

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta
*za gradbeništvo
in geodezijo*



Jamova cesta 2
1000 Ljubljana, Slovenija
<http://www3.fgg.uni-lj.si/>

DRUGG – Digitalni repozitorij UL FGG
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

To je izvirna različica zaključnega dela.

Prosimo, da se pri navajanju sklicujete na bibliografske podatke, kot je navedeno:

Goltnik, R., 2013. Leonardo da Vinci, hidrologija, hidrološki krog, voda. Diplomski naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentorica Šraj, M., somentor Brilly, M.): 33 str.

University
of Ljubljana

Faculty of
*Civil and Geodetic
Engineering*



Jamova cesta 2
SI – 1000 Ljubljana, Slovenia
<http://www3.fgg.uni-lj.si/en/>

DRUGG – The Digital Repository
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

This is original version of final thesis.

When citing, please refer to the publisher's bibliographic information as follows:

Goltnik, R., 2013. Leonardo da Vinci, hidrologija, hidrološki krog, voda. B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljana, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Šraj, M., co-supervisor Brilly, M.): 33 pp.

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta za
*gradbeništvo in
geodezijo*



Jamova 2
1000 Ljubljana, Slovenija
telefon (01) 47 68 500
faks (01) 42 50 681
fgg@fgg.uni-lj.si

UNIVERZITETNI ŠTUDIJ
PRVE STOPNJE
GRADBENIŠTVA

MODUL HIDROTEHNIKA

Kandidat:

ROK GOLTNIK

**PREGLED IZHODIŠČ HIDROLOGIJE OD DA VINCIJA
DO DANES**

Diplomska naloga št.: 29/B-GR

**AN OVERVIEW OF THE BEGINNINGS OF
HYDROLOGY FROM DA VINCI ONWARDS**

Graduation thesis No.: 29/B-GR

Mentorica:

doc. dr. Mojca Šraj

Predsednik komisije:

izr. prof. dr. Janko Logar

Somentor:

prof. dr. Mitja Brilly

Ljubljana, 06. 09. 2013

STRAN ZA POPRAVKE

Stran z napako

Vrstica z napako

Namesto

Naj bo

IZJAVE

Podpisani Rok Goltnik izjavljam, da sem avtor diplomskega dela z naslovom *Pregled izhodišč hidrologije od da Vincija do danes*.

Izjavljam, da je elektronska različica v vsem enaka tiskani različici.

Izjavljam, da dovoljujem objavo elektronske različice v repozitoriju UL FGG.

Nazarje, 10. 7. 2013

Rok Goltnik

BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVEČEK

UDK:	556(043.2)
Avtor:	Rok Goltnik
Mentor:	doc. dr. Mojca Šraj, univ. dipl. inž. grad.
Somentor:	prof. dr. Mitja Brilly, univ. dipl. inž. grad.
Naslov:	Pregled izhodišč hidrologije od da Vincija do danes
Tip dokumenta:	Diplomska naloga – UNI-B
Obseg in oprema:	33 str., 1 pregl., 26 sl.
Ključne besede:	Leonardo da Vinci, hidrologija, hidrološki krog, voda

Izveček

V diplomski nalogi so predstavljene da Vincijeve teorije o vodi, njenem gibanju, hidrološkem krogu, vodi v atmosferi, morju itd. Poleg da Vincijevih pogledov na vodo so dodani tudi nekateri sodobni pogledi na njegove teorije in teze. Za lažjo predstavo so dodane slike nekaterih pojavov, izumov in slike njegovih zapiskov. Ponekod so dodane skice, ki ponazarjajo nastanek nekega pojava.

V uvodnih poglavjih je na kratko opisano življenje da Vincija, ter predstavljena zgodovina hidrologije pred in po njem. V nadaljevanju so predstavljene njegove teorije in teze pridobljene iz knjige »Leonardo Da Vinci's Water Theory, On the orgin and fate of water«, katera je bila osnova diplomske naloge. Da Vincijev glavni cilj je bilo razviti teorijo o hidrološkem krogu, ter ga čim podrobneje razložiti ter opisati. Zato je poudarek diplomske naloge predvsem na pojavu hidrološkega kroga. Ta je odvisen od sončne energije in predstavlja zapleten sistem kroženja vode na Zemlji.

Na koncu diplomske naloge so predstavljeni da Vincijevi izumi povezani z vodo. Nekaj teh izumov mu je pomagalo pri dokazovanju njegovih teorij in tez. Ostali pa so bili večinoma namenjeni vojski. Opazimo lahko, da številne njegove izume s pridom uporabljamo še danes.

BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT

UDC:	556(043.2)
Author:	Rok Goltnik
Supervisor:	Assist. Prof. Mojca Šraj, Ph.D.
CO – supervisor:	Prof. Mitja Brilly, Ph.D.
Title:	An overview of the beginnings of hydrology from da Vinci onwards
Document type:	Graduation Thesis – University studies
Scoper and tools:	33 str., 1 pregl., 26 sl.
Keywords:	Leonardo da Vinci, hydrology, hydrologic cycle, water

Abstract

In the thesis da Vinci's theories of water, its movement, the hydrologic cycle, water in the atmosphere, the sea, etc. are presented. In addition to da Vinci's views on water, some contemporary views on his theories and theses are also added. Pictures of certain phenomena, inventions and his notes are included, as well as drawings, which represent the formation of a phenomenon.

In the introductory chapters, the life of da Vinci is briefly described, and the history of hydrology before and after his time is presented. Next, his theories and theses from the book *Leonardo Da Vinci's Water Theory: On the Origin and Fate of Water*, which is the basis for this thesis, are presented. Da Vinci's main goal was to develop a theory of the water cycle, as well as explain and describe it in detail. This is why the main focus of this thesis is on the phenomenon of the water cycle. It is dependent on solar energy and is a complex system of water circulation on Earth.

At the end of the thesis, da Vinci's inventions connected to water are presented. Some of these inventions helped him prove his theories and theses. Others were mainly used for military purposes. It is evident that many of his inventions are still widely used today.

ZAHVALA

Za pomoč pri iskanju literature, podpori in izdelavi diplomske naloge bi se rad iskreno zahvalil mentorici doc. dr. Mojci Šraj univ. dipl. inž. grad. in somentorju prof. dr. Mitji Billyu univ. dipl. inž. grad. Zahvaljujem se tudi Domnu Oroselu dipl. anglist (UN) in dipl. nemcist (UN), ki mi je pomagal pri določenih prevodih iz angleščine ter Davorju Gričarju, ki mi je pomagal pri urejanju in izdelavi nekaterih slik.

Posebna zahvala gre moji družini, ki mi je omogočila študij in me skozi vsa ta leta spodbujala in verjela vame.

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Vodna bilanca zemeljske oble (Maidment, 1992: str 1424).....	15
---	----

KAZALO SLIK

Slika 1: Portret Leonarda di ser Piera da Vincija, nastal leta 1516, narisano z rdečo kredo na papir velikosti 33 x 21 cm (foto: Rok Goltnik)	2
Slika 2: Leonardova študija tekoče vode iz njegovih zapiskov. Kraljeva zbirka © 2008 Njeno Veličanstvo Kraljica Elizabeta II (RL 12579r)	2
Slika 3: Nilometer (Baldiri, 2008).....	3
Slika 4: Lesena maketa narejena po Leonardovih opisih za idealno mesto (foto: Rok Goltnik).....	5
Slika 5: Dvojna mavrica (Estland, 2011)	9
Slika 6: Prikaz loma in odboja svetlobe v vodnih delcih	9
Slika 7: Lunina mavrica (Photo courtesy Calvin Bradshaw , 2013)	9
Slika 8: Valovne dolžine posameznih barv	10
Slika 9: 1. Začetno stanje Zemlje; 2. Zaradi erozije se je trda zemljina deformirala in potonila proti središču Zemlje; 3. Zaradi ravnotežja se mase porazdelijo, kar privede da se nekaj trde zemljine dvigne nad ocean.....	12
Slika 10: Skica sifona iz Leonardovih zapiskov. Kodeks Paris, Rokopis G. © Arhiv Alinari/CORBIS.	13
Slika 11: Grafična ponazoritev porazdelitve vse vode na Zemlji.....	16
Slika 12: Osnovni prikaz plimovanja zaradi Lune	19
Slika 13: Podrobna skica pristanišča in zapornic iz Leonardovih zapiskov. Kodeks Atlanticus. Avtorske pravice knjižnica Ambrosiana, avtentična št. Int. 59/08.....	20
Slika 14: Model anemometra, izdelan iz lesa in kovinske ploščice (foto: Rok Goltnik)	21
Slika 15: Skica anemometra iz Leonardovih zapiskov (foto: Rok Goltnik).....	21
Slika 16: Model hidrometra, kakršnega je uporabljal Leonardo (foto: Rok Goltnik)	22
Slika 17: Skica hidrometra iz Leonardovih zapiskov (foto: Rok Goltnik).....	22
Slika 18: Skica merilnik hitrosti iz Leonardovih zapiskov (foto: Rok Goltnik)	22
Slika 19: Zgolj prikazuje izgled modela merilnika hitrosti (foto: Rok Goltnik).....	22
Slika 20: Model anemoskopa (foto: Rok Goltnik)	23
Slika 21: Podrobna skica vrat za pristanišča iz Leonardovih zapiskov. Kodeks Atlanticus. Avtorske pravice knjižnica Ambrosiana, avtentična št. Int 59/08	23
Slika 22: Model rešilnega pasu (foto: Rok Goltnik)	23
Slika 23: Model potapljaške opreme, ki zgolj prikazuje njen izgled in je drugače nefunkcionalen (foto: Rok Goltnik).....	24
Slika 24: Skica dela potapljaške opreme, ki služi za dihanje pod vodo (foto: Rok Goltnik)	24
Slika 25: Model visečega mostu (foto: Rok Goltnik).....	25
Slika 26: Model vojaškega mostu za hitro in enostavno postavitve ter transport (foto: Rok Goltnik) .	25
Slika 27: Pomanjšan model podmornice, narejen po skici iz Leonardovih zapiskov (foto: Rok Goltnik)	25

KAZALO VSEBINE

STRAN ZA POPRAVKE	II
IZJAVE	III
BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVEČEK	IV
BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT	V
ZAHVALA.....	VI
KAZALO PREGLEDNIC.....	VII
KAZALO SLIK.....	VIII
KAZALO VSEBINE.....	IX
1 UVOD.....	1
2 LEONARDO DI SER PIERO DA VINCI	2
3 HIDROLOGIJA PRED IN PO LEONARDU	3
4 LEONARDOVA TEZA O VODI.....	5
4.1 Leonardovih šest zakonov o vodi.....	6
5 ATMOSFERA	7
5.1 Leonardovo pojmovanje atmosfere.....	7
5.1.1 Leonardo o barvi atmosfere.....	7
5.1.2 Leonardo in oblaki	7
5.1.3 Leonardo in mavrica.....	7
5.2 Atmosfera, kot jo poznamo danes	8
5.2.1 Sestava atmosfere.....	8
5.2.2 Pojav mavrice.....	8
5.2.3 Zakaj je nebo modro?.....	10
6 STRUKTURA ZEMLJE	11
6.1 Erozijska in oblikovanje zemeljskega površja	11
7 VODNI KROG	13
7.1 Leonardov koncept vodnega kroga	13
7.2 Hidrološki krog, ideja o povodjih in rečnih sistemih	13
7.2.1 Današnje znanje o vodnem krogu	14
7.3 Leonardovo mnenje o slanosti morske vode	17
7.3.1 Dejanski razlog za slanost morja.....	17
7.4 Leonardovo mišljenje o plimovanju.....	18
7.4.1 Kaj vemo o plimovanju danes	19
8 LEONARDOVA ŠTUDIJA O GIBANJU VODE	20

9	LEONARDOVI IZUMI POVEZANI Z VODO	21
9.1	Anemometer	21
9.2	Hidrometer	21
9.3	Merilnik za hitrost vetra ali vode	22
9.4	Anemoskop	23
9.5	Vrata za pristanišča	23
9.6	Rešilni pas	23
9.7	Potapljaška obleka.....	24
9.8	Mostovi	24
9.9	Podmornica	25
10	ZAKLJUČEK.....	26
VIRI.....		27

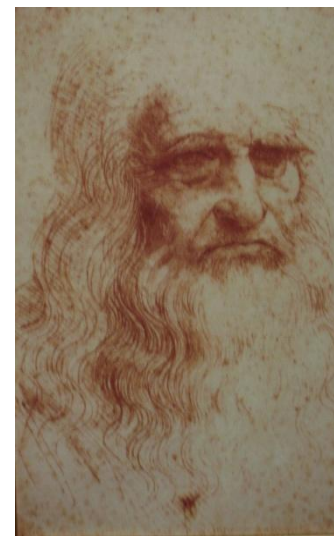
1 UVOD

Ob pogledu na Zemljo iz vesolja opazimo, da je večina našega planeta prekrita z vodo. V našem trenutno raziskanem osončju je naš planet edinstven. Voda je prva stvar, ki jo ljudje iščemo na drugih planetih v širnem vesolju. Iščemo jo, ker je vir in pogoj za nastanek življenja. Poleg tega, da je voda vir življenja, pa velikokrat življenja tudi jemlje. Jemlje jih takrat, kadar nam pokaže svojo neustavljivo uničujočo moč v obliki naravnih nesreč, kot so velike poplave, cunamiji, nevihte ipd. Voda kot vir in poguba življenja, je velik razlog, zakaj jo ljudje hočemo kar se da dobro razumeti in raziskati.

