

ARCHITEKTURA INŽENÝRSKÝCH STAVEB

Václav Kučera



Upozornění pro čtenáře a uživatele této knihy

Všechna práva vyhrazena. Žádná část této tištěné či elektronické knihy nesmí být reprodukována a šířena v papírové, elektronické či jiné podobě bez předchozího písemného souhlasu nakladatele. Neoprávněné užití této knihy bude **trestně stíháno**.

Používání elektronické verze knihy je umožněno jen osobě, která ji legálně nabyla a jen pro její osobní a vnitřní potřeby v rozsahu stanoveném autorským zákonem. Elektronická kniha je datový soubor, který lze užívat pouze v takové formě, v jaké jej lze stáhnout s portálu. Jakékoliv neoprávněné užití elektronické knihy nebo její části, spočívající např. v kopírování, úpravách, prodeji, pronajímání, půjčování, sdělování veřejnosti nebo jakémkoliv druhu obchodování nebo neobchodního šíření je zakázáno! Zejména je zakázána jakákoliv konverze datového souboru nebo extrakce části nebo celého textu, umístování textu na servery, ze kterých je možno tento soubor dále stahovat, přitom není rozhodující, kdo takovéto sdílení umožnil. Je zakázáno sdělování údajů o uživatelském účtu jiným osobám, zasahování do technických prostředků, které chrání elektronickou knihu, případně omezují rozsah jejího užití. Uživatel také není oprávněn jakkoliv testovat, zkoušet či obcházet technické zabezpečení elektronické knihy.





ARCHITEKTURA INŽENÝRSKÝCH STAVEB

Václav Kučera

Grada Publishing 2009

Autoři fotografií:

Benda Aleš (str. 122)
Černý Michael (str. 77)
Donckel Georges (str. 225)
Goler Stanislav (str. 28, 216 dole, 228 nahoře)
Hačkajlo Filip (str. 24, 111, 132 dole, 133 nahoře, 156 dole, 191, 195 dole, 196, 200 vpravo nahoře, 217, 220 nahoře, 221, 222 nahoře, 223 dole, 224, 227 dole)
Hofmann Henry (str. 109 vlevo, 228 dole, 248 vlevo)
Janberg Nicolas (str. 201)
Koch Martin (str. 197 nahoře)
Komárková Markéta (str. 153 nahoře, 181 nahoře, 187 dole, 189)
Kouřimská Milada (str. 200 dole)
Kučera Ondřej (str. 203, 242 dole, 243 nahoře)
Kučera Václav ml. (str. 44, 49 dole, 78, 216 nahoře, 272, 299 nahoře)
Kučerová Ludmila (str. 65 dole, 92, 241 dole, 285 dole)
Kučerová Ludmila ml. (str. 27, 301 dole)
Laňová Zuzana (str. 288, 289)
Leonhardt Fritz (str. 243 dole)
Machuta Jakub (str. 246, 287)
Majerníček Jakub (kresba str. 107)
Mašek Antonín (str. 226)
Musilová Tereza (str. 38 nahoře, 202, 222 dole)
Sovová Jana (str. 187 nahoře)
Studnička Jiří (str. 293)
Svobodová Eva (str. 248 vpravo, 249)
Tvrzníková Jana (str. 40)
Veselák V. (str. 255)
a archiv autora

ARCHITEKTURA INŽENÝRSKÝCH STAVEB

Doc. Ing. Václav Kučera, Csc

Vydala Grada Publishing, a.s.
U Průhonu 22, Praha 7
obchod@grada.cz, www.grada.cz
tel.: +420 220 386 401, fax: +420 220 386 400
jako svou 3634. publikaci
Odpovědná redaktorka Jitka Hrubá
Grafická úprava a sazba Eva Hradiláková
Fotografie na obálce archiv autora
Počet stran 320
První vydání, Praha 2009
Vytiskly Tiskárny Havlíčkův Brod, a. s.,
Husova ulice 181, Havlíčkův Brod

© Grada Publishing, a.s., 2009
Cover Design © Eva Hradiláková, 2009

Názvy produktů, firem apod. použité v knize mohou být ochrannými známkami nebo registrovanými ochrannými známkami příslušných vlastníků.

