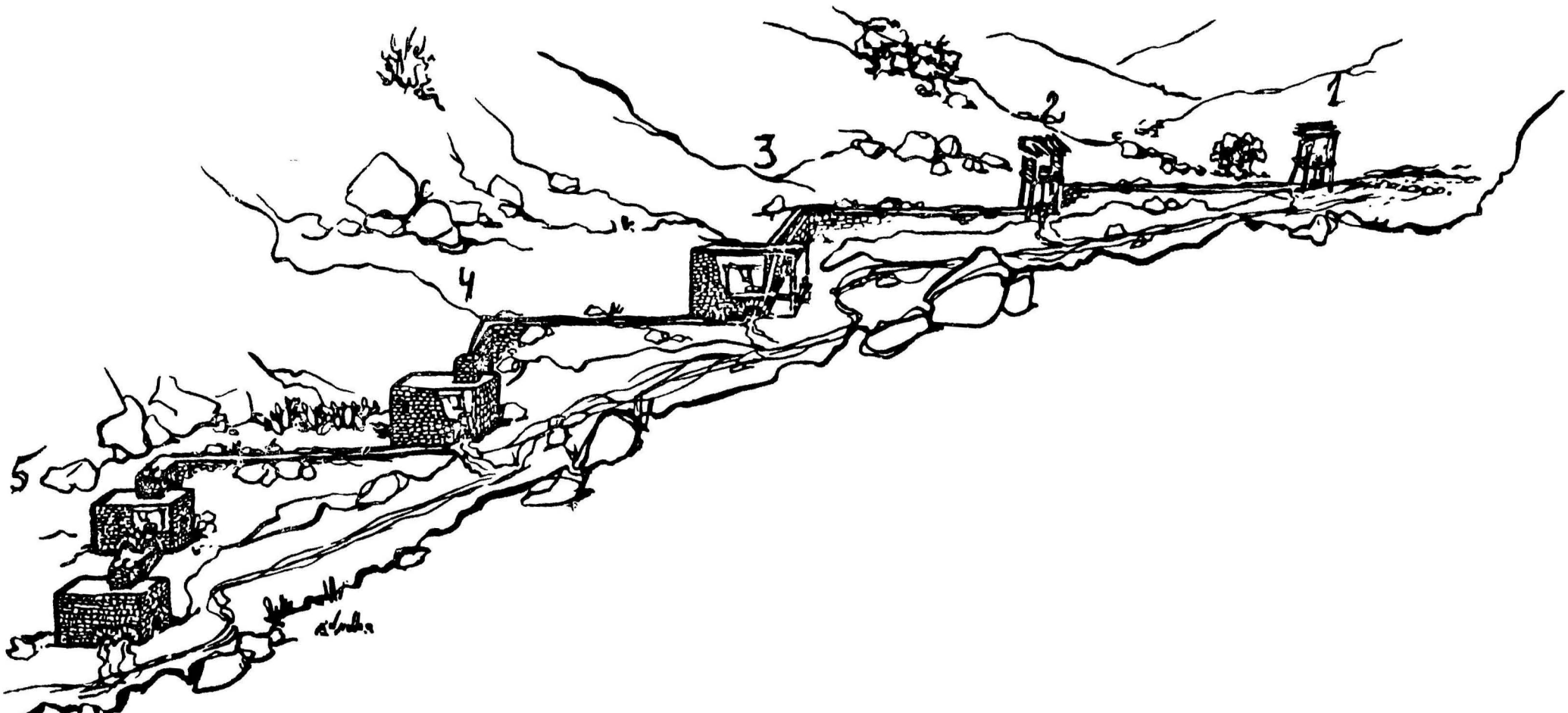

Fig. 1
Complex hidroenergetic „în cascadă" (modelul morilor de la Farod)
1—2 Bazine de acumulare a surselor eoliene
3—4—5 Suită de 3 mori independente

Abb. 1.
Hydroenergetischer Komplex, „Wasserfall" (das Modell der Mühlen von FAROD)
1—2 Sammelbecken
3—4—5 Reihe von unabhängigen Mühlen