Marsikdo ne ve, da med ljudi, ki so se zanimali za vodo, spada tudi eden največjih genijev človeštva, Leonardo di ser Piero da Vinci (v nadaljevanju Leonardo). Leta 2009 je izšla knjiga z naslovom »Leonardo Da Vinci's Water Theory, On the origin and fate of water« (Pfister in sod., 2009), ki predstavlja Leonardov pogled na vodo, vodni krog ter hidrološke elemente, povezane z njim. Knjiga predstavi tudi skice in citate iz njegovih zapiskov. Kar nekaj njegovih zapiskov si je zaradi njegovega načina pisanja in razmišljanja zelo težko interpretirati. Ta diplomska naloga obsega poleg Leonardovih teorij in pogleda na vodo tudi nekaj sodobnih razlag pojavov. S primerjavo s sodobnimi razlagami pojavov v diplomskem delu smo poskušali ugotoviti, kako blizu današnjim tezam je bil Leonardo pred 500 leti. V nalogo so vključene tudi fotografije naprav in izumov, ki jih je Leonardo uporabljal pri svojih odkrivanjih v povezavi z vodo. Naprave so izdelali s pomočjo Leonardovih natančnih zapiskov in skic. Del slikovnega gradiva v tem diplomskem delu je bilo posnetega na razstavi z naslovom Da Vinci The Genius (2013). Na tej največji svetovni potujoči razstavi je bilo mogoče videti preko 200 različnih naprav z različnih področij, s katerimi se je Leonardo ukvarjal tekom svojega življenja.

2 LEONARDO DI SER PIERO DA VINCI

Na dan 15.4.1452 se je v mestu Vinci, Caterini s katero je imel Ser Piero da Vinci krajše razmerje, rodil izven zakonski sin Leonardo di ser Piero da Vinci (slika 1). V prevodu njegovo ime pomeni Leonardo, sin gospoda Piera iz Vincijskega. Ker je bil nezakonski sin, mu je bilo prepovedano obiskovanje prestižnih šol in se kasneje zaposliti na kakšnem pomembnem in spoštljivem področju za tisti čas. Vendar je Leonardo že kot otrok kazal velike sposobnosti, zato je njegov oče poskrbel, da se je naučil brati, pisati in osnov matematike. Kasneje mu je omogočil, da je postal vajenec priznanega slikarja in kiparja Andrea del Verrocchia. Za tem je Leonardo kot vojaški inženir delal za Ludvica Sforco, ki je bil takratni milanski vojvoda. Zanj je naredil tudi eno izmed svojih najbolj znanih del in sicer stensko sliko Zadnja večerja. Za tem je bil Leonardo svetovalec vojvodi Cesare Borgiu. V tem času je začel slikati najbolj znano sliko Mone Lise. Leonardo si se našel delo tudi v mestih kot so Rim, Bologna in Benetke. Zadnja leta svojega življenja pa je preživel v Franciji pod okriljem takratnega kralja Francisa I. V zadnjih letih je želel urediti vse svoje zapiske in jih zbrati v nekakšno enciklopedijo. To mu ni uspelo, ker so ga začele pestiti starostne težave. Vse skupaj mu je otežila še možganska kap, ki mu je prizadela delovanje desne roke. Leonardo je umrl 2.5.1519, star 67 let (Pavlič, 2013). Po opisih



Slika 1: Portret Leonarda di ser Piera da Vincijskega, nastal leta 1516, narisano z rdečo kredo na papir velikosti 33 x 21 cm (foto: Rok Goltnik)



Slika 2: Leonardova študija tekoče vode iz njegovih zapiskov. Kraljeva zbirka © 2008 Njeno Veličanstvo Kraljica Elizabeta II (RL 12579r)

prvih hidrologov in da se je ukvarjal tudi z hidravliko tekočin (slika 2). Predstavil je celo nekaj idej, ki so blizu idejam, s katerimi se ukvarja sodobna eksperimentalna hidrologija. Za lažje razumevanje in opisovanje pojavov povezanih z vodo si je pomagal z napravami, ki jih je sam izumil. Tako je izumil enega izmed prvih hidrometrov merilnika vlažnosti in napravo za merjenje hitrosti vode s pomočjo katere je preračunaval pretoke rečnih strug. Poleg izumov za lastne potrebe pa seveda obstaja še mnogo drugih izumov, predvsem na področju vojskovanja in letenja, po katerih je Leonardo svetovno znan (Pfister in sod., 2009).

njegovega prijatelja in vajenca Francesca Melzia bi naj Leonardo zapustil kar okoli 13.000 strani zapiskov. Francesco Melzi je po Leonardovi smrti poskušal te zapiske urediti, vendar tudi njemu to ni uspelo. Razlog za neuspeh je bil predvsem Leonardov strah pred takratnimi tatovi patentov in izumov, politične razmere, neprestanim spreminjanjem tako samih tem kot njegovih tez in pa njegovo zrcalno pisanje. Za zrcalno pisanje še vedno ni popolnoma jasno zakaj ga je uporabljal. Nekateri zagovarjajo teorijo, da je takšno pisanje uporabil, da ne bi njegovih zapiskov mogel brati vsak. S tem se je ubranil pred takratnimi političnimi razmerami. Drugi trdijo, da je takšno pisanje razvil zgolj zaradi tega, ker je bil levičar in je pisalo lažje vleči kot potiskati. Zaradi neurejenosti zapiskov in za tisti čas norih zamisli se je veliko tez in zapiskov izgubilo. Danes obstaja le še 7.000 strani. Ohranjeni zapiski so večinoma razpršeni med knjižnicami in nekaterimi privatnimi lastniki v Evropi in Ameriki.

Leonarda lahko zlahka imenujemo največjega genija vseh časov. Bil je slikar, kipar, arhitekt, inženir, izumitelj, anatom, geolog, kartograf, botanik in še marsikaj. Mnogi pa ne vedo, da je bil tudi eden izmed

3 HIDROLOGIJA PRED IN PO LEONARDU

Ljudje se skozi celoten svoj obstoj predobro zavedamo pomena vode. Kljub njeni neustavljivi uničujoči moči v času naravnih katastrof je ključnega pomena za naše preživetje. To je privedlo do želje o boljšem poznavanju vode, njenih lastnosti in vprašanju od kod izvira in kam se izteka. Tekom zadnjih 3000 let se je mnogo filozofov, znanstvenikov ter inženirjev posvetilo hidrologiji. Zаметke hidrologije lahko zabeležimo več kot 3000 let pred našim štetjem. O tem nam pričajo ostanki hidrotehničnih objektov iz Mezopotamije, Egipta in Kitajske. V tem času so bili postavljeni prvi nilometri (slika 3). Nilometri so imeli dva namena. Glavni, skriti namen pred ljudmi, je bil pobiranje davkov, drugi pa merjenje gladin vode reke Nil (Brilly in Šraj, 2005). Okrog leta 800 pr. n. št. so se pojavili prvi zapiski o izhlapevanju in padavinah s strani grškega poeta Hesioda. Iz tega



Slika 3: Nilometer (Baldiri, 2008)

časa so tudi zapiski iz hinduizma, ki opisujejo večni vodni krog. Prvi, ki je vodo opisal kot izvor vsega na Zemlji, je bil Tales (624 - 584 pr. n. št.), starogrški filozof v 6. stoletju pr. n. št. (Pfister in sod., 2009). Bil je celo prepričan, da kontinenti plavajo na vodi. Talesov učenec Anaksimander (610 - 545 pr. n. št.) je kasneje upošteval, da so se vsa živa bitja na Zemlji razvila iz vode. Verjel je tudi, da je na samem začetku bila celotna Zemlja prekrita z vodo. Predpostavljal je, da bo zaradi izhlapevanja sčasoma ostalo le kopno. Hkrati je za nastanek padavin navajal izhlapevanje. Anaksimander (585 - 525 pr. n. št.), ki je bil prijatelj Anaksimandra, pa je verjel, da oblaki nastanejo zaradi kondenzacije zraka. Za razliko od Talesa in Anaksimandra je verjel, da je izvor vsega zrak. Prvi, ki je imel pravilno predstavo o hidrološkem krogu je bil Anaksagora (500 - 428 pr. n. št.), ki je bil prav tako starogrški filozof (Pfister in sod., 2009). Predvideval je, da reke napajajo padavine in voda, ki se shranjuje v podzemlju tekom zime. Pravilno je tudi sklepal, da je morje slano zaradi snovi, ki jih reke spirajo in odnašajo v morja. Naslednji, ki se je posvetil vodi in od katerega je določene koncepte prevzel tudi Leonardo, je bil Platon (428 - 348 pr. n. št.). Platon je verjel v koncept, kjer je Zemlja živo telo, enako človeškemu, ter da je sestavljeno iz štirih osnovnih elementov (zemlja, voda, zrak, ogenj). Vodi je v 3. stoletju pr. n. št. pozornost namenil tudi Platonov učenec Aristotel, ki je bil mnenja, da padavine in podzemna voda skupaj nista dovolj velik vir vode, da bi polnila reke tudi v sušnih obdobjih (Pfister in sod., 2009). V ta namen je iskal druge razloge. Tudi Aristotel se je zavedal, da je vodni krog neskončen. Nato je bilo za časa Rimljanov nekaj učenjakov in filozofov, ki so prevzemali, spreminjali in dopolnjevali teorije in koncepte že omenjenih grških filozofov. Omeniti je potrebno Plinija Starejšega (23 - 79 pr. n. št.), Seneka (4 pr. n. št. - 65) in Herona (1. stoletje), ki so imeli vpliv na Leonarda. Plinij Starejši je napisal enciklopedijo, ki je obsegala geografijo, botaniko, zoologijo, medicino, mineralogijo, umetnostno zgodovino in antropologijo. To enciklopedijo je Leonardo prebral in večkrat v svojih zapiskih argumentiral Plinijeve ugotovitve (Pfister in sod., 2009). Heron pa je pomemben, ker je prvi v svojih izračunih pretoka reke ali kanala upošteval hitrost vode poleg geometrijskih lastnosti rečnih korit. Od propada Rimskega cesarstva do Leonardovega časa se na področju hidrologije ni zgodilo praktično nič pomembnejšega. V 16. stoletju pa se je hidrologija začela hitreje razvijati. Za to sta poskrbela Jacques Besson (1500 - 1580) in Bernard Palissy (1499 - 1590), ki sta že zelo dobro in večinoma pravilno opisala hidrološki krog. Vse do 17. stoletja se je obdržala Leonardova teorija o tem, kako slana voda iz morij preko podzemnih kanalov pride pod gore in se nato s principom sifona oziroma izhlapevanja dvigne na površje, soli pa ostanejo v zemlji (Pfister in sod., 2009). To teorijo je zavrnil John Ray (1627 - 1705). Pravilno je predvideval, da se zračne

mase premikajo iznad morja na kopno in tako s sabo nosijo velike količine vode, ki nato pade v obliki padavin nazaj na Zemljo (Pfister in sod., 2009). V 18. in 19. stoletju se je razvila predvsem hidravlika in s tem tudi meritve padavin in pretoka. V tem času sta bila postavljena Chezyjeva enačba (1775) in Bernoullijev teorem (1748). Od tod naprej pa so bili postavljeni temelji sodobne hidrologije. Razvil se je Darcyjev zakon o toku podtalnice, Manningova enačba za izračun Chezyjevega koeficienta. V tem času so bile postavljene prve meteorološke in hidrološke vodomerne postaje. V 20. stoletju pa so se začela ustanavljati razne organizacije povezane s hidrologijo kot so IAHS (mednarodno društvo hidrologov), IHP UNESCO (mednarodni hidrološki program) in OHP WMO (operativni hidrološki program; svetovna meteorološka organizacija). Z razvojem merilnih naprav, računalnikov, satelitskih posnetkov in ostale opreme je bila omogočena uporaba kompleksnih matematičnih modelov in obdelava velikega števila podatkov. Od leta 1980 naprej se je hidrologija začela posvečati tudi onesnaževanju in večjim posegom v podrejanju narave (Brilly in Šraj, 2005).