ISBN 978-80-247-2504-8 (tištěná verze)
ISBN 978-80-247-6736-9 (elektronická verze ve formátu PDF)
© Grada Publishing, a.s. 2011

Obsah

Poděkování	10
Předmluva	11

kapitola první

Historické počátky inženýrských staveb	15
---	-----------

kapitola druhá

Uplatnění výtvarných kategorií u inženýrských staveb	31
---	-----------

2.1 Měřítko	33
2.2 Proporce	35
2.3 Rytmus	36
2.4 Kontrast a nuance	38
2.5 Symetrie a asymetrie	40
2.6 Tektonika	40
2.7 Jednota konstrukcí a materiálů	41
2.8 Harmonie	42
2.9 Pravdivost	43
2.10 Barva	44
2.11 Znaký a symbolika	47

kapitola třetí

Cesty, silnice a dálnice	53
---------------------------------------	-----------

3.1 Z historie	55
3.2 Projektování silnic a dálnic	57
3.3 Trasa komunikace	57
3.3.1 Osa komunikace	58
3.3.2 Směrové oblouky	58
3.3.3 Niveleta	58
3.3.4 Zemní práce	59
3.4 Svahy u silnic	60
3.4.1 Násypové svahy	60
3.4.2 Výkopové svahy	62
3.5 Zdi v silničním tělese	63

3.5.1	Opěrné zdi	64
3.5.2	Zárubní zdi	65
3.6	Začlenění silnice do krajiny	69
3.6.1	Trasa v krajině	70
3.6.2	Silnice v lese	71
3.6.3	Stromořadí	73
3.6.4	Křížení silnic a dálnic	75
3.7	Vozovka, kryt vozovky	78
3.7.1	Živičné kryty	79
3.7.2	Betonové kryty	80
3.7.3	Dlažby	81
3.7.4	Objekty v bezprostředním okolí silnice	87
3.8	Protihlukové clony	89

kapitola čtvrtá

Vodní cesty	93	
4.1	Z historie	95
4.2	Vodní doprava	99
4.3	Parametry vodních cest	99
4.4	Splavňování vodních toků	101
4.5	Průplavy	104
4.5.1	Plavební komory	106
4.5.2	Přístavy	107
4.5.3	Další provozní objekty vodních cest	108
4.5.4	Plavební mosty, akvadukty	108
4.5.5	Lodní zdvihadla	109
4.6	Zajímavé vodní cesty u sousedů	112

kapitola pátá

Podzemní stavby	119	
5.1	Z historie	121
5.2	Stavba podzemních objektů	123
5.3	Typy podzemních staveb	125
5.3.1	Kaverny	125
5.3.2	Šachty	127
5.3.3	Štoly a tunely	127
5.4	Silniční tunely	127
5.5	Železniční tunely	129
5.5.1	Metro	129
5.6	Tunelové portály	137
5.7	Vybrané zajímavé tunely	140

kapitola šestá

Jezy	145
6.1 Z historie	147
6.2 Funkce jezu	148
6.3 Pevné jezy	149
6.4 Pohyblivé jezy	152

kapitola sedmá

Hráze a přehrady	159
7.1 Z historie	161
7.2 Typy přehrad	172
7.3 Funkční objekty přehrad	173
7.4 Přehrady z místních materiálů	175
7.4.1 Návodní líc přehrad	176
7.4.2 Vzdušní líc sypaných přehrad	177
7.5 Betonové přehrady	180
7.6 Přehrady v krajině	187

kapitola osmá

Mosty	191
8.1 Mosty dávné minulosti	193
8.2 Římské mosty	195
8.3 Vybrané mosty stavěné po roce 1100	203
8.4 Vybrané mosty 15. a 16. století	213
8.5 Vybrané mosty 17. století	216
8.6 Vybrané mosty 18. století	217
8.7 Mosty stavěné po roce 1800	221
8.8 Mosty stavěné po roce 1900	228
8.8.1 Terminologie	229
8.8.2 Hlavní charakteristiky mostu	231
8.8.3 Výtvarná koncepce mostu	232
8.9 Spodní stavba mostu	235
8.9.1 Nízké podpěry	235
8.9.2 Nadjezdy	241
8.9.3 Vysoké podpěry	242
8.9.4 Pylony	244
8.10 Vrchní stavba mostu	252
8.10.1 Trámové mosty	257
8.10.2 Ocelové mosty s plnostěnnými trámy	261

