

BIOLOGIJA CELICE IN GENETIKA



Peter Stušek, Barbara Vilhar

BIOLOGIJA CELICE IN GENETIKA

Učbenik za biologijo v programih gimnazijskega izobraževanja

Avtorja dr. Peter Stušek in dr. Barbara Vilhar

Strokovni sodelavec dr. Peter Dovč

Ilustracije Erika Omerzel Vujić, računalniške risbe Mojca Lampe Kajtna in Barbara Vilhar

Fotografije Barbara Vilhar, Aleš Kladnik, Wikipedia, arhiv DZS

Strokovni pregled dr. Mateja Kreft Erdani, Erika Jarič, prof. biol.

Jezikovni pregled Jelka Makoter, prof. slov.

Korekture Jasna Berčon

Strokovni svet RS za splošno izobraževanje je na svoji 134. dopisni seji dne 7.-14. 7. 2010 na podlagi 25. člena Zakona o organizaciji in financiranju vzgoje in izobraževanja (Uradni list RS, št. 16/07 – UPB, 36/08, 58/09, 64/09 in 65/09) in 15. člena Pravilnika o potrjevanju učbenikov (Ur. l. RS, št. 57/06) ter Pravilnika o spremembah in dopolnitvah Pravilnika o potrjevanju učbenikov (Ur. l. RS, št. 45/2010) sprejel sklep št. 06130-1/2010/175 o potrditvi učbenika BIOLOGIJA CELICE IN GENETIKA za poučevanje biologije v 1. letniku gimnazijskih programov izobraževanja.

Urednica Tamara Mušinović Zadravec

Likovno-grafična urednica Meta Škrabar

Oprema Alma Urbanija

Glavna urednica Tanja Železnik

Izvršna direktorica Divizije založništva Ada de Costa Petan

© DZS, založništvo in trgovina d. d., (2010). Vse pravice pridržane.

Brez pisnega dovoljenja Založbe je prepovedano reproduciranje, distribuiranje, dajanje v najem, javna priobčitev, dajanje na voljo javnosti (internet), predelava ali vsaka druga uporaba tega avtorskega dela ali njegovih delov v kakršnemkoli obsegu ali postopku, vključno s fotokopiranjem, tiskanjem ali shranitvijo v elektronski obliki.

Odstranitev tega podatka je kazniva.



znanje uresničuje sanje

DZS, d. d., DIVIZIJA ZALOŽNIŠTEV

IZOBRAŽEVALNO ZALOŽNIŠTVO

<http://www.dzs.si>

e-pošta: info.narocila@dzs.si

tel. št.: 01/ 306 98 79



<http://vedez.dzs.si>

CIP

VSEBINSKO KAZALO

UVOD V BIOLOGIJO

1 BIOLOGIJA JE ZNANOST O ŽIVLJENJU	1
1.1 Biologija je raziskovanje življenja	4
1.2 Biološki koncepti so temelj za razumevanje biologije	5
Celica je osnovna enota živega	8
Dedna informacija je zapisana v molekulah DNA	8
Živi sistemi so organizirani hierarhično	9
Zgradba živih sistemov je povezana z njihovim delovanjem	10
Organizmi potrebujejo vir snovi in vir energije	10
Organizmi so povezani s svojim okoljem	11
Delovanje živih sistemov je uravnvano	12
Organizmi so zelo raznoliki, vendar imajo mnogo skupnih značilnosti	13
1.3 Evolucija je osrednji koncept v biologiji	13
1.4 Biologija je naravoslovna znanost	16
Znanost je sistematično postavljanje razlag o naravnih pojavih	16
Znanstveniki uporabljajo znanstveni pristop k reševanju problemov	17
Eden od načinov za preverjanje veljavnosti hipoteze je izvedba nadzorovanega poskusa	21
Znanstveniki javno objavljajo rezultate svojih raziskav	23
Znanost napreduje postopno	23
Pri raziskovanju življenja včasih ni mogoče opraviti nadzorovanega poskusa	27
Biološko znanje je pomembno za osebne in družbene odločitve	29

ZGRADBA IN DELOVANJE CELICE

2 MOLEKULE ŽIVLJENJA	32
2.1 Organizmi so zgrajeni iz snovi	35
2.2 Voda je bistvenega pomena za življenje na Zemlji	36
Vodne molekule so med seboj povezane z vodikovimi vezmi	36
Voda je življenjsko pomembno topilo	37
Voda je tudi na druge načine povezana z vzdrževanjem življenja na Zemlji	40
2.3 Glavna značilnost organskih molekul je ogljikovo ogrodje	41
Velike organske molekule se izgradijo iz manjših molekul	42
2.4 Ogljikovi hidrati so vir energije in gradbeni elementi	44
Enostavni sladkorji so najpreprostejši ogljikovi hidrati	44
Sestavljeni sladkorji vsebujejo več enostavnih sladkorjev	45
2.5 Lipidi so raznolika skupina hidrofobnih snovi	50
Maščobe so dolgoročna zaloga energije	50
Molekule fosfolipidov se v vodi samodejno uredijo v dvosloj	52
Steroidi vsebujejo štiri ogljikove obročje	54
2.6 Beljakovine opravljajo večino nalog, pomembnih za vzdrževanje življenja	56
Beljakovine so polimeri aminokislin	56
Za delovanje beljakovine je pomembna njena prostorska oblika in lastnosti njene površine	57
2.7 Nukleinske kisline vsebujejo informacijo	64
V nukleinskih kislinah je dedna informacija zapisana s kombinacijami štirih nukleotidov	64
3 VSE CELICE IMAJO SKUPNE LASTNOSTI	76
3.1 Raziskovanje celic se je začelo z odkritjem mikroskopa	78
3.2 Vse celice imajo skupnega evolucijskega prednika	86