4 LEONARDOVA TEZA O VODI

Leonardovo zanimanje za vodo povezujejo z velikima poplavama reke Arno v Italiji iz njegovega otroštva. Že kot otrok se je zavedal, kakšno moč ima voda. Hkrati je želel nekako ukrotiti vodo do takšne mere, da bi zaščitil ljudi pred njeno uničevalno močjo. Vedel je, da bo lahko zaščitil človeška življenja in infrastrukturo le s pomočjo dobrega poznavanja vode. V njegovih zapiskih poleg preurejenih načrtov infrastrukture raznih mest, ki so bila poplavno ogrožena, in ureditev rečnih dolin, najdemo tudi ekonomske vidike (cene projektov, zaslužki) posameznih projektov (Pfister in sod., 2009). Njegov najbolj poznan projekt glede urbane ureditve je zasnova idealnega mesta (slika 4). Zamisel za idealno mesto je dobil po tem, ko je zaradi kuge v Milanu umrlo veliko ljudi. Idealno mesto bi ležalo ob reki in bi bilo prepleteno z vodnimi kanali, ki bi služili za gospodarske namene in hkrati tudi kot kanalizacija. Razdeljeno bi bilo na dva dela. Spodnji del bi bil namenjen trgovcem, zgornji del pa za premožnejše prebivalce. Zasnoval je tudi zgradbe, v katerih bi bili posebni hidravlični sistemi, ki bi oskrbovali mesto z vodo (Da Vinci The Genius, 2013). Zgradbe naj bi imele tudi prezračevalne sisteme. Svoje znanje o vodi je Leonardo želel zbrati v knjigi z naslovom Teza o vodi. Skozi čas se je zelo veliko zapiskov izgubilo, veliko pa jih je tudi nedokončanih. Nedokončani so zato, ker je to delal za lastno radovednost in željo po znanju. To je posledično vodilo do tega, da je med raziskovanjem trenutnega problema dobival nove ideje na drugih področjih in je tako reševanje trenutnega problema začasno ali celo trajno opustil. Leonardo je celo pripravil zasnovo o čem naj bi knjiga Teza o vodi govorila. Sestavljena bi naj bila iz petnajstih poglavij (Kodeks Leicester, 1506 – 1510, cit. po Pfister in sod., 2009):



Slika 4: Lesena maketa narejena pa Leonardovih opisih za idealno mesto (foto: Rok Goltnik)

- Poglavlje 1: »O bistvu vode«
- Poglavlje 2: »O morju«
- Poglavlje 3: »O podzemnih rekah«
- Poglavlje 4: »O rekah«
- Poglavlje 5: »O naravi brezna«
- Poglavlje 6: »O ovirah«
- Poglavlje 7: »O produ«
- Poglavlje 8: »O gladini vode«
- Poglavlje 9: »O stvareh v vodi«
- Poglavlje 10: »O urejanju rek«
- Poglavlje 11: »O vodovodih«
- Poglavlje 12: »O kanalih«
- Poglavlje 13: »O strojih, ki jih poganja voda«
- Poglavlje 14: »O naraščanju vode«
- Poglavlja 15: »O uničenju, ki ga povzroča voda«

Na žalost pa Leonardo te knjige nikoli ni dokončal. Velikokrat jo je poskušal dokončati in urediti svoje zapiske o vodi, a mu to ni uspelo. Zapiske o vodi, ki pa obstajajo, je mogoče povezati z nekaterimi od zgoraj naštetih poglavij. Poleg zgoraj omenjenih poglavij je poskušal pisati oziroma razviti tudi idejo o učinkih rek in kako zmanjšati njihove negativne posledice s pomočjo hidravličnih

ukrepov. Želel je napisati tudi poglavja o tem, kako (Kodeks Leicester, 1506 – 1510, cit. po Pfister in sod., 2009):

- bi zaščutil mesta pred naraslimi rekami;
- zavarovati bregove rek pred erozijo;
- bi zaščutil mesta pred naraslimi rekami;
- zavarovati bregove rek pred erozijo;
- popraviti in graditi temelje mostov;
- popraviti rečne bregove in zidove, ob katere udarja voda;
- preusmeriti reke iz predelov, kjer povzročajo škodo;
- kontrolirati, da se male poškodbe, nastale zaradi delovanja rek, ne širijo;
- se voda giblje znotraj rečnih korit;
- se pojavljajo vrtinci v rečnem toku;
- trde snovi absorbirajo vodo;
- se reke obnašajo, ko prestopijo svoje bregove.

Kljub temu, da mu ni uspelo dokončati knjige Teza o vodi, pa lahko v njegovih zapiskih vseeno najdemo številne definicije, ki se navezujejo in so pomembne za njegova poglavja v knjigi, ki jih je načrtoval. Da bi lahko razumeli vodni krog, je Leonardo napisal šest zakonov o vodi.

4.1 Leonardovih šest zakonov o vodi

1. Prvi zakon govori o poziciji elementov in njihovem središču (več v poglavju 6). O poziciji in vrsti elementov si lahko več ogledamo v poglavju 6 Struktura zemlje. Središče elementov je najnižja točka elementov. To središče je najmanjša možna stvar. Enako so točko imenovali tudi matematiki pred Leonardom. Leonardo je bil mnenja, da ima voda dve središči in sicer lokalno in globalno. Lokalno središče je središče vodnih kapljic, globalno središče pa središče koncentrične sfere elementa vode. Lokalno središče vodnih kapljic se je postopno z večanjem njihove mase premikalo proti globalnemu središču.
2. V drugem zakonu je opisal pozicijo stvari v prostoru. Za to je uporabil izraza nizkost in visokost. Nižja bi naj bila tista stvar, ki je bližje središču elementov in obratno velja za višje ležeče stvari.
3. V tretjem zakonu Leonardo omenja gravitacijo. Vendar gravitacija zanj ni imela enakega pomena kot ga ima danes za nas. Za njega je bil to dogodek, ko je bil nek element premaknjen iz njegove sfere v drugo. Njegova definicija gravitacije je bila: če je sila teže elementa, ki je bil premaknjen v nek drug element (njegovo sfero), večja od sile vzgona elementa, v katerega je bil ta element premaknjen, se bo ta element potopil oziroma pomikal proti središču elementov.
4. Četrty zakon govori o lahkotnosti. Pomenil pa je dopolnitev pojma gravitacije oziroma tretjega zakona. To pomeni, da elementi, ki imajo manjšo silo teže od sile vzgona plavajo oziroma se pomikajo navzgor. Elementi, ki pa imajo ti dve sili enaki, lebdijo oziroma so breztežnostni.
5. V petem in šestem Leonardo trdi, da elementi v lastni sferi nimajo teže. To je argumentiral s pomočjo vodnih rastlin na dnu morij, saj jih voda pod lastno težo ne uniči. Ta domneva je bila seveda popolnoma napačna (Pfister in sod., 2009).

5 ATMOSFERA

5.1 Leonardovo pojmovanje atmosfere

Na področju atmosfere je Leonarda zanimala predvsem barva atmosfere in njeno spreminjanje skozi čas in prostor ter njen vpliv na vidne predmete. Zanimanje za atmosfero je povezoval s slikarstvom in veliko željo, da bi naredil letečo napravo. To sta dve področji, po katerih je Leonardo prepoznaven še danes. Zavedal se je, da barva na splošno izvira iz fizikalnega procesa. V njegovih zapiskih lahko najdemo razlage o procesih v atmosferi, ki so zelo podobne današnjemu razumevanju atmosferskih procesov. Opisoval je, kako vodna para vpliva na svetlost atmosfere in vlogo pare na formiranje oblakov. Razumel je, da je atmosfera sestavljena iz neskončno veliko malih molekul plina. Potrebno je omeniti, da je že uporabljal izraz atom, vendar ne v smislu osnovnega delca snovi kot je znano v sodobni fiziki. Sodobna definicija atoma je bila definirana kasneje v 17. oziroma 18. stoletju s strani Roberta Boyla. Leonardo se je najverjetneje zanašal na teorijo, predlagano s strani dveh grških filozofov, ki sta definirala atom kot najmanjši, nedeljivi delec (Pfister in sod., 2009).

5.1.1 Leonardo o barvi atmosfere

Leonardo je vedel, da atmosfera ni sama po sebi modre barve, ampak modrino povzroča topla para in majhni delci na katere padajo sončni žarki. Ta sklep je razložil na naslednji način. Če bi bila modra naravna barva atmosfere, bi morala biti barva le-te v primeru povečane razdalje med opazovalcem in koncem atmosfere (Leonardo je to imenoval sfera ognja) intenzivnejša. Za primer je podal modro steklo, ki postaja temnejše s svojo debelino. Zrak se obnaša ravno nasprotno. Atmosfera je svetlejša bližje obzorju. Manj kot je zraka med opazovalcem in opazovano točko atmosfere, temnejša je atmosfera. Opazil je tudi, da je atmosfera bolj svetlo modre barve pri večji vlažnosti in bolj temno modre barve pri manjši vlažnosti. Pomembno je tudi to, da je vedel, da zračni pritisk pada z nadmorsko višino (Pfister in sod., 2009).

5.1.2 Leonardo in oblaki

Leonardo je hotel razumeti nastanek oblakov in njihovo migracijo na nebu. Sprva je predvideval, da oblaki nastanejo s pomočjo megle. Ta nastane zaradi morske vode, ki se razprši, ko valovi trčijo v obalo. Tekom časa je spremenil svoje mnenje in podal zelo podroben opis nastajanja oblakov in dežnih kapelj. Poznal je pojave izhlapevanja, kondenzacije in nastanka dežnih kapelj. Razumel je povezavo med toploto in vlažnostjo v atmosferi. V osnovi je razmišljal takole: delci vlage se zaradi toplote dvigajo, hitrost dviganja delcev vlage pa se zelo zmanjša na višji nadmorski višini zaradi nižjih temperatur atmosfere. Delci vlage, ki se še vedno dvigajo, vendar veliko počasneje, se postopno združijo z tistimi delci, ki so tisti trenutek na tisti višini in prav tako upočasnjeni zaradi samega ohlajanja. Na koncu ti delci pridobijo na masi in hitrosti, ko se gibljejo skozi te mase vlage oziroma oblake (Pfister in sod., 2009).

5.1.3 Leonardo in mavrica

Leonardo je preučeval tudi nastanek mavrice, za kar je podal kar nekaj dokazov z eksperimenti. Njegova razlaga je bila predvsem skoncentrirana na Sonce in opazovalčevo oko. Podal je praktične eksperimente, s katerimi je dokazal, da barve mavrice ne povzroča Sonce in da to ni zgolj nekakšna interakcija očesa opazovalca. Glede na opravljene eksperimente je prišel do zaključka, da je mavrica rezultat interakcije med dežjem, Soncem in opazovalcem. Pravilno je sklepal, da bo opazovalec videl mavrico, če bo deževalo in bo imel Sonce za hrbtom (Pfister in sod., 2009).

5.2 Atmosfera, kot jo poznamo danes

Zemljina atmosfera je veliko več kot le zrak, ki ga dihamo. Atmosfera je plast, ki nas varuje pred meteoriti, zelo nevarnim ultravijoličnim sevanjem, ohranja toploto in je razlog, da se radijski valovi lahko odbijajo in prepotujejo dolge razdalje okoli Zemlje. Zmesi plinov, ki sestavlja atmosfero, pravimo zrak in se spreminja z nadmorsko višino. Zrak je v veliki večini zmes dušika (78%) in kisika (20%) (Kralj, 2004). Ostali elementi kot so argon, ogljikov dioksid, neon, helij, metan, kripton, vodik in vodna para, predstavljajo ostala dva procenta. Zemljino atmosfero lahko razdelimo na pet glavnih plasti. Te so od najnižje do najvišje: troposfera, stratosfera, mezosfera, termosfera in ekosfera. Meja med troposfero in stratosfero se imenuje tropopavza, meja med stratosfero in mezosfero je stratopavza, meja med mezosfero in termosfero pa se imenuje mezopavza. Meja med termosfero in ekosfero je zelo variabilna zaradi težavnosti definiranja temperature na taki višini. Imenuje se ekobaza ali termopavza (Kralj, 2004).

5.2.1 Sestava atmosfere

Troposfera se razteza od površja Zemlje pa do višine nekje 16 km (Kralj, 2004). Temperatura se z višino zmanjšuje. Troposfera je plast, v kateri se odvija vreme. Ime troposfera izhaja iz grške besede, ki se nanaša na mešanje. Mešanje je dejanje, ki se dogaja znotraj troposfere. Znotraj nje se topel zrak dviga, ustvarja oblake in padavine, vetrovi pa te mase premikajo okrog Zemlje.

Stratosfera poteka od tropopavze (16 km) do stratopavze, ki je nekje na višini okoli 50 - 55 km. Znotraj nje lahko najdemo ozonsko plast. Temperatura se znotraj stratosfere dviguje z višino, ker ozonska plast absorbira ultravijolično sevanje Sonca. Na višini tropopavze se temperature gibljejo okoli -60°C , proti vrhu stratosfere pa se temperatura dvigne na nivo zmrzišča. Zračni pritisk je na tej višini le 1/1000 tistega, ki ga čutimo mi na površju Zemlje (Reynolds, 2004).

Mezosfera se razprostira od stratopavze (okoli 50 km) do mezopavze na višini nekje približno 80 - 85 km (Kralj, 2004). Tukaj temperatura z višino ponovno pada. Tako je na višini mezopavze povprečna temperatura okoli 85°C , pade pa lahko tudi do več kot -100°C . Zaradi tako nizkih temperatur se v tem predelu lahko formirajo ledeni oblaki. Mezosfera je pomembna zato, ker znotraj nje večinoma zgorijo vsi meteorji oziroma se njihova velikost tako zmanjša, da niso več nevarni.

Termosfera poteka od mezopavze (okoli 80 km) do ekobaze, katere višina se spreminja med 350 - 800 km. Tukaj se temperatura ponovno dviga z višino. Poudariti pa je potrebno, da je v tem območju gostota molekul izredno majhna, zato normalna definicija temperature, ki jo poznamo in uporabljamo, tukaj ne pride v poštev. V tem območju poteka tirnica Mednarodne vesoljske postaje in se pojavlja polarni sij oziroma avrora (Reynolds, 2004).

Ekosfera se razprostira naprej od ekobaze (350 – 800 km). Tukaj se atmosfera ne obnaša več kot tekočina. Delci molekul so tako zelo narazen, da lahko potujejo več sto kilometrov brez da bi trčili drug ob drugega. Ta del atmosfere je večinoma sestavljen iz helija in vodika. Tukaj delci potujejo s pomočjo solarnih vetrov (Reynolds, 2004).