8.10.3	Betonové mosty s plnostěnnými trámy.....	264
8.10.4	Ocelové mosty s příhradovými trámy	266
8.10.5	Ztužení příhradových nosníků	269
8.10.6	Rámové mosty.....	269
8.11	Mosty a oblouk	270
8.11.1	Oblouk je sledován niveletou.....	272
8.11.2	Oblouk je pod mostovkou	274
8.11.3	Oblouk je nad mostovkou	284
8.12	Visuté mosty	287
8.13	Mosty zavěšené.....	294
8.14	Svršek mostu.....	301
8.14.1	Zábradlí	301
8.14.2	Členěné zábradlí	302
8.14.3	Osvětlení mostů	306
8.15	Most jako inspirace	306
	Použitá literatura	308
	Jmenný rejstřík	309
	Věcný rejstřík	311
	Místní rejstřík	316

„Za architekta prohlásím toho, kdo dovede stejně tak věc v myslí a v duchu podle spolehlivých a obdivuhodných pravidel a postupů vymeziti jako provésti technicky všechno to, co pohybem břemen a sloučením různých těles dá se co nejlépe uzpůsobiti pro nejdůležitější lidskou potřebu.“

Leon Battista Alberti

Poděkování

Chtěl bych předem vyjádřit své poděkování všem, kteří mě provázeli během shromažďování materiálu pro tuto publikaci. Můj dík patří prof. Emilu Kovaříkovi, který mě na Fakultě architektury v roce 1978 pověřil vybudováním předmětu Typologie inženýrských staveb a jeho výukou. Velký dík patří prof. Waltru Hennovi z TU Braunschweig, který mě prostřednictvím organizace Deutscher Akademischer Austausch Dienst (DAAD) umožnil studovat průmyslové a inženýrské stavby v Německu. Děkuji i Dr. Jiřímu Vančurovi, na jehož vysokoškolské skriptum Architektura inženýrských staveb jsem svým změněným pojetím navázal. Děkuji mnohým studentům Fakulty architektury a Fakulty stavební za diskuzi během výuky a některým i za fotografie a skici, z nichž několik jsem zde s jejich předběžným svolením použil. Za podporu děkuji i své manželce Ludmile, která fotografovala, když jsem já řídil a ze svých prostředků mimo jiné poskytla 60 DM za náš průjezd po mostě přes Velký Belt v Dánsku, i svým synům Václavu a Ondřejovi, kteří mi věnovali několik fotografií ze svých pobytů ve vzdálených končinách zeměkoule. Dík patří i dalším přátelům a známým, kteří mi poskytli své fotografie staveb, které jsem znal z odborné literatury. Rozšířili tak použitou množinu kreseb a fotografií autorských. Kromě toho existuje rozsáhlá množina fotografií na mnohých stránkách internetu, které zde ovšem použity nebyly. Mohou ale čtenářům posloužit pro rozšíření poznatků z této publikace a vůbec z celé oblasti architektury inženýrských staveb.

*Praha 2009
Václav Kučera*

kontakt na autora:
vac-kuc@seznam.cz

Předmluva

Za architekturu považujeme prostor, vytvořený nebo vytvářený prostřednictvím staveb, předmětů, přírodnin a lidí. To není definice, jen pracovní označení fenoménu, který bude v této publikaci předmětem našeho zájmu. O definici architektury se pokoušelo mnoho povolanějších kapacit. Většina ale dospěla k názoru, že prospěšnější, než architekturu definovat, je architekturu tvořit. A to je možné i významným prostřednictvím inženýrských staveb.

Za inženýrské stavby považujeme takové stavby, které při realizaci vyžadují inženýrské dovednosti. Co je to ale za dovednosti? Slovo inženýr souvisí s francouzským slovesem *ingenier*, které je překládáno jako usilovně přemýšlet, usilovně se snažit, hloubat nebo lámat si hlavu. Podobný kořen má i francouzské přídavné jméno *ingenieux*, které znamená důmyslný, důvtipný, vynalézavý. V angličtině přídavné jméno *ingenious* znamená duchaplný, důmyslný až geniální. Ve španělštině se setkáme se slovy *ingeniar* s významem vymyslet nebo vynalézt a s podstatnými jmény *ingeniero*, což je inženýr nebo ženista. Dalším španělským podstatným jménem je *ingenio*, které znamená důmysl, důvtip, *genius*. Všechny významy slova inženýr a jeho odvozeniny jsou natolik pozoruhodné, že stojí za to se stavbami, které takový přívlastek obsahují, vážně zabývat.