3.3	Celice potrebujejo energijo za opravljanje celičnega dela	87
	Energija se lahko pretvarja iz ene oblike v drugo	87
	Med vsako pretvorbo energije se del energije pretvori v toploto	88
	Celično delo poganja kemijska energija, ki je shranjena v organskih molekulah	89
	Pri kemijskih reakcijah se lahko kemijska energija sprošča ali veže	90
	Molekule ATP po celici prenašajo energijo, ki poganja celično delo	91
3.4	Encimi pospešujejo kemijske reakcije v celici	96
	Za začetek kemijske reakcije je potrebna aktivacijska energija	96
	Encimi pospešujejo kemijske reakcije z zmanjšanjem aktivacijske energije	98
	Razmere v celici vplivajo na hitrost encimskih reakcij	100
	Encimske reakcije so med seboj povezane v presnovno mrežo, katere delovanje je uravnava	103
3.5	Biotska membrana omogoča izbirno izmenjavo snovi med celico in njenim okoljem	108
	Fosfolipidni dvosloj je izbirno prepusten	108
	Biotska membrana vsebuje beljakovine, vstavljene v fosfolipidni dvosloj	109
	Z difuzijo se snovi prenašajo v smeri padajočega koncentracijskega gradienta	113
	Pri prenosu snovi skozi membrano sodelujejo membranske beljakovine	115
	Membranske beljakovine poleg prenosa snovi opravljajo tudi druge naloge	117
3.6	Celica izgradi beljakovine na temelju dedne informacije, zapisane v molekuli DNA	119
	Informacijo lahko zapišemo s kodom	119
	Načrt za zgradbo beljakovin je zapisan v DNA	121
	Vsaka aminokislina je v DNA zapisana kot trojček nukleotidov	123
	Med prepisovanjem se informacija prenese iz DNA v mRNA	126
	Med prevajanjem se informacija prenese iz mRNA v beljakovino	127
4	VSI ORGANIZMI SO ZGRAJENI IZ CELIC	137
4.1	Glavna tipa celic sta prokariontska in evkariontska celica	138
4.2	Prokariontska celica je evolucijsko izvorni tip celice	140
4.3	Evkariontska celica je z membrano razdeljena na več razdelkov, ki opravljajo različne naloge	141
	Celična membrana uravnava izmenjavo snovi med celico in okoljem	143
	V jedru je shranjena dedna informacija	144
	V citosolu je velika molekulska gneča	147
	V sistemu notranjih membran se izgrajujejo različne snovi	148
	Celično ogrodje je zgrajeno iz nitastih struktur, ki opravljajo različne naloge	151
	Rastlinska celica ima celično steno, ki vsebuje celulozo, in vakuolo	152
	V kloroplastu in v mitohondriju potekajo pretvorbe energije	155
	Evkariontske celice imajo veliko skupnih značilnosti	158
	Evkariontska celica se je razvila iz prokariontske	159
	Razdelitev celice na območja, ločena z membrano, omogoča večjo učinkovitost delovanja celice	165
4.4	Virusi niso celice	167
5	CELICE NASTAJAJO IZ CELIC	172
5.1	Pri celični delitvi iz ene celice nastaneta dve	172
	Pred celično delitvijo se molekule DNA podvojijo	174
5.2	Delitev prokariontske celice je cepitev	178
5.3	Delitev evkariontske celice je bolj zapletena	179
	Med delitvijo evkariontske celice se molekule DNA tesno spakirajo	179
	Mitoza je delitev evkariontske celice, pri kateri nastaneta dve genetsko enaki celici	181