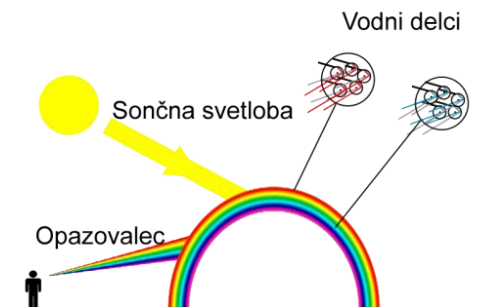
5.2.2 Pojav mavrice

Eden najbolj čudovitih pojavov narave je mavrica. Mavrica je večbarvni krožni lok, ki se pojavi na nebu ob pravih pogojih. Vidimo jo na sončen dan, kadar smo obrnjeni s hrbtom proti soncu in gledamo v nebo, kjer je dovolj veliko drobnih vodnih delcev. To se največkrat zgodi ob



Slika 5: Dvojna mavrica (Estland, 2011)

dežju, vodometu ali slapu. Višina mavrice je odvisna od višine Sonca. Če je Sonce višje od 42° oz. 51° nad obzorjem, se mavrica ne pojavi. Vsak najmanjši delec vode deluje kot prizma, ki svetlobo razprši ter jo odbije nazaj proti opazovalčevemu očesu. Mavrica ima obliko krožnega loka, ki se zaključí z obzorjem. Ob potrebnih pogojih za nastanek mavrice ter opazovanju z velike višine oziroma iz letala je mogoče mavrico videti kot zaključen krog. Vidimo lahko tudi tako imenovano dvojno mavrico (slika 5). V tem primeru je vidna na zunanji strani primarne mavrice še ena mavrica, ki ima barve ravno v obratnem vrstnem redu in je glede na obzorje za 9° višje kot primarna. Zelo redko pa lahko podoben pojav kot je mavrica, vidimo tudi ponoči. Temu pojavu pravimo lunina mavrica. Pojavi se ob luninem svitu, ko je lunina svetloba izredno močna. Zaradi človeškega slabega vidnega zaznavanja barv pri slabi svetlobi je lunina mavrica (slika 7) zelo bledeh barv ali pa celo bele barve (Sedej, 1997). Lunina mavrica je sestavljena iz sedmih barv, ki si sledijo od zgoraj navzdol: rdeča, oranžna, rumena, zelena, modra, indigo in vijolična. Za razumevanje nastanka mavrice so predvsem pomembni fizikalni pojmi kot so lom, odboj in razpršitev svetlobe. Ob prihodu bele sončeve svetlobe do vodnega delca se nekaj te svetlobe odbije stran od vodnega delca, nekaj pa je vstopi v delec, kjer se zaradi prehoda snovi ta svetloba lomi in razprši. Ta razpršena svetloba se nato od stene vodnega delca odbije in se nato pri izstopu iz njega ponovno lomi (slika 6). Bela svetloba se razprši v že omenjenih sedem barv mavrice. Zaradi različnih valovnih dolžin teh barv, se barve pod različnimi koti lomijo v vodnem delcu (slika 8). Tako je odklonski kot med žarki bele svetlobe, ki vstopajo v vodni delec in rdečo svetlobo, ki je usmerjena v opazovalca, okrog 42° . Za modro svetlobo, ki ima krajšo valovno dolžino, pa je ta kot velik okrog 40° . Zaradi teh kotov opazovalec vidi mavrico v obliki krožnega loka, kajti vsi ostali lomi in odboji žarkov svetlobe zunaj in znotraj krožnega loka so identični tistim opisanim zgoraj, vendar potujejo mimo opazovalčevega očesa in jih ta ne zazna (Reynolds, 2004).



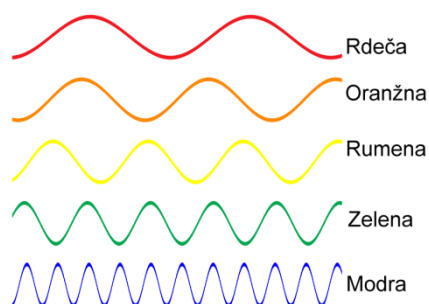
Slika 6: Prikaz loma in odboja svetlobe v vodnih delcih



Slika 7: Lunina mavrica (Photo courtesy Calvin Bradshaw , 2013)

5.2.3 Zakaj je nebo modro?

Kot že omenjeno v podpoglavju 5.2.2 je bela svetloba sestavljena iz vseh barv, ki sestavljajo mavrico in te barve imajo različne valovne dolžine (slika 8). Pri potovanju svetlobe proti Zemeljski površini, se le ta sipa. Do sipanja svetlobe pride zaradi molekul plinov, vodnih in prašnih delcev, ki sestavljajo Zemljino atmosfero. Zaradi različnih valovnih dolžin posameznih barv svetlobe, se te različno sipajo.



Slika 8: Valovne dolžine posameznih barv

Pri potovanju svetlobe skozi atmosfero, večino barv z dolgo valovno dolžino potuje naravnost skozi atmosfero. To velja predvsem za rdečo, oranžno in rumeno barvo, na katere sestava atmosfere bistveno ne vpliva. Ravno nasprotno pa se zgodi z barvami, ki imajo kratko valovno dolžino. To sta predvsem modra in vijolična barva svetlobe. Molekule plina absorbirajo te barve in jih nato sevajo oziroma sipajo v vse možne smeri. Tako zaradi sipanja modre svetlobe po celotnem nebu dobimo modro nebo, ne glede na to, kam v nebo pogledamo. Res pa je, da v bližini horizonta modra barva neba rahlo zbledi in prehaja v belo barvo. Razlog za to je, da mora

modra svetloba dlje potovati do opazovalčevega očesa, zaradi česar se večkrat sipa in je zato opazovalec ne zazna tako intenzivno (Fisher, 2011). Pri sami razlagi zakaj je nebo modro, pa se pojavita dve vprašanji. Zakaj nebo ni vijolične barve, če ima vijolična svetloba najkrajšo valovno dolžino? Drugo vprašanje pa, je zakaj se nebo obarva v odtenkih rdeče in oranžne barve ob sončnem zahodu? Odgovor na vprašanje, zakaj nebo ni vijolične barve leži v več dejavnikih. Sonce ne oddaja konstantnega spektra svetlobe različnih valovnih dolžin; nekaj vijolične svetlobe se absorbira v višjih delih atmosfere. Razlog je tudi v tem, da človeško oko vijolično barvo slabše zaznava. Vendar to še vseeno ni zadosten dokaz, saj lahko pri mavrici lepo vidimo vijolično barvo. Odgovor se skriva v delovanju človeškega očesa (Gibbs, 1997). Človeško oko ima tri tipe receptorjev, ki so poimenovani po barvi, ki jo najbolje zaznavajo. To so rdeči, modri in zeleni receptorji. Zaradi vseh teh razlogov skupaj ne vidimo neba vijolične barve. Svetloba mora pri sončnem zahodu prepotovati večjo razdaljo kot običajno. Zaradi tega se svetloba s kratko valovno dolžino dosti bolj sipa in do opazovalca neposredno pride večinoma svetloba z dolgo valovno dolžino (že omenjene rdeča, rumena in oranžna). Če je zrak pretežno čist, bo sončni zahod rumene barve. V primeru, ko pa zrak vsebuje razne prašne delce zaradi onesnaževanja ali soli ob morju, pa se sončni zahod obarva v odtenkih rdeče oziroma oranžne barve (Gibbs, 1997).

6 STRUKTURA ZEMLJE

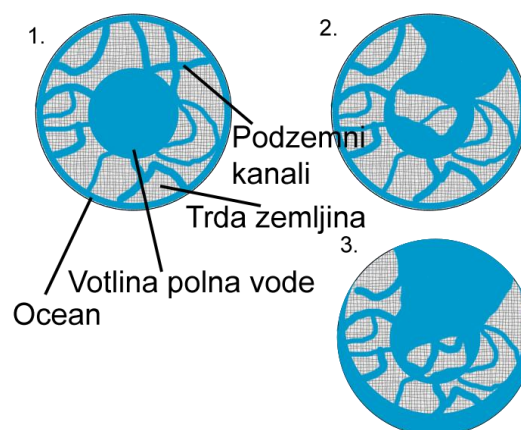
Leonardo se je zavedal, da potrebuje znanje o sami sestavi in strukturi zemlje, če hoče definirati koncept vodnega kroga. Tukaj se je obrnil na Platona. Platon je bil eden izmed najpomembnejših starogrških filozofov. Žal je Leonardo v preveč pogledih prevzel njegovo teorijo o ujemanju med človeškim mikrokozmosom in makrokozmosom narave. Prav tako je bila napaka, da je prevzel Platonovo teorijo o štirih osnovnih elementih iz katerih je sestavljen svet (Pfister in sod., 2009). Ti štirje osnovni elementi so voda, zrak, zemlja in ogenj. Ti elementi imajo obliko koncentričnih sfer in obdajajo drug drugega. Elementi si od središča Zemlje navzven sledijo po vrstnem redu: zemlja, voda, zrak in ogenj. V takšnem vrstnem redu so zaradi svoje gostote. Najtežje snovi oziroma tiste z največjo gostoto bodo vedno najbližje središču Zemlje. Če nek element premaknemo iz njegove koncentrične sfere v drugo, se bo poskušal vrniti nazaj na svoje mesto. Kot primer je podal vodo, ki jo vržemo v zrak in se zaradi svoje večje gostote od zraka, vedno vrača proti središču Zemlje oziroma svoji koncentrični sferi. Ogenj je obravnaval kot zunanji element, kar je nenavadno, saj ga v današnjem času obravnavamo bolj kot pojav in ne element. K takšnem sklepanju o ognju ga je najverjetneje pripeljalo dejstvo, da plamen vedno potuje navzgor (iz sfere zraka proti sferi ognja, ki je element nad zrakom). Svetloba kot posledica ognja prihaja od nekje nad območjem zraka. Tudi svetlobni sij kot pojav na tečajih je pripomogel k takšnemu sklepanju. Teorija o mikrokozmosa in makrokozmosa v osnovi govori o tem, kako se določeni vzorci pojavljajo in ponavljajo od najmanjših do največjih stvari (Mason, 2009). Leonardo je v tem konkretnem primeru primerjal delovanja človeškega telesa z delovanjem Zemlje. Edina razlika med človeškim telesom in Zemljo je bila po Leonardovem mnenju odsotnost tetiv in mišic v celotni strukturi Zemlje. Kot razlago temu je podal, da Zemlja ne potrebuje tetiv in mišic, saj je nenehno stabilna oziroma jih ne potrebuje za gibanje. Podal je mnogo primerjav, da bi pokazal podobnost med človeškim telesom in Zemljo. Primerjal je kosti, ki podpirajo strukturo telesa, s kamninami, ki podpirajo strukturo Zemlje. Dviganje in spuščanje pljuč zaradi dihanja je primerjal z dviganjem in spuščanjem gladine oceanov (plima in oseka). Srce kot mlaka krvi je izvir, iz katerega žile prenašajo kri po celem telesu. Primerjal ga je z oceanom, ki polni izvire vode na Zemlji (Pfister in sod., 2009).

Primerjava mlake krvi kot izvira z oceanom in ožilja z rekami na površju, ter mrežo kanalov v Zemljini skorji je bil temeljni koncept Leonardovega vodnega kroga (Pfister in sod., 2009).

6.1 Erozijska in oblikovanje zemeljskega površja

Leonardo si je Zemljo predstavljal kot kroglo, katere površje je prekrto z vodo in ima v sredini veliko votlino, ki je polna vode (slika 9.1). Plašč trde plasti naj bi bil prepleten z mrežo kanalov, skozi katere se pretaka voda. Voda, ki naj bi se pretakala skozi te kanale, trdo snov vedno znova spira oziroma erodira. Zaradi erozije se plašč trde snovi tako močno deformira, da se njegove stene zrušijo in zaradi svoje mase potonejo proti središču Zemlje (slika 9.2). To povzroči novo porazdelitev mase zaradi ravnotežja mas na Zemlji. Posledica porazdelitve mas pa privede do tega, da se trda snov dvigne nad gladino vode. Tako naj bi po Leonardovi razlagi nastala gorovja in trdi sloj tal, po katerem lahko hodimo (slika 9.3). **Napaka! Vira sklicevanja ni bilo mogoče najti.** Leonardova teorija o nastanku kopnega je seveda napačna. Iz njegove domneve o strukturi Zemlje pa je razvidno, da se je zavedal, da je erozija eden od ključnih pojmov pri oblikovanju površja ter da so pod površjem Zemlje velike količine vode, ki so z vodo na površju povezane preko mreže podzemnih kanalov. Poznal in zavedal se je tudi pomembnosti procesa sedimentacije. Spoznal je, da je pri procesu erozije pomemben tudi naklon. Večji naklon pomeni večji vpliv gravitacije. Opazil je tudi, da če primerjamo dve reki s podobnimi značilnostmi, bo tista pri kateri je floris bolj vijugast, starejša in hitrost vode bo manjša. To nakazuje, da je imel dobro predstavo o časovnem nastanku pokrajnin. Povezal je tudi procesa

sedimentacije in erozije s sestavo Zemljine skorje ter sedimentacijo z nastankom kamnin. Do ugotavljanja nastanka kamnin ga je vodila predvsem prisotnost fosilov v različnih plasteh kamnin. Leonardo je prvi, ki je razumel nastanek fosilov in njihov pojav na višjih nadmorskih višinah zaradi geološkega premikanja Zemljine skorje. Odkril je, da fosili, ki jih je našel v gorah, izvirajo iz morja. Pred njim je bilo mnogo različnih teorij o nastanku fosilov. Predvsem se Leonardo ni strinjal z teorijo, ki trdi, da je za nastanek in prenos fosilov na takšne nadmorske višine kriva svetopisemska poplava. Za čas njegovega življenja je bilo pisanje takšnih stvari zelo tvegano in politično vprašljivo, zato je zgolj navajal razloge in dejstva, kako se takšna poplava ni mogla zgoditi. To je zagovarjal s tezo, da nekateri organizmi enostavno niso bili dovolj hitri, da bi v 40-ih dneh, kolikor je poplava trajala, lahko prepotovali tako velike razdalje. Predvsem je tukaj mislil na školjke in njim podobne organizme. Hkrati je poudarjal delovanje gravitacije in kako bi moral dež, ki je bil razlog za poplavo, vse organizme spirati proti središču Zemlje. Eno od njegovih vprašanj je bilo povezano z izginotjem vode po poplavi. Njegov argument je bil, da voda ni mogla nikamor odteči, če je bilo vse pod vodo. Lahko bi le vsa izhlapela zaradi vpliva Sonca (Pfister in sod., 2009).