Inženýrské stavby mají svou historii ve stavbách opevňovacích a ve vojenství vůbec. Vzpomeneme-li nyní zakladatele pražské technické školy, která byla předchůdcem dnešního Českého vysokého učení technického v Praze, zjistíme, že pan Christian Josef Willenberg obhájoval svou kvalifikaci učitele projektem vojenské stavby – opevněním Nového Města v Praze. Označení inženýrských staveb souvisí i se středověkými vojenskými zařízeními, které se ve

Španělsku označovaly slovem *ingenio*. Byly to důmyslné dobývací stroje, určené pro překonání jinak důmyslných opevnění měst a hradů.

Existují názory, které odmítají inženýrské stavby do spojitosti s oborem architektura vůbec zařadit. Podle nich jsou to jen stavby technické, které plní pouze svou utilitární funkci a v prostředí prakticky výtvarně ruší. Ponechme takové názory jejich autorům a pokusme se objevit výtvarné a všeobecně architektonické hodnoty i ve stavbách cest, silnic a dálnic, stavbách cest vodních a podzemních, v jezích, stavbách hrází a přehrad a mostů všeho druhu. Nebude to jistě nic obtížného, pokud si uvědomíme, že mnoho architektů i tvůrčích inženýrů dříve uvedené názory nesdílí.

Inženýrské stavby vždy byly, jsou a jistě ještě dlouho budou studnicí, z níž čerpá každý, kdo chce vůbec něco stavět. Nejen proto, že každá stavba, i sebeobjevnější a uznávaná architektura, musí být spolehlivě založena, musí být stabilní a musí obsahovat vhodný a vhodně zpracovaný stavební materiál.

Architektura může a musí mít i významný prospěch z inspirace inženýrskými stavbami. Existuje celá řada příkladů, kdy se stavební prvek známý ze staveb inženýrských objevuje ve výtvarném slovníku architekta. V inženýrských stavbách jsou koncentrovány základy stavitelství vůbec. Považuje se například za prokázané, že umění člověka hospodařit s vodou a schopnost stavět zavodňovací kanály, například v Mezopotámii, položilo základy civilizace v široké oblasti Středomoří. Na této civilizaci staví celá dnešní evropská kultura.

Konstrukční systémy inženýrských staveb nalézají uplatnění v celém systému architektury. Fenomén konstrukce často proniká do vysloveně výtvarné složky uznávaného architektonického

díla. Inženýrské stavby zde nabízejí i zajímavou tvarovou rozmanitost.

Obsah publikace respektuje i faktor času. Zajímavým materiálem je nepochybně historický vývoj jednotlivých typů staveb. Uvedené příklady mohou poskytnout tvarovou inspiraci pro design dnešního díla. Jistě není nutná žádná nostalgie, konstrukční systémy dneška jsou jiné, výtvarné názory se také vyvíjely. Připomeňme jen zajímavá a lety prověřená řešení staveb, které bychom dnes označili jako inženýrské.



Umělé ostrovy v japonské Jokohamě

Druhým časovým horizontem této publikace je současnost. Většina komentovaných příkladů pochází z dnes realizovaných a fungujících inženýrských děl. Inženýrské stavby dneška umožňují řešit problémy současnosti. Jimi je možné zajistit pitnou vodu, jejich prostřednictvím lze dopravovat naftu a zemní plyn do našich příbytků, jejich prostřednictvím se dostaneme k cíli svých cest, jejich prostřednictvím můžeme obdivovat krásy blízkého i vzdálenějšího světa, jejich zásluhou se můžeme rekreovat na březích přehradních nádrží, jen jejich existencí můžeme obdivovat i je samé.

Inženýrskými metodami je možné přesouvat architektonická díla, jejichž umístění koliduje s novými urbanistickými záměry. Za zmínku stojí například transfer kaple sv. Marie Magdaleny v Praze, kostel v Červené nad Vltavou nebo kostel Nanebevzetí Panny Marie v Mostě, který byl přesunut dokonce o 841 metrů.