6 CELICA DELUJE KOT CELOVIT, URAVNAVAN SISTEM	190
6.1 Celična delitev je uravnavan proces	191
Celice, ki se delijo, napredujejo po stopnjah celičnega cikla	191
Rakave celice se nenadzorovano delijo	193
6.2 Izražanje genov je uravnavano	196
Pri večceličnih organizmih izbirno izražanje genov omogoča nastajanje različnih celičnih tipov	196
Prepisovanje gena v mRNA uravnava posebne beljakovine	199
6.3 Celica se odziva na različna sporočila	203
6.4 Človek izkorišča sposobnost celic za delitev in diferenciacijo pri kloniranju rastlin in živali	206
7 PRESNOVNI PROCESI CELICO OSKRBUJEJO Z ENERGIJO IN SNOVMI	213
7.1 Celice sproščajo energijo iz organskih snovi za izgradnjo ATP.	214
Razgradnja organskih molekul z uporabo kisika je energijsko zelo učinkovita	215
ATP-sintaza za izgradnjo ATP uporablja koncentracijski gradient protonov, ki ga ustvarjajo membranski prenašalci elektronov	221
Pri razgradnji organskih snovi brez uporabe kisika se sprosti malo energije	224
Celice mnogih aerobnih organizmov morajo biti neprestano preskrbljene s kisikom	227
7.2 Organizmi neprestano izgrajujejo in razgrajujejo organske snovi	230
Celice uporabljajo različne organske molekule kot gorivo za celično dihanje	230
Celice uporabljajo različne organske molekule kot surovino za izgradnjo lastnih snovi	231
7.3 Pri fotosintezi se svetlobna energija pretvarja v kemijsko energijo organskih snovi	236
Za fotosintezo je potrebna svetlobna energija	237
Za izgradnjo glukoze iz ogljikovega dioksida sta potrebna energija in vir vodika	243
Rastlinske celice sladkorje, ki nastanejo med fotosintezo, porabijo za gorivo, surovino in zalogo	248
7.4 Vsi organizmi potrebujejo vir energije in vir ogljika	252
Organizmi se razlikujejo po načinu oskrbe z energijo in ogljikom	252
Skozi ekosistem se energija pretaka, snovi pa v njem krožijo	254
GENI IN DEDOVANJE	
8 ORGANIZMI DEDUJEJO MNOGE LASTNOSTI	259
8.1 Dedne lastnosti določajo geni	260
Genom je zbir vse dedne informacije organizma, zapisane v molekulah DNA	261
Vsak gen se nahaja na določenem mestu v genomu	265
Fenotipska lastnost organizma je odvisna od njegovega genotipa	269
8.2 Mutacije so spremembe zaporedja nukleotidov v molekulah DNA	274
Točkovna mutacija je sprememba enega nukleotida v molekuli DNA	274
V redkih primerih imajo točkovne mutacije velike posledice za delovanje organizma	275
Kromosomska mutacija je sprememba zgradbe ali števila kromosomov	280
Mutacije nastajajo spontano ali zaradi mutagenih dejavnikov	284
8.3 Pri spolnem razmnoževanju se izmenjujeta mejoza in oploditev	287
Pri nespolnem razmnoževanju nastanejo genetsko enaki potomci, pri spolnem razmnoževanju pa genetsko različni potomci	287
Skozi generacije se število kromosomov ohranja	288
Pri mejozi iz ene diploidne celice nastanejo štiri haploidne celice	290
Štiri haploidne celice, ki nastanejo z mejozo, so genetsko različne	293
8.4 Pri spolnem razmnoževanju potomec od vsakega od staršev podeduje po en izvod vsakega gena	298

Geni se dedujejo kot nedeljive enote	299
Deleži potomcev z različnimi genotipi in fenotipi so povezani z zakoni verjetnosti	304
Pri spolnem razmnoževanju nastajajo nove kombinacije alelov in fenotipskih lastnosti	310
Genetska raznolikost potomcev je pomembna za preživetje vrste	312
8.5 Dedovanje lastnosti pri človeku lahko prikažemo z rodovnikom	314
V rodovniku se kaže način dedovanja določene lastnosti	316
Nekatere lastnosti se dedujejo na spolnih kromosomih	317
8.6 Na izražanje lastnosti vplivajo kombinacije genov in okolje	321
Pri nepopolni dominanci obstajajo vmesna stanja fenotipske lastnosti	321
Mnogi geni imajo več kot dva alela	323
Večino fenotipskih lastnosti določa več genov hkrati	325
Na lastnosti organizma vpliva tudi okolje	331
9 ČLOVEK UPORABLJA ZNANJE GENETIKE ZA ZADOVOLJEVANJE SVOJIH POTREB	336
9.1 Človek spreminja genome organizmov	337
Človek spreminja genome organizmov z umetnim izborom, križanjem in genskim inženirstvom	337
Vnos tujega gena v celico omogočajo encimi, ki režejo in spajajo molekule DNA	338
Gensko spremenjene rastline so novost v poljedelstvu	346
9.2 Z analizo DNA lahko določimo genetski profil osebe	349
Z gelsko elektroforezo ločimo molekule DNA po velikosti	349
Osebe lahko identificiramo na temelju razlik v posameznih nukleotidih v DNA	350
Genetski profil lahko prikazuje razlike v ponavljajočih se zaporedjih v DNA	352
9.3 Uporaba novih tehnologij prinaša možna tveganja in nove etične probleme	356
Uporaba kloniranja, matičnih celic in umetne oploditve odpira etična vprašanja	356
Genetski podatki o posameznikih so osebni podatki, do katerih mora biti dostop omejen	358
Nove tehnologije in gene je mogoče zaščititi s patenti	359
Uvajanje novih tehnologij zahteva presojo o pričakovanih koristih in možnih tveganjih	359
9.4 Človek ni robot pod oblastjo genov	360
10 DODATEK ZA MATURO	366
10.1 Pri podvojevanju DNA sodelujejo mnogi encimi	366
10.2 Pri evkariontih se med celično diferenciacijo zaporedno izražajo različni geni	373
10.3 Geni evkariontov vsebujejo introne	376
10.4 Pri bakterijah ima več zaporednih genov en promotor	380
10.5 Geni, ki ležijo na istem kromosomu, se dedujejo vezano	384

POVEZAVA Z EVOLUCIJO

1 BIOLOGIJA JE ZNANOST O ŽIVLJENJU	1
E 1.1 Ali je evolucija »le teorija«?	27
2 MOLEKULE ŽIVLJENJA	32
E 2.1 Raztapljanje kamnin in nastanek življenja	38
E 2.2 Samodejno urejanje fosfolipidov v dvosloj je bilo pomembno za nastanek življenja	54
3 VSE CELICE IMAJO SKUPNE LASTNOSTI	76
E 3.1 Skupni prednik vseh organizmov	86
E 3.2 ATP – pradačni izum evolucije	94
E 3.3 Temeljni presnovni procesi so skupna značilnost vseh organizmov	104
E 3.4 Kako so nastale zapletene presnovne poti?	106
E 3.5 Genetski kod je enak pri vseh organizmih	125
4 VSI ORGANIZMI SO ZGRAJENI IZ CELIC	137
E 4.1 Drevo življenja ima zraščene veje	161
5 CELICE NASTAJAJO IZ CELIC	185
E 5.1 Mitoza poteka podobno pri vseh evkariontih	185
7 PRESNOVNI PROCESI CELICO OSKRBUJEJO Z ENERGIJO IN SNOVMI	185
E 7.1 Glikoliza – pradačni presnovni proces	227
E 7.2 Fotosinteza je evolucijsko izvirnejša od celičnega dihanja	245
8 ORGANIZMI DEDUJEJO MNOGE LASTNOSTI	185
E 8.1 DNA in beljakovine kot merilo za evolucijsko sorodnost med vrstami	279