www.muzeulastra.com / www.cimec.ro

www.muzeulastra.com / www.cimec.ro

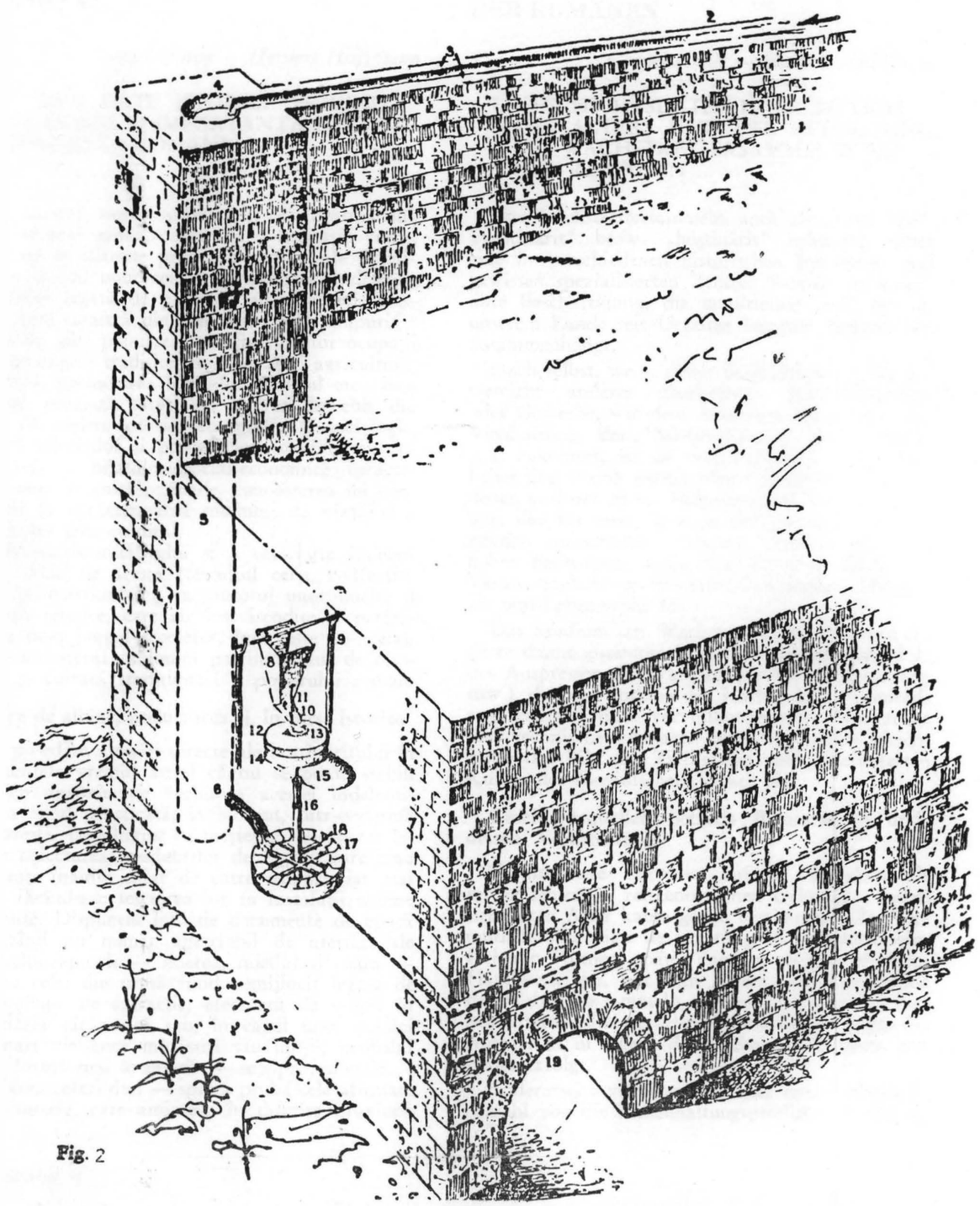

Fig. 2

Fig. 2—3
Structura unei mori obișnuite, cu scoc „arubah"

1. Zidul apeductului
2. Conducta apeductului
3. Marginile apeductului
4. Buza jgheabului „arubah"
5. Coloana jgheabului „arubah" (puțul „arubah")
6. Ajutaj
7. Podea din piatră (moara propriu-zisă)
8. Coș pentru grăunțe
9. „Podul" coșului pentru grăunțe
10. Potcoavă
11. Coarda potcoavei (pentru regularizarea scurgerii)
12. Piatra de moară mobilă (superioară)
13. „Gîtul" („ochiul")
14. Piatra de bază
15. Recipient pentru făină
16. Acul de lemn al roții
17. Roată (fier)
18. Paletă
19. Orificiul roții (scobitura axului)
20. Vîrful axului rotativ
21. Piulița de bază a axului (oțel)
22. Baza de susținere (scîndură potrivită în piatra scobită)
23. Ajutaj (intern)
24. Inelul ajutajului
25. Inelul axului
26. Ax metalic (inserat în axul din lemn)
27. „Agrab" (scorpion).