Inženýrské stavby dneška umožní řešit problémy současnosti. Nedostatek místa na pevné zemi při pobřeží zajistí budování umělých ostrovů nebo rozšíření pevniny v nejrůznějších končič-

nách světa, někdy i s výrazným výtvarným podtextem. Takové ostrovy dostávají tvar palmového listu nebo pevnin a ostrovů zeměkoule. I bez výtvarných atributů jsou budované inženýrskými metodami například rozšiřované plochy pevniny v Jokohamě v Japonsku, nová letiště v Kobe a na Madeiře a mnohde jinde.

Význam inženýrských staveb podtrhuje i skutečnost, že právě jimi je možné řešit problémy, které si člověk svou neprozíravou činností připravil.

Nebude zde věnována zvláštní pozornost stavbám projektovaným nebo soutěžním návrhům. Je známo, že u každé architektonické soutěže se vždy objeví několik desítek, stovek až tisíců návrhů, které řeší jediný zadaný úkol. Publikace vychází z názoru, že za skutečnou architekturu je možné považovat jen ty stavby, které byly realizovány. Dovolte na tomto místě dobovou karikaturu, která snad vyjadřuje i představy, které byly vkládány do inženýrských staveb na počátku 20. století. Takto pohodlně měla být zpřístupněna Sněžka v roce 2000.



Pohlednice z roku 1900 znázorňující utopii zpřístupnění Sněžky moderní technikou a inženýrskými stavbami v roce 2000

U publikací, které pojednávají o architektuře, bývá zvykem uvádět jako autory především architektky. U inženýrských staveb ale podíl architektů nemusí být rozhodující. Každé takové dílo vzniká spoluprací mnoha odborníků a specialistů, z nichž jedním je architekt. Ten svým dílem samozřejmě velmi přispěje k výtvarné hodnotě díla, ale je mnohem více svázán požadavky stavebních inženýrů nebo technologů než například u staveb občanských. Často samo tech-

nické řešení tvoří architekturu. U staveb zde předkládaných jsou proto architekti uváděni jen výjimečně, zejména ti, kteří už nežijí. Jejich dílo je uzavřené, neměnné. Ti se také nemohou bránit. Dovolte krátkou paralelu. Když se jakýsi novinář ptal herce Jana Třísky, jak hodnotí filmy,

kteří natočil, odpověděl, že se na své filmy nikdy nedívá, a dodal: „Je to má práce.“

Stavby, které se dnes označují jako inženýrské, slouží člověku od nepaměti. Některé z nich uvádí v krátkém historickém přehledu následující kapitola.

+

kapitola první

Historické počátky inženýrských staveb



Tato kapitola nemá být historickým pojednáním. Má pouze ukázat, jak stavby, které jsme zařadili do pojmu staveb inženýrských, ovlivňovaly dějiny lidstva a vývoj evropské kultury. Jako jeden z informačních zdrojů je zde několikrát citováno dílo, připisované „otci dějepisu“ Herodotovi Halikarnasskému. Není jisté, zda on sám Dějiny aneb devět knih nazvaných Músy skutečně napsal, nebo zda jen jeho příběhy někdo převyprávěl. Spolehlivost tohoto podání historie byla už ve starověku zpochybňována. Například jeden jeho následovník, spisovatel Plutarchos, Herodota nazval přímo lhářem. Mohl si to dovolit, žil asi 400 let po něm. Přesto má Herodotovo dílo svou cenu, protože autor byl pojednáváním událostem časově nejbliže. Žil snad v letech 484 až 425 př. n. l. Však i sám své informace zpochybňuje:

„Mým úkolem je povědět, co se vypráví, ale věřit tomu přece nemusím. A to se týká každého mého vyprávění.“

Přesto jsou zde vybrané úryvky jako nepochybně zajímavá ilustrace uváděny. Vždyť přece, řečeno s básníkem Jiřím Suchým: *„...myslel jsem totiž, v tom je ta potíž, že trocha poezie nikoho nezabije.“*

Inženýrské stavby tedy provázejí člověka již od nepaměti. Nebyly to pochopitelně stavby podle dnešních představ. Z dochovaných archeologických a později literárních zlomků můžeme usuzovat, že lidská sídliště již v nejstarších dobách doplňovaly stavby opevnění a stavby umožňující zavlažování zemědělsky využívaných ploch.