RAZISKOVANJE ŽIVLJENJA

1 BIOLOGIJA JE ZNANOST O ŽIVLJENJU	1
R 1.1 Charles Darwin in drevo življenja	15
2 MOLEKULE ŽIVLJENJA	23
R 2.1 Carl Sagan in znanstveni način dela	34
R 2.2 Linus Pauling in tridimenzionalna zgradba beljakovin	62
R 2.3 Zgradba molekule DNA – veliko odkritje biologije 20. stoletja	68
R 2.4 Frederick Sanger in odkrivanje skrivnosti polimerov	71
3 VSE CELICE IMAJO SKUPNE LASTNOSTI	76
R 3.1 Robert Hooke – britanski Leonardo	80
R 3.2 Ernst Ruska in elektronski mikroskop	84
R 3.3 Povezava med geni in beljakovinami	123
R 3.4 Dešifriranje genetskega koda	126
4 VSI ORGANIZMI SO ZGRAJENI IZ CELIC	137
R 4.1 Lynn Margulis in planet sožitij	164
6 CELICA DELUJE KOT CELOVIT, URAVNAVAN SISTEM	175
R 6.1 Uravnavanje celičnega cikla	195
7 PRESNOVNI PROCESI CELICO OSKRBUJEJO Z ENERGIJO IN SNOVMI	213
R 7.1 Hans Krebs in razgradnja organskih snovi v mitohondriju	220
R 7.2 Engelmannov briljantni poskus o barvah svetlobe, ki se uporabljajo za fotosintezo	241
R 7.3 Melvin Calvin in vezava anorganskega ogljika v organske spojine	245
8 ORGANIZMI DEDUJEJO MNOGE LASTNOSTI	259
R 8.1 Ugotavljanje zaporedja nukleotidov v celotnih genomih	264
R 8.2 Gregor Mendel – prezrti znanstvenik, ki še danes navdihuje	308
R 8.3 Barbara McClintock in skakajoči geni	328
9 ČLOVEK UPORABLJA ZNANJE GENETIKE ZA ZADOVOLJEVANJE SVOJIH POTREB	336
R 9.1 »Umetna« celica, ki vsebuje le nujno potrebne gene	343
R 9.2 Zlati riž	347
R 9.3 Genetski profili živali	354
10 ZGRADBA IN DELOVANJE CELICE (MATURA)	366
R 10.1 Odkrivanje načina podvojevanja molekul DNA	370