Slika 9: 1. Začetno stanje Zemlje; 2. Zaradi erozije se je trda zemljina deformirala in potonila proti središču Zemlje; 3. Zaradi ravnotežja se mase porazdelijo, kar privede da se nekaj trde zemljine dvigne nad ocean.

7 VODNI KROG

7.1 Leonardov koncept vodnega kroga

Sami študiji vodnega kroga in procesom, ki ga poganjajo, je Leonardo posvetil zelo veliko časa. Zasnoval je splošni koncept vodnega kroga na osnovi primerjave strukture človeškega telesa in Zemlje. V svojo teorijo je popolnoma verjel, kar je mogoče malo nenavadno glede na njegove sposobnosti, opazovanja in poznavanja inženirstva ter fizike in dejstva, da so že mnogi pred njim ovrgli to teorijo.

Na podlagi koncepta o vodnem krogu je definiral nekaj glavnih problemov:

- Razlika višin je potreben pogoj za pretok vode.
- Razlika v masah oziroma teži materiala in njihova povezanost z erozijo. Erozija oziroma prenos materiala iz goratih predelov v oceane naj bi povzročila, da bi se lažji deli Zemljine skorje začeli dvigovati.
- Kaj poganja vodni krog? Bil je blizu pravilnemu sklepanju, da vodni krog poganja energija Sonca, vendar je bil prepričan, da poleg Sonca obstaja še mnogo večji vir energije zunaj meja naše atmosfere, ki ga je imenoval element ognja.
- Transport vode na višje ležeča območja. To je bil eden izmed njegovih glavnih interesov v iskanju pravilnega razumevanja vodnega kroga.

Na koncu lahko povzamemo vsa Leonardova vprašanja o vodnem krogu v tri ključna vprašanja hidrologije:

- Kam odteče padavinska voda?
- Koliko časa potrebuje površinski odtok, da doseže strugo?
- Kako dolgo se voda zadržuje v podzemlju?

7.2 Hidrološki krog, ideja o povodjih in rečnih sistemih

Leonardo je z opisi nekaterih evropskih rek in reke Nil ilustriral svojo ugotovitev o pomembnosti rečnih sistemov in povodij. Predvsem se je dobro zavedal, da pri večjih rekah izvir ni edini vir vode, kajti potem bi morale biti reke krajše.

Ena najbolj preprostih razlag Leonarda o obstoju hidrološkega kroga je podana skozi primer, kaj bi se zgodilo, če voda ne bi bila del neskončnega vodnega kroga. To bi z njegovega stališča pomenilo konec



Slika 10: Skica sifona iz Leonardovih zapiskov. Kodeks Paris, Rokopis G. © Arhiv Alinari/CORBIS.

življenja na Zemlji. Leonardo je napisal enega izmed prvih in domnevno pravilnih opisov hidrološkega kroga, in sicer: »sklepamo lahko, da voda prehaja iz rek v morje in iz morja nazaj v reke, kar pomeni, da voda nenehno kroži in se vrača, vsa morja in reke pa so že nešteto krat prepotovale izliv reke Nil« (Kodeks Paris, 1484 – 1515, cit. po Pfister in sod., 2009). Ta njegov opis hidrološkega kroga, kjer voda neprestano kroži skozi večje rečne sisteme, je zelo blizu današnjemu. Iz zgornjega citata je razvidno, da je prepoznal tako neskončno kroženje vode kot tudi rečne sisteme, ki so del povodij in so pomemben del tega neskončnega kroženja vode. Za pravilno razumevanje hidrološkega kroga je Leonardu manjkala ključna povezava med pojavi izhlapevanja, kondenzacije, padavin in odtoku padavinske

vode. Zadal si je, da mora odkriti gonilne sile, ki poganjajo vodo iz oceanov do izvirov rek na velikih nadmorskih višinah. Leonardo je predvideval, da obstajajo podzemni kanali, po katerih voda potuje. Svoje teorije o gonilni sili, ki potiska vodo na višje nadmorske višine, je večkrat spreminjal. Za razlago se je obrnil na podobnost delovanja Zemlje in človeškega telesa. Podobnost je videl v več stvareh. Prva primerjava je bila med neprestanim gibanjem ter prenosom vode in neprestanim pretakanjem krvi. Pri tem je poudaril, da če lahko v človeškem telesu kri potuje od srca do višje ležeče glave, potem lahko tudi voda v podzemlju deluje po enakem principu. Tukaj se je zavedal, da njegovi zakoni o vodi (poglavje 4.1) ne veljajo, predvsem tisti, ki omenjajo pomen težjih snovi oziroma gravitacijo. Druga primerjava je bila med izviri na nadmorski višini in krvavečim nosom. Enako kot voda, ki priteče iz izvira in na katero delujejo zakoni narave in teče proti nižje ležeči točki, enako kri priteče iz nosu. Kadar ena od žilic v nosu počí, kri začne teči proti nižje ležeči točki oziroma ponovno začnejo delovati zakoni narave. Tretja primerjava je bila zelo podobna drugi, vendar se je tokrat osredotočil na gonilno silo, ki pomaga krvi oziroma vodi premagati višinsko razliko. Ta gonilna sila bi naj bila toplota. Seveda je bila ta trditev napačna že v sami osnovi, saj je bil mnenja, da kri po telesu poganja toplota (Pfister in sod., 2009). V kasnejšem obdobju svojega življenja je spoznal, da toplota ne poganja krvi po telesu. Po njegovem je bila gonilna sila, ki je v podzemlju premikala vodo na višje ležeče točke, delno povzročena s strani Sonca in delno s strani elementa ognja kot enega od osnovnih elementov (poglavje 6). Slana voda iz morij naj bi po podzemnih kanalih prišla do gora, od koder bi zaradi toplote začela izhlapevati in se pomikati proti površju. Trde snovi oziroma soli so ostale v zemlji. Izhlapela voda iz podzemlja pa naj bi nato zaradi hladnejših temperatur na vrhovih gora kondenzirala. Ta pogled na prenos vode je ena izmed njegovih glavnih pomanjkljivosti v njegovem konceptu hidrološkega kroga. Kljub napačnemu razmišljanju je tokrat prvič prepoznal Sonce kot velik vir energije (Pfister in sod., 2009). Ena od teorij, kako se lahko voda dviga na višje nadmorske višine, je bila povezana s kapilarnim dvigom. Od tod je prišel na idejo, da se voda dviga na višje točke po principu sifona. Po končanem podrobnem opisu samega principa sifona je sam prišel do spoznanja, da to ni mogoče in je to teorijo opustil. S časoma je Leonardo spoznal pomembnost izhlapevanja in njegov velik prispevek k delovanju hidrološkega kroga. Ob tem spoznanju je podal številna spoznanja, poglede in koncepte hidrološkega kroga. Poudaril je dejstvo, da lahko tako voda kot trdi delci prepotujejo velike razdalje s pomočjo vetra. Hkrati je dejal, da so v atmosferi zelo velike količine vode v obliki vodne pare. Od tod je podal kratek, a pravičen opis vodnega kroga. Dejal je, da se voda skozi izhlapevanje transportira do gora, kjer zaradi procesa kondenzacije ponovno pade na Zemljo v obliki padavin. Predvidel je tudi, da se padavine dalj časa zadržujejo v ribnikih, jezerih, morjih in oceanih. Tukaj je na kratko omenil tudi nastanek jezer in morij. Nekaj pozornosti je posvetil tudi eroziji in kako ta vpliva na spreminjanje površja. Na tem nivoju je Leonardo identificiral določene glavne komponente hidrološkega kroga. Nekaj malega povezav med temi komponentami mu je uspelo narediti, vendar je imel z večjimi in ključnimi povezavami še vedno velike težave (Pfister in sod., 2009).

7.2.1 Današnje znanje o vodnem krogu

Ljudje so se še pred našim štetjem zavedali oziroma predvidevali, da je voda na Zemlji del nekakšnega neskončnega kroga. Ta neskončni vodni oziroma hidrološki krog je izredno kompleksna stvar, saj nanj vpliva veliko dejavnikov. Ti dejavniki so predvsem prehajanje vode med biosfero, atmosfero, litosfero ter hidrosfero, kar dejansko pove, da je voda prisotna in se giblje vsepovsod. Prisotna je seveda v vseh treh agregatnih stanjih (trdem, tekočem in plinastem). Poznanih je več fizikalnih procesov gibanja oziroma prehajanja vode med že zgoraj omenjenimi sferami. Ti fizikalni procesi so izhlapevanje, transpiracija, kondenzacija, padavine, površinski odtok, infiltracija, taljenje in podzemni tok. Ena

izmed glavnih gonilnih sil vodnega kroga je energija Sonca. Voda s pomočjo teh fizikalnih procesov v določenih sferah ostaja dlje časa in v različnih agregatnih stanjih. Tako lahko rečemo, da se voda zbira v določenih velikih zbiralnikih. Ti zbiralniki so oceani, jezera, reke, podzemna voda, ledeniki, atmosfera ter sneg in led na tečajih Zemlje. Približna ocena količine vode na Zemlji oziroma količina vode, ki se nahaja v vseh teh zbiralnikih skupaj, je prikazana v preglednici 1. Voda se v teh zbiralnikih zadržuje različno dolgo. Čas zadrževanja vode je od nekaj dni pa do 30.000 let (preglednica 1). Za določitev časa zadrževanja se uporabljata dve metodi. Najbolj pogosto uporabljena metoda upošteva princip o ohranitvi mase in predvideva, da je količina vode v določenem zgoraj omenjenem zbiralniku približno konstantna. Druga metoda pa uporablja za določitev časa zadrževanja tehniko, pri kateri si pomagamo s pomočjo izotopov.

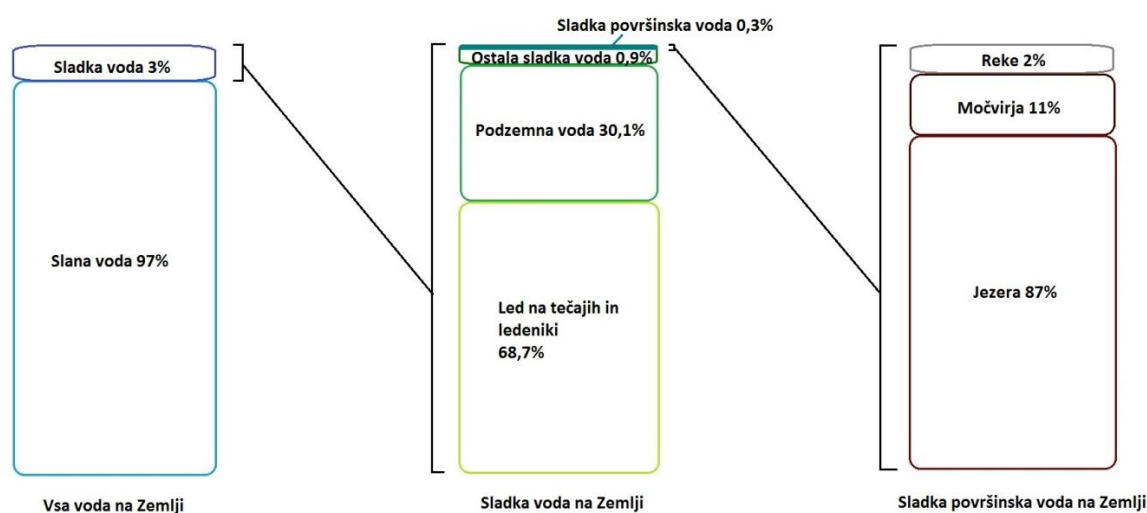
Preglednica 1: Vodna bilanca zemeljske oble (Maidment, 1992: str 1424)

	Površina [10 ⁶ km ²]	Volumen [km ³]	Delež celotne količine [%]	Čas zadrževanja
Oceani	361.3	1 338 000 000	96.5	3000 - 30 000 let
Površinske vode				
Sladkovodna jezera	1.2	91 000	0.007	1 – 100 let
Slana jezera	0.8	85 400	0.006	10 – 1000 let
Vodotoki	148.8	2120	0.002	10 – 30 dni
Močvirja	2.7	11 470	0.0008	-
Biološko vezana voda	510	1120	0.0001	7 dni
Podpovršinske vode				
Slana podtalnica	134.8	12 870 00	0.93	par dni do 1000 let
Sladkovodna podtalnica	134.8	10 530 000	0.76	
Vlaga v zemlji	82	16 500	0.0012	2 – 52 tednov
Led na tečajih	16	24 023 500	1.7	1 – 16 000 let
Ostali led in sneg	0.3	340 600	0.025	-
Atmosfera	510	12 900	0.001	8 - 10 dni
Skupaj sladka voda	148.8	35 029 210	2.5	
Skupaj vsa voda	510	1 385 984 610	100	