Snad nejstarší známí rolníci se kolem roku 9000 př. n. l. usadili u pramenů pitné vody na levém břehu Jordánu. Stavěli si zde okrouhlé domy z nepálených cihel a později založili údajně nejstarší město na světě, Jericho. Proti útočníkům, ale i proti hrozcím záplavám obehnali své sídliště mohutnými hradbami, stavěnými z kamene. Geograficky nedaleko, ve východní části dnešního Turecka, na náhorní plošině kolem slaneého jezera Van, se už v 9. tisíciletí př. n. l. začalo pěstovat obilí, dále sezam, len a také vinná réva. Vznikl zde postupně stát Urartu s hlavním městem Tušpa, na jehož místě se rozprostírá dnešní město Van.

Na sklonku 9. tisíciletí se panovníkem Urartu stal král Menua. Ten věnoval velkou pozornost výstavbě zavodňovacích kanálů. Když byl v rostoucím hlavním městě pocítován nedostatek vody, nechal vybudovat vodní kanál, dlouhý 70 kilometrů. Jeho stěny byly vyzděny neopracovanými balvany tak spolehlivě, že svému účelu, jistě při potřebné údržbě, slouží dodnes. Zprávy o osídlení v této části Malé Asie podávají i vykopávky poblíž dnešní Konye, na planině Çatal Hüyük, které svědčí o existenci lidských sídel z doby kolem 7200 až 7100 let př. n. l.

Někdy na počátku 7. tisíciletí př. n. l. vznikala v Malé Asii další sídliště, z nichž nejvýznamnější památky vykazuje lokalita Haçilar. Dochovaly se zde obranné zdi o výšce 3,5 až 4 m.

Na iránské plošině vznikaly v té době i další osady. Je uváděna například osada Tepe Sabzu. Místní obyvatelé postupně měnili svůj původně pastevecký způsob života na zemědělský. Bylo prokázáno, že pěstovali len, a z toho lze odvodit, že museli svá pole zavlažovat. V těchto končinách je kritický nedostatek dešťových srážek. Osady tedy mohly vznikat až poté, kdy si jejich obyvatelé osvojili znalosti umělého zavlažování. Ovšem budování zavlažovacích systémů vyžadovalo spolupráci většího množství lidí, a tedy i pevnější organizaci společnosti. Ze zemědělských osad tak postupně vznikala první města.

Na sklonku 5. tisíciletí př. n. l. byly postaveny i široké kanály, jejichž zbytky byly objeveny v Eridu, na území dnešního Iráku. Tuto stavební činnost potvrzují také písemné doklady, ovšem mladšího data. Zachovaly se například zápisy o kopání zavlažovacích kanálů v Lagaši, sumerském městě na dolním Tigridu. Je doloženo, že už v 25. století př. n. l. vybudovali Summerové kanál, který propojil obě velké řeky Mezopotámie, Eufrat a Tigris.

Herodotos: *„Celá babylónská země je stejně jako Egypt protkána kanály; největší z kanálů je splavný, směřuje na sever a dosahuje z Eufratu do druhé řeky, do Tigridu, na které stávalo město Ninive.“*

V povodí řek Eufratu a Tigridu vzkvétaly již kolem roku 3000 př. n. l. městské státy. Jedním z nich bylo město Ur. Bylo chráněno obrovskými

hradby z nepálených cihel. Hradby doplňoval také umělý kanál, napojený na hlavní tok řeky Eufkrat. Sloužil i pro vodní dopravu a jen ve městě na něm byly dva přístavy.

O inženýrské činnosti v dnešním slova smyslu svědčí i další památky. Ochránci města, uctívanému bohu Mésíce Nannovi, byla zasvěcena stupňovitá, 17 m vysoká pyramida, zikkurat. Její základ měřil cca 60 × 45 metrů. Vnější stěny byly z pálených cihel, spojovaných živců. Vnitřní stěny z nepálených cihel vyztužovaly dřevěné trámy a rákos, který byl vkládán do ložných spár mezi vrstvami cihel. Zikkurat znamenal pro věřící spojení mezi nebem a zemí. Vznik zikkuratu je datován rokem 2100 př. n. l. Dnes je to snad nejlépe zachovaný zikkurat v celé Mezopotámii. Pietně byl ale rekonstruován jen jeho spodní stupeň.