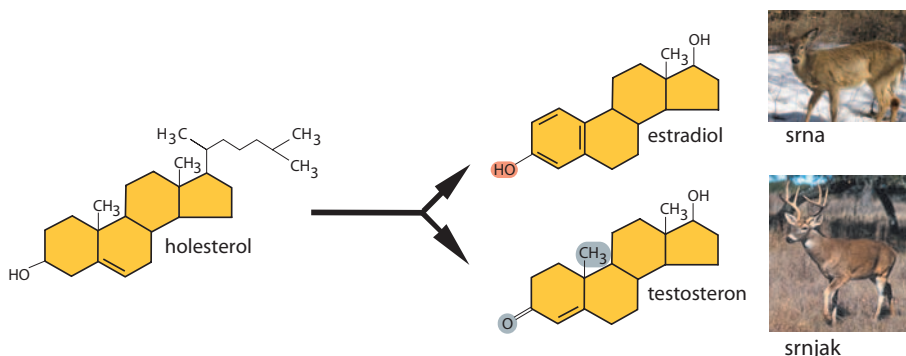
ZANIMIVOSTI

- 1 BIOLOGIJA JE ZNANOST O ŽIVLJENJU**
O rastočem pomenu biološkega znanja
- 2 MOLEKULE ŽIVLJENJA**
V človekovem telesu se ogljikovi hidrati shranjujejo kot glikogen
V človekovem prebavilu se škrob razgradi, celuloza pa ne
Tekoče olje in trdna margarina
Maščobe in glikogen kot zaloga energije
Steroidi in doping
Rastline same izgradijo vseh dvajset aminokislin, živali pa ne
Beljakovine v pajkovi mreži
Dvojna vijačnica – ikona 20. stoletja
- 3 VSE CELICE IMAJO SKUPNE LASTNOSTI**
Ali je svetlobni mikroskop stara krama na smetišču zgodovine?
Richard Feynman o lepoti sveta skozi oči naravoslovca
Obnavljanje ATP poteka zelo hitro
Kaj pomeni beseda »hitro« v svetu molekul?
Encimski zaviralci v vsakdanjem življenju
Biologija sistemov – novo področje biologije
Biotska membrana je tekoči mozaik
Biotska membrana je prožna
Ribosom je zapleten molekularni strojček
Ricin – strup, ki onemogoči ribosome
- 4 VSI ORGANIZMI SO ZGRAJENI IZ CELIC**
Nekateri antibiotiki uničijo bakterijske in človeške celice
- 5 CELICE NASTAJAJO IZ CELIC**
Molekularni strojček za podvojevanje DNA je zelo zapleten, zelo hiter in zelo natančen
Skrivnostni mehanizem vleka molekule DNA proti polu celice
- 6 CELICA DELUJE KOT CELOVIT, URAVNAVAN SISTEM**
Snovi, ki motijo celično delitev, lahko uporabimo kot zdravilo za raka
Plastid lahko opravlja različne naloge v rastlinski celici
Celica ima različne ojačevalne sisteme
- 7 PRESNOVNI PROCESI CELICO OSKRBUJEJO Z ENERGIJO IN SNOVMI**
Človekovo telo izdelava koencime prenašalcev vodika iz vitaminov
Nekateri hudi strupi onemogočajo potek celičnega dihanja
Uporaba vrenja pri predelavi živil
Nekateri prokarioti za izgradnjo ATP uporabljajo nenavadne poti
Zakaj organizmi ne shranjujejo molekul ATP?
- 8 ORGANIZMI DEDUJEJO MNOGE LASTNOSTI**
Kromosomi človeka in šimpanza
UV-sevanje povzroča spremembe v molekulah DNA
Gen Sry in določitev spola
Nepopolna dominanca pri človeku
Nenavadni dvojčki
- 9 ČLOVEK UPORABLJA ZNANJE GENETIKE ZA ZADOVOLJEVANJE SVOJIH POTREB**
Bakterije, ki izdelujejo človeški inzulin
Genska terapija – zdravljenje z gensko spremenjenimi celicami
Identifikacija žrtev terorističnega napada
Pradavni prednik
Ne kradi tuje DNA
- 10 DODATEK ZA MATURO**
Zaradi različnega izrezovanja intronov lahko en gen proizvaja več različnih beljakovin

Zasnova učbenika

Pri učenju uporabljaj besedilo in slike.

Vsi steroidi vsebujejo štiri ogljikove obročje (slika 2.19). Eden od pomembnih steroidov je holesterol, ki je pri živalih, tudi pri človeku, sestavina celične membrane. Holesterol je tudi izhodna spojina, iz katere v telesu vretenčarjev, tudi človeka, nastajajo spolni hormoni, kot sta estradiol in testosteron.



Slika 2.19: Primeri steroidov. Vsi steroidi vsebujejo štiri ogljikove obročje, ki so prikazani poenostavljeno. Različni steroidi imajo na te štiri obročje vezane različne stranske skupine. Steroidi imajo v organizmih različne vloge. Holesterol je denimo sestavina celične membrane, iz njega pa organizmi izdelajo tudi druge steroide, recimo ženski spolni hormon estradiol in moški spolni hormon testosteron.

Besedilo je ilustrirano s slikami, kar ti bo pomagalo ustvariti lastno predstavo o bioloških pojavih. V besedilu so označeni sklici na ustrezne slike. Običajno je pod sliko še kratko pojasnilo o vsebini slike.

Uporabi prvo stran poglavja kot vodnik za učenje.

Glavni koncepti

- 1.1 Biologija je raziskovanje življenja
- 1.2 Biološki koncepti so temelj za razumevanje biologije
Celica je osnovna enota živega

Na začetku vsakega poglavja je seznam glavnih konceptov, ki jih to poglavje obravnava. Ta seznam hkrati ustreza naslovom podpoglavij v poglavju – v poglavju boš tako postopno spoznaval-a te koncepte.

Ugotovi, kako je biologija povezana z našim osebnim in družbenim življenjem.

Biologija in družba

Encimi – molekularni delavci iz celic v službi sodobnega človeka

Sredi 19. stoletja je francoski znanstvenik Louis Pasteur (1822–1895) preučeval pretvarjanje sladkorja v alkohol s pomočjo gliv kvasovk. Na temelju poskusov je zaključil, da je sposobnost za spreminjanje sladkorja v alkohol posebna značilnost živih celic kvasovk. Konec 19. stoletja pa je nemški znanstvenik Eduard Buchner (1860–1917) odkril, da sladkor pretvarjajo

Uvod v vsako poglavje je rubrika Biologija in družba, v kateri je prikazan pomen biološkega znanja pri reševanju širših problemov. Povezave med biološkim znanjem in vsakdanjim življenjem so ponekod navedene tudi v glavnem besedilu in v rubriki Zanimivosti.

Poveži biološke koncepte z evolucijo.

Povezava z evolucijo

Skupni prednik vseh organizmov

Kako je mogoče, da so si vse celice tako podobne? Prve preproste celice so nastale pred več kot 3,5 milijardami let. S celičnimi delitvami so nastajale nove generacije celic. Nekatere nove celice so bile zelo podobne celicam, iz katerih so z delitvijo nastale. Druge pa so se od svoje starševske celice nekoliko razlikovale. Tako

Rubrika Povezava z evolucijo prikazuje, da je evolucija rdeča nit, ki biologijo povezuje v celoto. To ti bo pomagalo, da boš biologijo razumel-a kot povezano preučevanje spreminjajočega se življenja na spreminjajočem se planetu in ne kot zbirko dejstev, ki se jih je treba naučiti na pamet.

Razišči, kako znanstveniki rešujejo biološka vprašanja.