Izhlapavanje je fizikalni pojav, pri katerem se voda spremeni iz tekočega v plinasto agregatno stanje (Hubbart, 2010). Govorimo o evapotranspiraciji. To je pojav sestavljen iz izhlapevanja in fiziološkega procesa imenovanega transpiracija. Pri transpiraciji gre za izpust vode v atmosfero skozi rastline. Rastline vodo črpajo iz zemlje in jo nato delno skozi liste izpustijo v atmosfero (Brilly in Šraj, 2005). Vendar pa večino, kar 85 % vode, izhlapi iz oceanov. Od vode, ki izhlapi iz oceanov pa se jo nato le 9 % transportira nad kopno, kjer pade v obliki različnih padavin. Intenziteta izhlapevanja je odvisna od energije Sonca, temperature, vetra, vlažnosti zraka, zračnega tlaka, kakovosti vode in podlage, iz katere izhlapeva. Proces, ki sledi izhlapevanju je kondenzacija. To je fizikalni pojav, kjer se voda spremeni iz plinastega v tekoče stanje. Izhlapela voda oziroma vodna para se dviga in se zaradi hladnejših temperatur začne spreminjati in združevati v vse večje vodne kapljice. Tako nastanejo oblaki in megla. Pri dodatnem dviganju in združevanju vodnih delcev pa pride do nastanka padavin. Poznamo več različnih oblik padavin: dež, sneg, toča, sodra, babje pšeno. Poleg teh so možne tudi različne kombinacije omenjenih oblik padavin, kot na primer istočasno padanje dežja in snega, toče ter dežja in podobno. Padavine po nastanku razdelimo tudi na konvektivne, orografske in ciklonske padavine (Brilly in Šraj, 2005). Konvektivne padavine nastanejo pri hitrem lokalnem dvigu zračnih mas, ki je posledica segrevanja površja zemlje in adiabatnem ohlajanju. Vlažen zrak kondenzira in tako nastanejo padavine. Značilnost teh padavin je kratkotrajnost in velika intenziteta. Orografske

padavine nastajajo ob gorskih pobočjih, kjer vetrovi vlažen zrak dvigajo zaradi reliefa. Vlažen zrak se ponovno ohlaja in je podvržen kondenzaciji, kar ponovno privede do lokalnih padavin na goratih pobočjih. Pri ciklonskih padavinah pa se srečata topla in hladna fronta. Topel in posledično lažji zrak se dvigne nad hladen zrak, kjer kondenzira in nastanejo frontalne padavine (Reynolds, 2004). Ko padavine dosežejo tla, jih del takoj nazaj izhlapi, ostala padavinska voda pa postane del površinskega odtoka in transpiracije. Nekaj se je infiltrira tudi v tla in tako postane del zemeljske vlage ali podzemnih voda. Voda se v podzemlju giblje počasneje kot na površju. To prikazuje tudi velik čas

Porazdelitev vode na Zemlji



Slika 11: Grafična ponazoritev porazdelitve vse vode na Zemlji

zadrževanja vode v podzemlju (preglednica 1). Podzemna voda je lahko na različnih globinah. Tiste relativno blizu površja navadno imenujemo podtalnica in lahko na določenih mestih v obliki izvira pride tudi na površje. Na površje lahko voda pride tudi s pomočjo kapilarnega dviga ali povečanega pritiska. Nekaj podzemne vode pa se izliva neposredno v oceane. Površinski odtok je odtekanje padavinske vode po površju tal do najbližjih vodotokov, od koder nato voda potuje do oceanov. Površinski odtok je tudi največji krivec za erozijo in transport snovi v oceane. Kot lahko vidimo, smo ponovno prišli do oceanov in tako nekako zaključili neskončen, ponavljajoči se vodni krog, ki se je začel z izhlapevanjem vode iz oceanov. Seveda se je potrebno zavedati, da je to zgolj globalno gledano zaključen, neskončen vodni krog, saj voda tekom letnih časov, geografske lege in še marsikaterih dejavnikov neprestano spreminja agregatna stanja, čase zadrževanja in svojo lokacijo. Zaradi velikih časov zadrževanja v nekaterih vodnih telesih, je dejansko veliko več vode del teh teles, kot pa del vodnega kroga (Hubbart, 2010). Za vodni krog pa so pomembne tudi podnebne spremembe (hladna in topla obdobja) v zgodovini Zemlje. To pa pomeni, da se količina vode v določenih agregatnih stanjih skozi določena obdobja spreminja. V času ledenih dob je bil velik del vode na Zemlji v obliki ledu in snega. V času globalnega segrevanja pa v tekoči obliki. Kot zanimivost lahko omenimo, da je v času zadnje ledene dobe bila ena tretjina zemeljskega površja prekrita z ledom in snegom. Posledica tega je bilo znižanje morske gladine za okoli 120 metrov v primerjavi z današnjo (Perlman, 2005). V času zadnjega večjega globalnega segrevanja pa je bila gladina morja v primerjavi z današnjo višja za 5,5 metra. Vodni krog za svoje delovanje poleg sončne energije, ki je glavni vir

energije, porablja tudi drugo energijo iz okolja. Tako pri izhlapevanju absorbira energijo okolice in s tem ohlaja okolje. Podobno se zgodi pri pojavu kondenzacije, le da takrat segreva okolico.

Brez obotavljanja lahko rečemo, da je vodni krog poleg Sonca glavni razlog za ohranjanje življenja na Zemlji in delovanje ekosistema. Če uporabimo Platonov koncept, ki primerja človeško telo in Zemljo, potem lahko rečemo, da je vodni krog kot človeško srce in Sonce kot hrana. Dokler srce deluje in vedno znova pošilja kri po telesu, bo človek živel. Enako lahko trdimo za vodni krog in življenje na Zemlji. Prav tako kot človek ne more preživeti oziroma delovati brez hrane, ki je glavni življenjski vir energije, tudi vodni krog ne deluje brez Sonca.

7.3 Leonardovo mnenje o slanosti morske vode

Pri razlagi zakaj je morska voda slana, si je Leonardo pomagal z zapiski naravoslovca znanega kot Plinij Starejši, ki je bil Rimljan in je živel med leti 23 in 79. Plinij je zapisal, da je za slanost morske vode krivo izhlapevanje zaradi sončne toplote oziroma, da z izhlapevanjem voda izgublja sladek in nežen okus in tako ostane vodi le grenak in grob priokus. Leonardo se s to teorijo ni strinjal, saj bi po Plinijevi teoriji potem morala biti slana tudi vsa jezera in močvirja (Pfister in sod., 2009).

Leonardo je podal svojo teorijo. Po njegovem mnenju je razlog za slanost morij v podzemnih rudnikih soli, skozi katere potekajo mreže vodnih kanalov in tako voda raztaplja in odnaša sol v morja in oceane. Glede na svojo teorijo je tudi pravilno predvideval, da bodo morja in oceani v današnjem času vsebovali večje količine soli oziroma da bodo bolj slani, kot pa so bili v njegovem času. S pomočjo njegovega koncepta o nastanku Zemeljskega površja je podal razlago, zakaj se morja v neki zelo oddaljeni prihodnosti ne bodo spremenila iz tekočega v trdo agregatno stanje - sol. Dejal je, da s tem, ko se površje dviga iz oceanov in morij, s sabo dviga tudi sol, ki jo je absorbiralo in to sol reke vrnejo nazaj v zemljinjo. Verjel je tudi, da se slanost morja z globino manjša (Pfister in sod., 2009).

7.3.1 Dejanski razlog za slanost morja

Vsa voda na Zemlji, celo padavine, vsebujejo raztopljene snovi in minerale. Ampak vsa voda nima okusa po slanem. Na splošno se človek zanaša na svoj okus in zato pozna sladko ali svežo vodo in pa slano vodo, manj pa se zaveda rezultatov laboratorijskih testov. Zavedati se moramo tudi dejstva, da je 97% vse vode na zemlji slane (slika 11) (Brilly in Šraj, 2005).

Razlog slanosti morske vode je prisotnost raztopljenih snovi iz Zemeljske skorje, ki so sprane v morja. K slanosti morja pa prispevajo tudi izpusti plinov in trdnih delcev snovi iz vulkanov, razgradnja sedimentov, ki se usedajo na morsko dno in pa trdni delci snovi, ki jih z zemlje v morje odpihnejo obalni vetrovi. Voda iz morij izhlapeva, vendar za sabo pušča raztopljene snovi, minerale in soli, ki se tako kopičijo v morjih. Delno na slanost vplivajo tudi organizmi, ki živijo v morju (živali in rastline).

Slanost morja v današnjem času merimo s pomočjo promilov. Povprečna slanost morij je 35 ‰, kar pomeni da je v 1000 g vodne raztopine raztopljeno 35 g soli (Swenson, 1993). Slanost morja je odvisna od njegove geografske lege. Najbolj slana so morja ob ekvatorju, ker je izhlapevanje tam hitrejše, bolj intenzivno in je majhen dotok sveže vode. Na takih predelih morja dosežejo slanost okoli 40 ‰. Takšna slanost se na primer pojavi v Rdečem morju in Perzijskem zalivu. Manj slana pa so morja ob polih in na obalnih predelih. Ob polih zaradi prisotnosti ledu, ki se tali in tako dovaja v morja svežo vodo. Na obalnih predelih pa je prisoten dotok sveže vode iz rek. Primer je slanost Baltskega morja, ki se giblje med 5 ‰ in 15 ‰ (Swenson, 1993). Primer majhne slanosti je tudi Črno morje, kjer je slanost pod 20 ‰. Znanstveniki ocenjujejo, da oceani in morja vsebujejo okoli 50 kvadrilijonov ton (50 milijonov bilijonov ton) raztopljenih snovi. Če bi bilo mogoče odstraniti vso sol iz morske vode in

jo razporediti po površini Zemlje, bi dobili plašč soli debeline nekje 160 metrov. V morski vodi lahko najdemo celo zlato. 4 milijone km³ ($4 \cdot 10^{12}$ litrov) morske vode vsebuje približno 11 kilogramov zlata (Perlman, 2005).

Sveža sladka voda iz rek in slana voda se zelo razlikujeta. Natrij in klor (sestavna dela skupin soli) predstavljata nekaj več kot 85 % raztopljenih trdnih snovi v morski vodi, kar ji daje slan priokus (Swenson, 1993). V rečni vodi pa ta dva elementa predstavljata zgolj 16 % raztopljenih snovi. Reke v morja prinesejo dosti več kalcija kot klora, pa vendar ima morska voda 46-krat več klora kot kalcija. Kremen je pomemben sestavni del rečne vode, ni pa sestavni del morske vode. Kalcij in bikarbonat predstavljata 50% raztopljenih trdnih snovi v rečni vodi, vendar predstavljata manj kot 2% raztopljenih trdnih snovi v morski vodi. Za te razlike so delno krivi živi organizmi v morju, ki porabljajo določene snovi, predvsem kalcij, za izdelavo oklepov in skeletov. Koradni grebeni porabljajo apnenec (kalcijev karbonat). Drugi del razlike med rečno in morsko vodo pa je v fizikalno-kemijskih reakcijah, ki se dogajajo v vodi (Swenson, 1993).

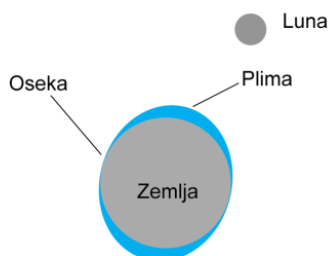
Zanimivo je vprašanje, zakaj voda v jezerih ni slana kljub temu, da jih enako kot morja, napaja rečna voda. Nekatera jezera so slana. Primer slanih jezer sta Great Salt Lake v Združenih državah Amerike in pa Mrtvo morje, na meji med Jordanijo in Izraelom. Mrtvo morje je najbolj slano. Njegova slanost je nekje osemkrat večja od slanosti oceanov. Voda ima okus slanosti, če vsebuje natrij in klor. Če voda v jezerih ne vsebuje veliko natrija, ne bo imela priokusa slanosti. Še en izmed razlogov zakaj jezera niso slana je v tem, da voda navadno zapusti jezera in nadaljuje svojo pot proti morju. Po nekih raziskavah naj bi kaplja vode in vsebovani ioni v njej ostali v jezerih v poprečju približno 200 let. Po drugi strani pa kaplja vode in njene soli ostanejo v morjih nekje od 100 do 200 milijonov let (Helmenstine, 2004).

7.4 Leonardovo mišljenje o plimovanju

Vzrok za nastanek plime oziroma oseke je Leonardo iskal v Soncu in Luni ter na osnovi že omenjene primerjave Zemlje z človeškim telesom, kjer po njegovi teoriji plima in oseka ponazarjata delovanje pljuč. Na podlagi slednjega je bil prepričan, da se plima oziroma oseka pojavljata simultano po celotni Zemlji. Ugotovil je, da se višina plime spreminja glede na geografsko širino. Sam princip delovanja plime in oseke si je razlagal tako, da ob oseki voda skozi razpoke na dnu oceanov prehaja v podzemne vodne kanale, preko katerih se nato transportira do izvirov rek, ki se nato ponovno stekajo v oceane in tako povzročijo plimo. Podal je tudi nekaj argumentov, zakaj Luna ni povzročitelj plime. Eden od teh argumentov se je nanašal na Sredozemsko morje in Gibraltarska vrata. Prepričan je bil, da se preko tako majhne ožine ne more tako hitro in brez kakšnih koli poplav preliti takšna količina vode ob plimi oziroma oseki (Pfister in sod., 2009).