Nepravidelné záplavy způsobované oběma řekami v Mezopotámii se podařilo krotit výstavbou dalších kanálů, hrází a vodních nádrží. Ty musely být ale čištěny a udržovány. V klidných dobách byla údržbou a obsluhováním stavidel zaměstnána většina obyvatel v okolí. Prosperita městského státu byla velmi úzce spjata s řekou. Když kolem roku 316 př. n. l. změnil Eufkrat svůj tok a posunul se asi o 14 km na východ, vybudované vodní cesty už nebylo možné používat. Zavlažovací kanály vyschly, pole nedostala životodárnou vodu, a to znamenalo pro městský stát Ur zánik.

Všeobecně známější je inženýrská činnost obyvatel Egypta. Nil odedávna každoročně zaplavoval svou nivou a ukládal na ni černozem, splavenou z afrického vnitrozemí. Cílevědomé využití těchto záplav bylo náročným technickým a organizačním úkolem. Pro promyšlené využití důsledků živelných záplav byly vybudovány i umělé kanály.

Stará říše v Egyptě trvala asi 500 let, zhruba mezi lety 2700 až 2200 př. n. l. Památky na ni se zachovaly i v Sakkáře, městě položeném jižně od mnohem známější Gízy. Podle návrhu faraona Džosera zde postavil jeho ministr, architekt, stavitel, lékař a autor mravoučných traktátů jménem Imhotep jednu z prvních kamenných pyramid. Nejprve to byla jen nízká mastaba, vyzděná

nad podzemními prostorami královské hrobky. Ty tvořila ústřední kaverna a šachtou přístupné důmyslně propojené štoly. Později, zřejmě jako výraz rostoucí moci faraona, byly nad první mastabou postaveny mastaby další, až nakonec vznikla pyramida šestistupňová. V duchovním smyslu měla představovat jednotlivé stupně na cestě zemřelého k nebesům.

V zemi kolem řeky Nilu není dodnes možné přehlédnout ani další pyramidy. I to byly inženýrské stavby. Stavby, které vyžadovaly soustředění ohromného množství stavebních dělníků a techniků, v dnešním pojetí vlastně inženýrů, kteří byli schopni tak nepředstavitelná díla promyslet a práce na nich zorganizovat. Připomeňme si, že jen pro Cheopsovu pyramidu bylo potřeba vytěžit, opracovat, dopravit a na ploše přes pět hektarů smysluplně soustředit více než dva miliony kamenných kvádrů do stavby vysoké 146,5 m. Do dneška ji eroze snížila na necelých 137 m.

Pro stavbu pyramid byl používán kvalitní vápenc a žula. Vápenc těžili v Tuře nedaleko Sakkary, žulu v lomech u Asuánu nebo ve vzdálenějším vnitrozemí. Rozměrné kamenné bloky dopravovali po Nilu na lodích a na souši potom pravděpodobně na dřevěných saních. Obrovské inženýrské úkoly vyvolaly zcela přirozeně rozvoj dalších průvodních věd jako je matematika, geometrie a také astronomie. Mnoho poznatků tehdejších egyptských kněží, z nichž někteří působili jako inženýři, bylo prověřeno staletími a využíváme je dodnes. Egyptský trojúhelník o stranách 3, 4 a 5 dílů slouží dodnes pro vytyčení pravého úhlu.

Na dalších místech svého díla Herodotos přibližuje metodu výstavby pyramid: „*Pyramida sama byla stavěna stupňovitě, někteří tomu říkají výstupky, jiní schody. Když postavili první stupeň, zdvíhali ostatní kameny zařízením, sestaveným z krátkých dřevěných tyčí, na první schod. Jakmile se kámen na něj dostal, byl vložen na další zařízení, postavené na prvním stupni; odtud byl vytažen na druhý schod k dalšímu stroji. Kolik bylo stupňů, tolik bylo strojů.*“

Při stavbě Cheopsovy pyramidy musela být zbudována i únosná silnice. Při jejím budování

bylo pamatováno i na duši člověka, a tedy i na architektonickou stránku, v níž nesmí chybět výtvarná složka stavebního díla.