Raziskovanje življenja

Robert Hooke – britanski Leonardo

Britanski naravoslovec Robert Hooke (1635–1703), ki je bil sodobnik Isaaca Newtona (1642–1727), velja za enega največjih izumiteljev svojega obdobja, z izjemnim darom za mehaniko. Zaradi širine in obsega njegovega dela mu Britanci pravijo kar britanski Leonardo.

V rubriki Raziskovanje življenja so opisana nekatera velika odkritja iz zgodovine biologije in iz sodobne biologije. Primeri prikazujejo, kako deluje znanost.

Uporabi novo znanje za razumevanje zanimivosti iz sveta biologije.

Zanimivost

V človekovem telesu se ogljikovi hidrati shranjujejo kot glikogen

Izraz glikogen izvira iz grških besed *glycos* – sladko in *gen* – nastati. Beseda glikogen torej skriva nekaj, kar postane sladko. Pri človeku se zaužiti ogljikovi hidrati (na primer škrob in celuloza) v prebavilu razgradijo v monosaharide. Monosaharidi s krvjo potujejo do jeter, kjer vstopijo v jetrne celice in se povežejo v polisaharid glikogen, ki

Zgodbe v rubriki Zanimivosti prikazujejo uporabo biološkega znanja v našem vsakdanjem življenju in dopolnjujejo znanje, ki ga boš pridobil-a v vsakem poglavju.

Sproti preveri nadgrajevanje svojega znanja.

Preveri, kaj znaš

1. Kaj je glavna razlika med količinskimi in opisnimi podatki?
2. Zakaj Redijev poskus o spontanem nastanku življenja uvrščamo med nadzorovane poskuse?

Na koncu vsakega podpoglavja so vprašanja, ki ti bodo pomagala spremljati tvoj napredek pri razumevanju biologije.

Ponovi in poveži znanje na koncu vsakega poglavja.

Povzetek glavnih konceptov

Biologija: Biologija je naravoslovna znanost, ki preučuje razvoj, zgradbo in delovanje živih sistemov in njihovo medsebojno povezanost.

V povzetku na koncu poglavja so zbrani glavni koncepti, ki jih poglavje obravnava.

Ponovi in poveži

1. Kaj je cilj naravoslovne znanosti?
2. Zakaj ni pravilno, da znanost opišemo kot zbirko dejstev?
3. Opiši postopek znanstvenega reševanja problema, ki temelji na preverjanju veljavnosti hipoteze.

Vprašanja na koncu poglavja so namenjena ponavljanju in povezovanju znanja.

Spoznaj nove besede.

IZVOR BESEDE

Biologija: grško *bios* – življenje, *logos* – beseda, misel

Hipoteza: grško *hipo* – pod (spodaj), *tithenai* – postaviti; temelj, predlog

Teorija: grško *theoria* – gledanje nečesa, opazovanje, preudarjanje

SLOVENSKE BESEDE IN TUJKE

količinski podatki – kvantitativni podatki

opisni podatki – kvalitativni podatki

Na koncu poglavja je predstavljen izvor nekaterih novih besed, ki ti lahko pomaga pri učenju te besede. Navedene so tudi nekatere tujke, ki jih pogosto najdemo v učbenikih in drugih virih.

Poišči definicije besed, ki jih ne poznaš.

V Slovarčku na koncu knjige so zbrane definicije pomembnih strokovnih izrazov v biologiji. Uporabi Slovarček, kadar ne razumeš pomena katere strokovne besede.

Uporabi besedno kazalo za iskanje ustreznega besedila.

V Besednem kazalu so nanizane ključne besede in številke strani, na katerih je razlaga o teh besedah.

Dopolni svoje znanje z gradivom na spletnih straneh.

Na spletnih straneh <http://vedez.dzs.si/bio-gim> je zbrano gradivo, ki dopolnjuje učbenik. To gradivo se pogosto dopolnjuje, zato večkrat obišči spletne strani.

Dodatek za maturo

V dodatku na koncu učbenika so predstavljene nekatere teme, ki so uvrščene v maturitetni program.





Tema 1

UVOD V BIOLOGIJO

1 Biologija je znanost o življenju

Glavni koncepti

1.1 Biologija je raziskovanje življenja

1.2 Biološki koncepti so temelj za razumevanje biologije

Celica je osnovna enota živega

Dedna informacija je zapisana v molekulah DNA

Živi sistemi so organizirani hierarhično

Zgradba živih sistemov je povezana z njihovim delovanjem

Organizmi potrebujejo vir snovi in vir energije

Organizmi so povezani s svojim okoljem

Delovanje živih sistemov je uravnvano

Organizmi so zelo raznoliki, vendar imajo mnogo skupnih značilnosti

1.3 Evolucija je osrednji koncept v biologiji

1.4 Biologija je naravoslovna znanost

Znanost je sistematično postavljanje razlag o naravnih pojavih

Znanstveniki uporabljajo znanstveni pristop k reševanju problemov

Eden od načinov za preverjanje veljavnosti hipoteze je izvedba nadzorovanega poskusa

Znanstveniki javno objavljajo rezultate svojih raziskav

Znanost napreduje postopno

Pri raziskovanju življenja včasih ni mogoče opraviti nadzorovanega poskusa

Biološko znanje je pomembno za osebne in družbene odločitve

Biologija in družba

Živimo v zlati dobi biologije

Živimo v zlati dobi biologije. Največja in najbolj opremljena skupnost znanstvenikov v vsej zgodovini človeštva začena reševati uganke o življenju, ki so se še nedavno zdele nerešljive. Vse bolj razumemo, kako se lahko iz ene same celice razvije žival ali rastlina, kako rastline sprejmejo svetlobno energijo in jo shranijo v organskih molekulah, kako so organizmi v ekosistemih, kot sta gozd in morje, na zapletene načine medsebojno povezani in kako so se raznoliki organizmi na našem planetu z evolucijo razvili iz skupnega prednika.