7.4.1 Kaj vemo o plimovanju danes

Plimovanje je pojav, pri katerem pride do periodičnega dviganja in nižanja morske gladine (Vilfan in Zupan, 2006). Glavni vzrok se skriva v gravitacijski privlačni sili Lune (slika 12). Zanimariti pa ne smemo tudi vpliva gravitacijske sile Sonca, ki je približno enaka polovici Lunine in pa centripetalne sile zaradi vrtenja Zemlje. Obstaja še veliko drugih dejavnikov, ki vplivajo na višino lokalnega



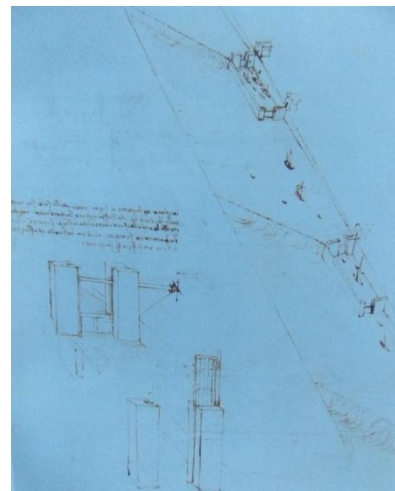
Slika 12: Osnovni prikaz plimovanja zaradi Lune

in dve oseki. Za nastanek dveh plim in osek sta kriva dva vzroka. Prispevek spreminjanja gravitacijske sile in centripetalne sile zaradi kroženja zemlje okrog skupnega težišča v sistemu Luna - Zemlja. Gravitacijska sila kot sama ni vzrok za nastanek plime. Vzrok je v razliki velikosti sile v različnih krajih na Zemlji. Sila, ki deluje na neki razdalji med težiščema Lune in Zemlje naj bo referenčna sila. Ta razdalja med težiščema je na strani Zemlje, ki je bližje Luni, zmanjšana za polmer Zemlje, kar nam posledično da večjo silo proti Luni. Na drugi strani pa je gravitacijska sila manjša od referenčne sile (razdalja se poveča za polmer Zemlje in tako dobimo manjšo silo), zato se voda oddaljuje od težišča Zemlje in povzroča plimo na nasprotni strani. Težišče okoli katerega se vrtil sistem Luna - Zemlja je 4.700 km oddaljen od težišča zemlje, kar pomeni da je še vedno znotraj Zemlje. Zaradi pozicije težišča sistema znotraj Zemlje tudi centripetalna sila povzroča dve plimi (na oddaljeni in bližji strani Lune od smeri Luna - Zemlja). Pri sistemu Sonce - Zemlja centripetalna sila ni tako pomembna oziroma se zelo malo spreminja zaradi pozicije težišča sistema znotraj Sonca (Vilfan in Zupan, 2006).

plimovanja. To so globina morja, oblika kontinentov, topografija morskega dna, ipd. Velikost plimovanja dobimo tako, da vplive Lune, Sonca in drugih dejavnikov seštejemo. Višina plime in oseke ni stalna, ampak se spreminja s časom. Največje plime se pojavijo takrat, ko Luna, Sonce in Zemlja ležijo na isti premici. To se zgodi dvakrat na mesec in sicer ob mlaju in polni luni. V tem primeru se vpliva Lune in Sonca seštejeta. V ostalem vmesnem času pa se vpliva med sabo zmanjšujeta. Prav tako pa na velikost plime vpliva tudi letni čas. Največje razlike se pojavijo ob spomladanskem in jesenskem enakonočju. Na Zemlji se hkrati pojavita dve plimi

8 LEONARDOVA ŠTUDIJA O GIBANJU VODE

Kot že omenjeno v poglavju 4, se je Leonardo odločil za preučevanje vode, da bi zaščitil ljudi pred naravnimi nesrečami, ki jih voda lahko povzroči. V njegovih zapiskih lahko najdemo opise nekaterih naravnih nesreč. Ti opisi so zaradi njegove umetniške nadarjenosti izredno dobro opisani in včasih tudi grafično ponazorjeni. Zavedal se je, da potrebuje čim boljše poznavanje gibanja vode v rekah, če želi ljudi zaščititi pred poplavami. Največ pozornosti je namenil reki Arno v bližini njegovega rojstnega kraja. Reka Arno leži na območju Toskane v Italiji, katere prestolnica so Firenze. Dve večji in pomembnejši mesti, ki ležita ob reki Arno sta Firenze in Pisa. Pisa leži ob izlivu reke Arno v Sredozemsko morje. Ena izmed idej Leonarda je bila, da bi reko Arno od Firenc do Pise spremenil v plovni kanal. Sprememba reke Arno v plovni kanal bi privedla do konstantne lege, smeri in oblike reke oziroma kanala in do možnosti kontroliranja pretoka. Pretok bi kontrolirali s pomočjo posebnega sistema zapornic. Iskal je tudi način kako zmanjšati izgube vode pri sistemu namakanja, ki je bil izredno pomemben v tistem času. Pri samem načrtovanju si je pomagal s projektom, ki je že bil izveden med reko Adda in Milanom. Ta projekt je omogočil povezavo Milana z Sredozemskim morjem. Menil je, da bi bila izgradnja kanala najcenejša in najhitrejša, če bi bil kanal čim bolj podoben dejanski obliki rečnega korita. Prav tako pa bi bili dosti manjši tudi stroški vzdrževanja. Vse te ocene stroškov gradnje, vzdrževanja in možnost zasluzka je natančno opisal in jih vključil v svoj projekt. Pri dimenzioniranju si je pomagal z empiričnim znanjem. S pomočjo naprave, ki jo je izumil (merilnik za hitrost vode – poglavje 9.3) je znal oceniti pretok. Zaradi svoje izredno dobre sposobnosti opazovanja je velikokrat pravilno sklepal o stvareh povezanih s hidravliko. Poleg že omenjenih interesov zaščite pred poplavami in namene kmetijstva je njegovo delo bilo pomembno tudi za vojaške namene. Za čas njegovega življenja sta bili mesti Pisa in Firenze v vojni. Po njegovi vrnitvi v Firenze je začel delati na projektu, ki bi reko Arno preusmeril in tako mestu Pisa prekinil oskrbo z vodo. Njegova naloga pri tem je bila ocena izvedljivosti projekta. Ta izredno velik projekt je dobil zeleno luč za začetek izgradnje. Vendar je celoten projekt propadel že po samo dveh mesecih, ko je nastopilo veliko deževje in z njim poplava, ki je zalila in uničila vse dotedanje delo. Stroški so bili enostavno previsoki, da bi lahko nadaljevali. Kljub temu, da je projekt propadel, je iz Leonardovih zapiskov razvidno, da je izredno veliko časa posvetil dimenzioniranju optimalne rešitve samega kanala, pristanišč in oceni stroškov. Na njegovo predanost projektu kažejo tudi njegove ilustracije mostov in malih pristanišč. Most je oblikoval tako, da dovoljuje ladjam plovbo pod njim. Pristanišča, ki so omogočala dvig ali spust ladij, so bila poznana že dlje časa, a Leonardo je še veliko prispeval k izboljšanju le-teh (slika 13). Izumil je tudi nov tip vrat za pristanišča, ki je na kratko opisan v poglavju 9.5. Omeniti je potrebno tudi, da se je zavedal pritiska, ki ga ustvarja voda na razne dele kanala, mostov in pristanišč. Na območjih z visokim pritiskom je planiral ojačitve (Pfister in sod., 2009).



Slika 13: Podrobna skica pristanišča in zapornic iz Leonardovih zapiskov. Kodeks Atlanticus. Avtorske pravice knjižnica Ambrosiana, avtentična št. Int. 59/08

9 LEONARDOVI IZUMI POVEZANI Z VODO

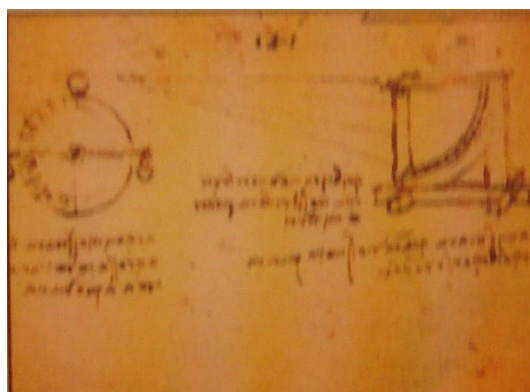
Iz vseh prejšnjih poglavij je razvidno, da je Leonardo znal izredno dobro opazovati stvari. Pri odkrivanju novih stvari in dokazovanju svojih idej si je pomagal z različnimi napravami, ki jih je izdelal sam. To so bile večinoma merilne naprave in naprave namenjene vojski. V njegovih zapiskih najdemo zelo veliko različnih izumov. Vendar pa je bilo iz njegovih načrtov in posledično izgradnje njegovih naprav v današnjem času ugotovljeno, da je Leonardo zaradi varovanja svojih patentov velikokrat namerno naredil napako, zaradi katere naprava ni delovala (Pfister in sod., 2009). Velika večina teh izumov ima vojaški namen ali pa je povezana z letenjem. V nadaljevanju je predstavljenih nekaj njegovih izumov oziroma naprav, ki so na nek način povezane z vodo.

9.1 Anemometer

Ta naprava je bila namenjena merjenju moči vetra. Na polkrožnem delu je bila merilna skala. Moč vetra je določil s pomočjo premične viseče ploščice, ki je delovala kot kazalec. Veter je visečo ploščico zanihal in s pomočjo merilne skale je bilo mogoče odčitati njegovo moč (slika 14 in 15).



Slika 14: Model anemometra, izdelan iz lesa in kovinske ploščice (foto: Rok Goltnik)



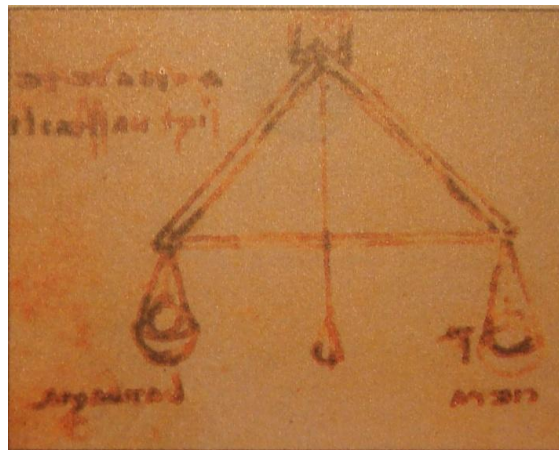
Slika 15: Skica anemometra iz Leonardovih zapiskov (foto: Rok Goltnik)

9.2 Hidrometer

Vemo, da je Leonardo za svoj čas zelo dobro poznal atmosfero. Menil je, da je zelo koristno, če poznamo vlažnost zraka in tako lahko napovemo, kdaj bo deževalo. V ta namen je izumil napravo za merjenje vlažnosti zraka (Pfister in sod., 2009). Poimenoval jo je voščeni hidrometer (slika 16 in 17). Naprava je bila sestavljena iz preproste tehtnice, ki ima na eni strani snov, ki absorbira vodo, na drugi strani pa enako težko snov, ki ne absorbira vode. Kot snov, ki absorbira vodo je uporabil bombaž. Za snov, ki ne absorbira vode pa je uporabil vosek. Kadar je zrak vlažen, bombaž absorbira vodo iz zraka in tako se tehtnica prevesi na stran, kjer je bombaž. Na začetku je stopnjo zračne vlage določal glede na razliko višin med bombažem in voskom, kasneje pa je tej napravi dodal še skalo za lažje beleženje rezultatov. Podoben princip uporabljajo ponekod še danes. Vendar namesto bombaža uporabljajo druge materiale (človeške lase, strune iz črev,...)



Slika 16: Model hidrometra, kakršnega je uporabljal Leonardo (foto: Rok Goltnik)



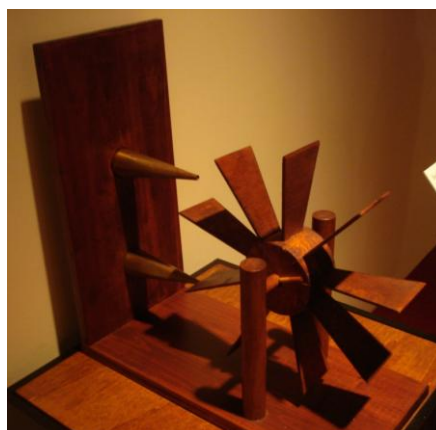
Slika 17: Skica hidrometra iz Leonardovih zapiskov (foto: Rok Goltnik)

9.3 Merilnik za hitrost vetra ali vode

S pomočjo te naprave je Leonardo preučeval moč vetra oziroma vode (slika 18 in 19). Zanimalo ga je, če sta moč vetra in vode enaki, ali to pomeni, da se bo pri večji količini vetra ali vode povečala tudi njuna moč. Pri tem eksperimentu je skozi stožca usmeril vir energije (voda ali veter), ki poganja lopatice propelerja, ta nato dviguje utež, pritrjeno na os propelerja. S pomočjo doseženih višin uteži je nato določal moč vetra. Osnovni plošči dveh stožcev sta v razmerju ena proti pet. Zaradi različnih velikosti stožcev je lahko pridobil rezultate, ki jih je nato primerjal med sabo. Spraševal se je, če prekinemo tok energije skozi večji stožec, kako visoko se bo dvignila utež in ali se bo utež zaradi razmerja stožcev ena proti pet dvignila za petkrat višje, če prekinemo tok skozi manjši stožec (Pfister in sod., 2009).