„Deset let trvalo utlačovanému lidu, než postavil cestu, po které se kameny tahaly. Postavili tuším dílo téměř tak veliké, jako je pyramida... Cesta je dlouhá pět stadií, široká deset sáhů a v místech, kde dosahuje největší výšky, je vysoká osm sáhů. Je z hlazeného kamene a jsou na ní vytesány obrazy. Deset let trvala stavba cesty, práce na pahorku, na němž stojí pyramidy, a stavba podzemních síní, které si dal vybudovat jako místo svého pohřbu na ostrově, kolem něhož dal zavést kanál z Nilu.“

(Sáh je setina stádia, dělí se na čtyři lokte nebo šest stop, 180 cm.)

V dnešním Turecku se dochovaly památky na pozoruhodný národ Chetitů. V otevřených chrámech skalní svatyně Yazilikaya, asi dva kilometry severovýchodně od dnešního města Bogazköy, se nacházejí skalní reliéfy desítek chetitských bohů. Ale i zachované primitivní inženýrské stavby, především silnice a městské opevnění v jejich hlavním sídle Chettušaš, podávají svědectví o vyspělé kultuře tohoto dávného a zmizelého národa.

Významným mezníkem pro výstavbu inženýrských děl byla technologie zpracování železné rudy, která se rozšířila na přelomu 2. a 1. tisíciletí př. n. l. Dokonalejšími železnými nástroji bylo možné hloubit zavlažovací stavby i v kamenitém terénu.



Městské hradby v hlavním městě Chetitů v Bogazköy

Asyrský vojevůdce a král Sinacherib (705 až 681) si kolem roku 700 př. n. l. zvolil za své nové sídlo starobylé město Ninive, které od základu

přestavěl. Město nechal obehnat 11 km dlouhými hradbami s 15 branami. Ty střežily sochy okřídlených býků s lidskými hlavami, které měly případné dobyvatele odstrašovat. Před hradbami byl navíc široký příkop. Jelikož se v té době již rozšířily nejen železné nástroje, ale i železné zbraně, musela být i opevnění mohutnější. Ostatně i obléhací technika při dobývání prvních měst obsahovala prvky inženýrských staveb. Doboví inženýři ve službách útočníků například neváhali vyvinout značné pracovní úsilí otroků k navržení šikmé zemní rampy až do výše hradeb dobývaného města, které tak mohli dobyvatelé pohodlně překonat.

V první fázi budování nového města Ninive byly ale sledovány i mírové záměry. V okolí hradeb byly zakládány zahrady, sady a vinice. Proto musel být vybudován i zavodňovací systém z přehrad, nádrží a kanálů a zejména také akvadukt, přivádějící do města pitnou vodu. Lokalita města Ninive asi nebyla zvolena nejšťastněji, neboť městem protékal jen malý potok, který pro zásobování obyvatelstva vodou a současně pro zavlažování okolních polností brzy nestačil. Sinacherib proto nařídil postavit akvadukt, který měl přivádět vodu z 50 km vzdálené říčky Khoser a současně zásobovat vodou i 18 dalších měst v okolí. Vodovod byl vybudován, zčásti vytesán ve skále, ale na trase byla i široká rokle, kterou bylo potřeba překlenout rozsáhlým mostem s pěti kamennými oblouky o světlostech 22 m. Počet a světlosti jeho kleneb jsou srovnatelné s mnohem známějším mostem přes řeku Gard ve Francii. Důmyslné inženýrské metody výstavby tohoto akvaduktu, který v historii získal jméno krále Sinacheriba, byly vyobrazeny na reliéfech, zdobících zdi v královském paláci v Ninive. To svědčí o tradičně úzké vazbě mezi inženýrskými stavbami a výtvarným uměním.

V roce 625 př. n. l. vyhlásil správce Babylonu Nabopolassar nezávislost města a založil království. Při té příležitosti se sám prohlásil za krále, což byl asi jeho největší počin. Jiné významné zprávy se o něm nedochovaly. Po něm, v roce 605 př. n. l., usedl na trůn jeho syn, historicky známější Nabukadnesar II. (605 až 562). S jeho