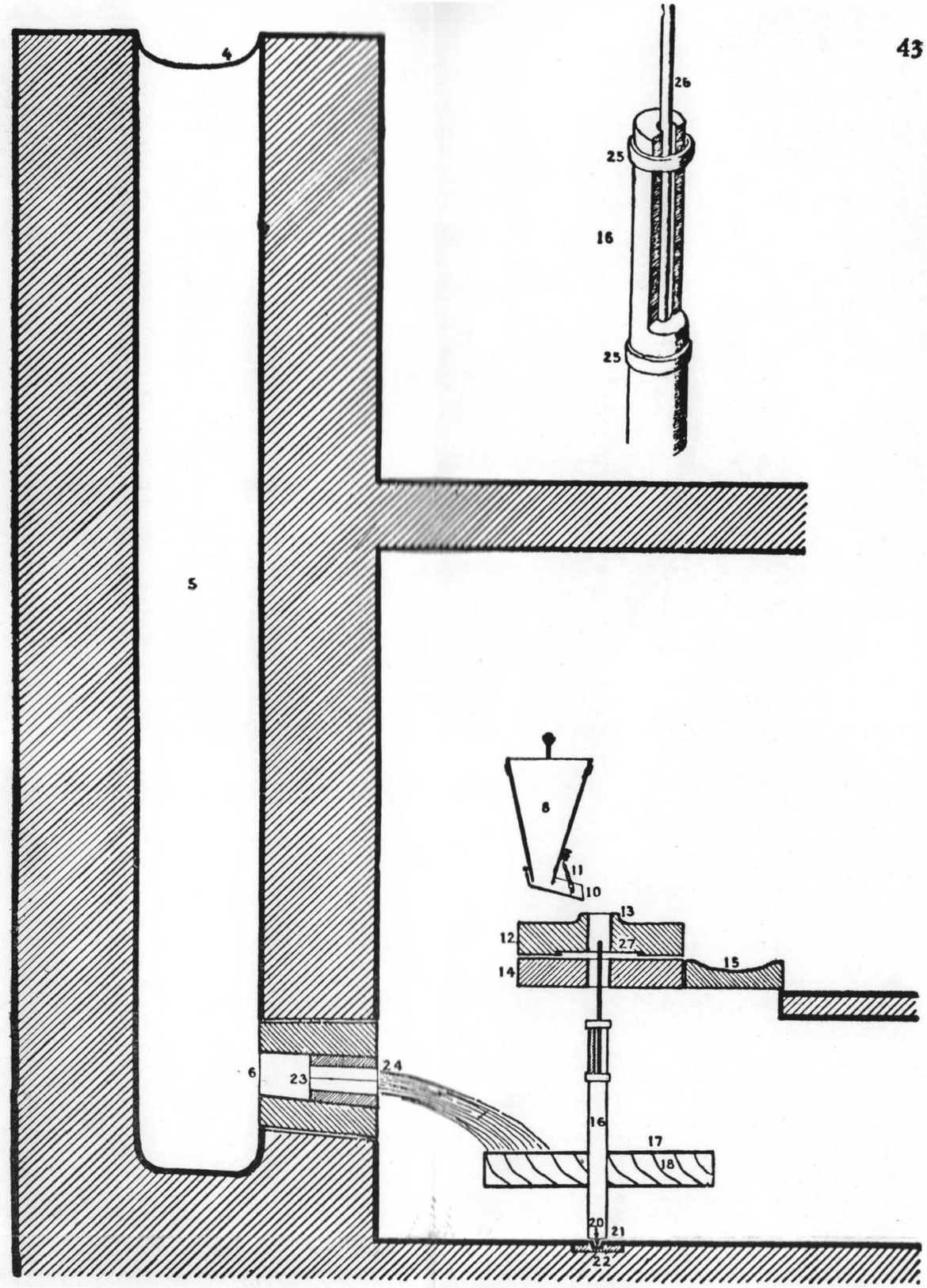

Abb. 2—3
Struktur einer gewöhnlichen Mühle mit „Arubah"-Gerinne

1. Mauer des Aquädukts
2. Leitung des Aquädukts
3. Ränder des Aquädukts
4. Rand des „Arubah"-Gerinnes
5. „Arubah"-Stollen („Arubah"-Brunnen)
6. Anpassung
7. Steinboden (eigentliche Mühle)
8. Getreidekasten
9. Vorrichtung über dem Getreidekasten
10. Rüttelschuh
11. Schnur des Rüttelschuhs (zum Regulieren des Mahlguts)
12. Läufer (oberer Mühlstein)
13. Loch des Läufers
14. Bodenstein (fester Unterstein)
15. Gefäß für das Mehl
16. Holzspindel des Rades
17. Rad (Eisen)
18. Schaufel
19. Öffnung des Rades (für die Welle)
20. Spitze der Antriebswelle
21. Hauptschraube der Welle (Stahl)
22. Halterung (in die Steinhöhlung eingepasste Bretter)
23. Anpassung (innere)
24. Ring der Anpassung
25. Ring der Welle
26. Metallische Spindel (in die Holzwelle eingeführt)
27. „Agrab" („Skorpion")

www.muzeulastra.com / www.cimec.ro