Slika 18: Skica merilnik hitrosti iz Leonardovih zapiskov (foto: Rok Goltnik)



Slika 19: Zgolj prikazuje izgled modela merilnika hitrosti (foto: Rok Goltnik)

9.4 Anemoskop

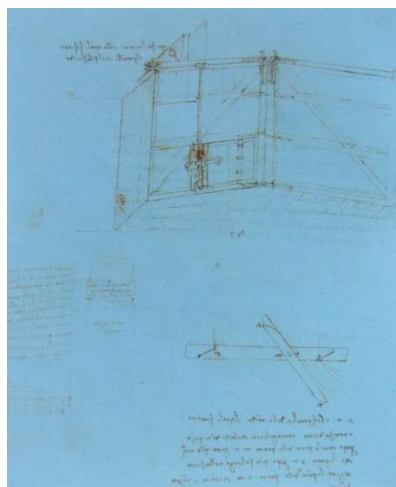
Anemoskop je Leonardo izumil med svojim preučevanjem letenja. Namenjen je bil določitvi smeri vetra. Pomagal pa mu je tudi pri preučevanju atmosfere oziroma gibanja oblakov. Zelo podobne instrumente za določitev smeri vetra uporabljamo še danes.

9.5 Vrata za pristanišča

Vrata za pristanišča so uporabljali že mnogo prej (Pfister in sod., 2009). Leonardo je s časom izumil nov tip vrat za pristanišča, s pomočjo katerih je bilo lažje upravljati in posledično tudi regulirati vtok in iztok iz pristanišč, ki so bila namenjena dviganju ali spuščanju ladij (slika 21).



Slika 20: Model anemoskopa (foto: Rok Goltnik)



Slika 21: Podrobna skica vrat za pristanišča iz Leonardovih zapiskov. Kodeks Atlanticus. Avtorske pravice knjižnica Ambrosiana, avtentična št. Int 59/08

9.6 Rešilni pas

Narejen je bil iz vodotesnega usnja in ga je bilo mogoče napolniti z zrakom.



Slika 22: Model rešilnega pasu (foto: Rok Goltnik)

9.7 Potapljaška obleka

Zamisel za potapljaško opremo (slika 23 in 24) je Leonardo dobil v času, ko je živel v Benetkah. V tistem času so bile Benetke oblegane z morja s strani Turkov. V ta namen je Leonardo takratnim oblastem v Benetkah posredoval idejo, kako lahko premagajo Turke. Njegova zamisel je bila, da bi s pomočjo potapljaških oblek na skrivaj prišli pod ladjeve Turkov (Da Vinci The Genius, 2013). V trupe ladij bi izvrtali luknje, da bi se ladje nato potopile. Oblastem se je načrt zdel popolnoma nemogoč in ga niso jemali resno. Pred nekaj leti so s pomočjo natančnih Leonardovih načrtov naredili in testirali njegovo potapljaško opremo in preverili ali bi bil njegov načrt izvedljiv. Iz načrtov je bilo razvidno, da se je zavedal, kako učinkuje voda na potopljena telesa. To je bilo vidno predvsem pri opisu detajla, kjer sta se stikali cevki za dovod zraka. Ta stik je bil pregiben in je bil zato izdelan iz vodotesnega usnja, v katerega je vstavil vzmet za zaščito pred vodnim pritiskom in tako omogočil neoviran pretok zraka. Potapljaška obleka je delovala, vendar kot je bilo za pričakovati, le za manjše globine. Zaradi razmeroma plitvega morja na območju Benetk bi tako lahko s pomočjo takšne potapljaške obleke dejansko prišli pod ladjeve Turkov (Pavlič, 2013).



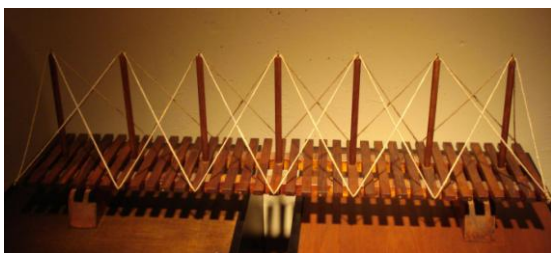
Slika 23: Model potapljaške opreme, ki zgolj prikazuje njen izgled in je drugače nefunkcionalen (foto: Rok Goltnik)



Slika 24: Skica dela potapljaške opreme, ki služi za dihanje pod vodo (foto: Rok Goltnik)

9.8 Mostovi

Večino mostov je Leonardo izumil za namen vojskovanja. Z njegovimi mostovi je bila vojska dosti bolj mobilna, saj so bili njegovi mostovi lahki za transport in hitri za postavitev in odstranitev. Na Norveškem so po Leonardovih skicah celo zgradili most za pešce (Pavlič, 2013). Nekateri so bili celo na kolesih. Na slika 25 je prikazan most, katerega bi naj vojaki zgradili s pomočjo vrvi in debel dreves iz bližnje okolice. Po uporabi bi ga podrli. Deloval je na principu napetosti in upora. Most na slika 26 pa se premika in postavlja s pomočjo kovinskih valjev, koles in škripecev.



Slika 25: Model visečega mostu (foto: Rok Goltnik)



Slika 26: Model vojaškega mostu za hitro in enostavno postavitve ter transport (foto: Rok Goltnik)

9.9 Podmornica

S kombinacijo znanj o uporabi telesa, hidrostatičnosti in hidrodinamike je Leonardo narisal prve skice podmornice (slika 27). Do zamisli o podmornici je prišel v času, ko je živel v Benetkah in so le-te oblegali Turki. Podmornica bi podobno kot potapljaška obleka služila za potopitev turškega ladjevja.



Slika 27: Pomanjšan model podmornice, narejen po skici iz Leonardovih zapiskov (foto: Rok Goltnik)

10 ZAKLJUČEK

Kot lahko vidimo, je Leonarda zanimalo veliko različnih področij povezanih z vodo. Zanimala so ga področja kot je erozija, struktura našega planeta in pojav fosilov v predelih visoko nad morjem, ki jih skoraj nihče pred njim ni povezoval s kroženjem vode. Za tako raznovrstna področja zanimanja so kriva predvsem pravilna vprašanja, ki si jih je zastavljal. Do teh vprašanj je prihajal verjetno zgolj zato, ker ga je tja vodila njegova radovednost, želja po odgovorih in razumevanju stvari, ne pa točno zastavljen cilj, za katerega bi bil časovno omejen, plačan in s tem prisiljen gledati zgolj v določeno smer.

Kot lahko vidimo iz predstavljenega, je na vseh področjih prihajal tako do pravilnih kot tudi do nepravilnih predpostavk. Dobro je poznal elemente atmosfere. Podal je razloge za njeno barvo in nekaj naravnih pojavov, ki nastajajo v njej. Poznal je pojave izhlapevanja in kondenzacije in ju pravilno povezal z nastankom oblakov in padavin, podal je pravilne predpostavke glede nastanka mavrice in barve atmosfere. Zavedal se je že pomembnosti vodnega in zračnega pritiska ter začel spoznavati pomembnost energije, ki jo oddaja Sonce. Pravilno je bilo tudi njegovo sklepanje o nastanku fosilov in obstoju podzemnih kanalov, po katerih se pretakajo dosti večje količine sladke vode, kot jo lahko vidimo na površju. Dobro je že poznal in opisal določene rečne sisteme. To je lahko preizkusil s pomočjo naprav, ki jih je izumil sam. Kljub vsem pravilnim predpostavkam pa ni naredil tiste ključne, ki bi povezala vse skupaj v vodni krog. Ravno pri rekah in njihovem pretoku je naletel na verjetno eno izmed ključnih ovir pri povezavi elementov vodnega kroga. Pri velikih rekah je prišel do spoznanja, da se količina vode od izvira do izliva povečuje. Ni pa verjel, da sta za količino vode v rekah glavna krivca infiltracija in padavine. Vedno znova je iskal načine, kako bi lahko takšne količine vode prišle iz morja do izvira. Podal je nekaj teorij, za katere je s časom opazil, da so nepravilne in jih kot takšne tudi ovrigel. Nepravilno je predpostavil tudi pojav plimovanja in razlog za slanost morja. Res, da je nekaj teorij o slanosti morja, ki so bila postavljene pred njim, dobro argumentiral in ovrigel, vendar je tudi sam na koncu podal napačno tezo. Lahko bi rekli, da sta za nekaj njegovih napačnih teorij krivi predpostavki, ki jih je prevzel od Platona. To je bila podobnost med človeškim telesom in Zemljo, ter da je vse sestavljeno iz štirih ključnih elementov. Dve izmed napačnih predpostavk, ki jih je prevzel sta bili, da je dihanje človeka povezal s plimovanjem in element ognja kot dodaten vir energije poleg Sonca. V predpostavko o podobnosti med človeškim telesom in Zemljo je začel dvomiti šele proti koncu svojega življenja.

Mogoče se nam danes zdi, da Leonardova pravilna sklepanja, odkritja in izumi na področju hidrologije niso pretirano velika, vendar se je potrebno zavedati, da nihče pred njim ni bil v taki meri blizu razlagi vodnega kroga. Na žalost pa njegova odkritja niso imela velikega vpliv na razvoj hidrologije, saj so se njegovih zapiski hitro po njegovi smrt izgubili. Šele na začetku 19. stoletja so se njegovi zapiski ponovno pojavili. Pri preučevanju le teh so se ljudje šele začeli zavedati, kakšen genij je bil. Kljub temu, da ni imel vpliva na razvoj hidrologije, ga lahko glede na obsežnost njegovih raziskav na tem področju razglasimo za prvega eksperimentalnega hidrologa.

VIRI

Uporabljeni viri:

Baldiri. 2008. Cairo Nilometer 2.

http://en.wikipedia.org/wiki/File:Cairo_Nilometer_2.jpg (Pridobljeno 15. 5. 2013.)

Bradshaw, C. 2002. Lunar Rainbow 3 - ORION L - Victoria Falls - Calvin Bradshaw 3.

http://en.wikipedia.org/wiki/File:Lunar_Rainbow_3_-_ORION_L_-_Victoria_Falls_-_Calvin_Bradshaw_3.jpg (Pridobljeno 15. 5. 2013.)

Brilly, M., Šraj, M. 2005. Osnove hidrologije. Univerzitetni učbenik, 1. izdaja. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 309 str.

Eastland, J. 2011. Spooky Rainbow. Kalifornija.

http://en.wikipedia.org/wiki/File:Spooky_Rainbow.jpg (Pridobljeno 15. 5. 2013.)

Fisher, D. 2011. Why is the sky blue?.

<http://spaceplace.nasa.gov/blue-sky/> (Pridobljeno 1. 3. 2013.)

Gibbs, P. 1997. Why is the sky blue?.

http://math.ucr.edu/home/baez/physics/General/BlueSky/blue_sky.html (Pridobljeno 1. 3. 2013.)

Helmenstine, A.M. 2004. Why is the ocean salty?.

<http://chemistry.about.com/od/waterchemistry/f/why-is-the-ocean-salty.htm> (Pridobljeno: 28. 10. 2012.)

Hubbart, A. J., Pidwirny, M. 2010. Hydrologic cycle. V: Panikkar A.K. (ur.). The Encyclopedia of Earth.

http://www.eoearth.org/article/Hydrologic_cycle (Pridobljeno 12. 5. 2013.)

Kralj, J. 2004. Atmosfera. Seminarska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba J. Kralj): 13 str.

<http://www.e-fizika.si/seminarji/atmosfera/atmosfera.pdf> (Pridobljeno 13. 2. 2013.)

Mason, J. 2009. Talking Philosophy. Macrocosm – Microcosm. The Philosophers' Magazine Blog, objavljeno 11. 12. 2009.

<http://blog.talkingphilosophy.com/?p=1492> (Pridobljeno 13. 3. 2013.)

Pavlič, M. (ur.). 2013. Da Vinci. Genialni um, 1. natis. Ljubljana, Tehniška založba Slovenije d.d.: 45 str.

Perlman, H. 2005. The water cycle: The Oceans. The ocean as a storehouse of water. U.S. Geological Survey.

<http://ga.water.usgs.gov/edu/watercycleoceans.html> (Pridobljeno 12. 5. 2013.)

Perlman, H. 2005. The water cycle: The Oceans. The ocean as a storehouse of water. U.S. Geological Survey.

<http://ga.water.usgs.gov/edu/whyoceansalty.html> (Pridobljeno 28. 10. 2012.)

Pfister, L., Savenije, G., Fenicia, F. 2009. Leonardo Da Vinci`s Water Theory. On the origin and fate of water. British Library Cataloguing-in-Publication Data. International Association of Hydrological Sciences: 92 str.

Reynolds, R. 2004. Vremenski vodnik, 1. natis. Ljubljana, Tehniška založba Slovenije d.d.: 192 str.

Sedej, M. 1997. Mavrica. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo.

<http://www.e-fizika.si/seminarji/mavrica/mavrica.html> (Pridobljeno 28. 2. 2013.)

Swenson, H.A. 1993. Why is the Ocean Salty?. San Marcos, Palomar college, U.S. Department of the Interior, Geological Survey.

http://www.palomar.edu/oceanography/salty_ocean.htm (Pridobljeno 28. 10. 2012.)

Vilfan, M., Zupan, J. 2006. Plimovanje. Kvarkadabra blog.

<http://www.kvarkadabra.net/vprasanja/teksti/plimovanje.htm> (Pridobljeno 4. 2. 2013.)

Ostali viri:

Da Vinci The Genius, 2013. Razstava (15. 2. 2013 – 30. 9. 2013). Gospodarsko razstavišče, Ljubljana. Osebna komunikacija. (5. 3. 2013).