Pri reševanju zapletenih problemov biologi sodelujejo s kemiki, fiziki, matematiki, geologi in meteorologi. Nova spoznanja na področju nevrobiologije in evulcijske biologije preoblikujejo psihologijo in sociologijo. Tako je val biološke revolucije pljusknil tudi na mnoga druga področja znanosti.

Hiter napredek biološke znanosti ni vodil samo v nadgradnjo znanstvenih razlag o delovanju žive narave, ampak je biologija bistveno posegla tudi v naše osebno in družbeno življenje (slika 1.1). Pomislimo samo na biotehnologijo, gensko spremenjene organizme, kloniranje, gensko terapijo, genetsko diagnostiko, uporabo zaporedij DNA v sodni medicini, razmnoževanje človeka z biomedicinsko pomočjo, varstvo narave in okolja, vnos tujerodnih organizmov v okolje, trgovanje z ogroženimi vrstami, ozonsko luknjo, globalne podnebne spremembe. Večine od navedenih problemov pred nekaj desetletji sploh še ni bilo ali pa se jih nismo zavedali. Vsi navedeni primeri so povezani z etičnimi vprašanji, pogosto pa tudi z dajanjem prednosti bodisi trajnostnemu razvoju bodisi gospodarski rasti in dobičku ne glede na kratkoročne in dolgoročne škodljive učinke. Posledice napak pri oceni biološkega tveganja pri različnih človekovih dejavnostih lahko usodno vplivajo na življenje posameznika, lokalne skupnosti in človekove družbe na nacionalni in celo globalni ravni. V prihodnosti lahko pričakujemo še večji pomen biološkega znanja za sprejemanje osebnih in družbenih odločitev.

V tem poglavju si bomo ogledali, kaj je biologija, in razložili temeljne biološke zakonitosti, ki so ključ za razumevanje delovanja živega sveta.



Slika 1.1: Biologija v našem vsakdanjem življenju. V sodobnem življenju se na vsakem koraku srečujemo z informacijami, ki zahtevajo tudi biološko znanje, če jih želimo razumeti in kritično presoditi.

Zanimivost

O rastočem pomenu biološkega znanja



Jože Trontelj

»Pri vsakem človeku, pa naj odloča le zase, ali za politično skupnost, za svoje podjetje, za državo ali skupnost držav in narodov, bo ključno razumevanje pomena tega, o čemer se odloča. Ko gre za vprašanja preživetja civilizacije ali celo človeka kot vrste, pa je čisto prvi pogoj vsaj osnovno, a dovolj zanesljivo biološko in širše naravoslovno znanje.«

Jože Trontelj, predsednik Slovenske akademije znanosti in umetnosti; odlomek iz članka *O rastočem pomenu biološkega znanja* (2008)

»V današnji družbi ne moremo brati časopisa, ne da bi se zavedali osrednjega pomena biologije v življenju vsakega državljana. Naj gre za razumevanje novosti v medicini ali za prispevek k lokalnim okoljevarstvenim odločitvam, vsak državljan potrebuje osnovno razumevanje glavnih bioloških konceptov, ceniti pa mora tudi naravoslovno znanost kot poseben način razumevanja sveta.«

Bruce Alberts (2000), celični biolog / predsednik Nacionalne akademije znanosti v ZDA 1995–2005



Bruce Alberts

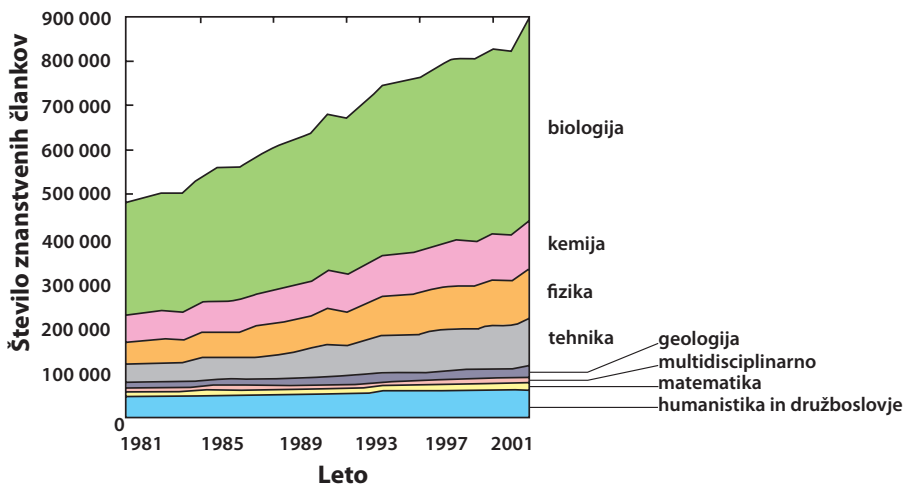
1.1 Biologija je raziskovanje življenja

Biologija je znanost o življenju. Biologi preučujejo živi svet na različnih ravneh organizacije, od celice do organizma, ekosistema in biosfere. Pri tem poskušajo ugotoviti, kaj so temeljne **skupne značilnosti vsega živega**. Po drugi strani biologi raziskujejo tudi izjemno **pestrost živega sveta**, pa naj gre za različice genov, raznolikost procesov v celicah, pestrost vrst ali pestrost ekosistemov.

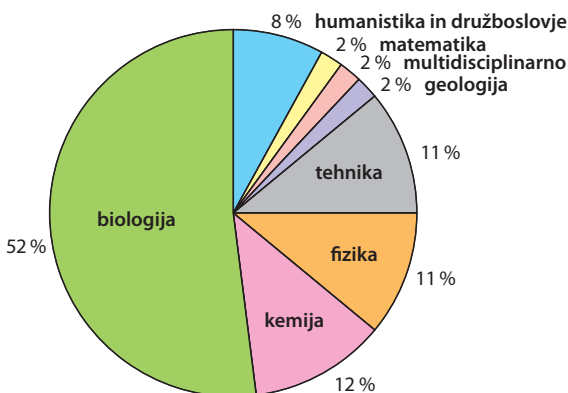
Hiter napredek sodobne biološke znanosti je v veliki meri omogočil razvoj **tehnologije**, ki omogoča uporabo novih naprav in novih metod pri raziskovanju živega. Tako lahko na primer z novimi mikroskopskimi metodami ugotavljamo, kje v celici se nahajajo posamezne molekule. S pomočjo orodij molekulske biologije analiziramo zaporedja nukleotidov v genih; zaporedja nukleotidov zbiramo v velikih svetovnih podatkovnih zbirkah, ki nam omogočajo primerjavo med geni v različnih organizmih. V svetovnih podatkovnih zbirkah zbiramo tudi podatke o različnih vrstah, ki živijo na našem planetu, in s pomočjo računalniških programov analiziramo njihovo medsebojno evolucijsko sorodnost. S pomočjo fotografij, posnetih iz satelitov, lahko spremljamo spreminjanje ekosistemov. Satelitska tehnologija nam omogoča tudi sledenje gibanja živali, ki jih opremimo z oddajnikom signala GPS. Uporaba zmogljivih računalnikov nam omogoča izgradnjo matematičnih modelov, s katerimi opisujemo zapletene povezave med različnimi molekulami v celici ali med različnimi vrstami v ekosistemu.

Danes biologija napreduje najhitreje od vseh znanosti (**slika 1.2**). Biologija kot znanost o življenju v najširšem smislu obsega zelo različna področja raziskovanja, ki se jim z razvojem tehnologije in raziskovalnih metod priključujejo vedno nova. Zato za sodobno biologijo v najširšem pomenu besede – znanosti o življenju – včasih uporabljamo izraz **bioznanost**.

A. Število znanstvenih člankov na leto po področjih znanosti

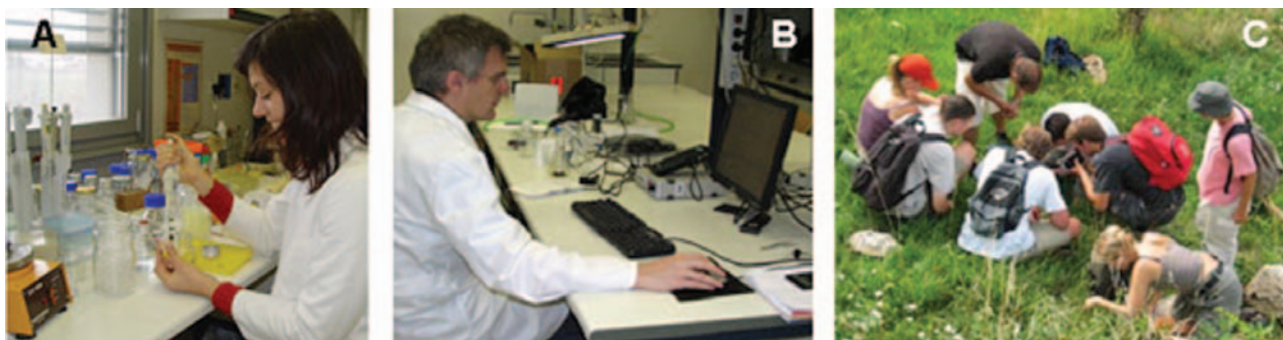


B. Delež znanstvenih člankov leta 2002 po področjih znanosti



Slika 1.2: Biologija napreduje najhitreje od vseh znanosti. Prikazano je število znanstvenih člankov s posameznih znanstvenih področij, objavljenih v uglednih znanstvenih revijah v letih 1981 do 2002 (A) in delež znanstvenih člankov, objavljenih leta 2002 (B). Podatki so zbrani iz največje svetovne zbirke znanstvenih člankov (Science Citation Index). Znanstveno področje biologija vključuje bioznanosti (znanosti o življenju) v najširšem smislu. Multidisciplinarni (ali interdisciplinarni) članki hkrati sodijo v različna področja znanosti.

Biologija se ukvarja z razlaganjem naravnih pojavov, zato jo uvrščamo med **naravoslovne znanosti**, kamor sodijo tudi fizika, kemija in geologija. Zaradi izjemno velikega števila tem, ki jih sodobna biologija obravnava, jo delimo na znanstvena področja, kot so zoologija, fiziologija, ekologija, genetika, biokemija. Pri tem se moramo zavedati, da to delitev uporabljamo predvsem zaradi praktičnih razlogov, da se o biologiji lažje pogovarjamo. V resnici se **različna področja biologije močno medsebojno prekrivajo**, saj sodobni biologi vsak naravni pojav, ki ga raziskujejo, obravnavajo čim bolj celostno, torej z različnih vidikov. Zato se danes znanstveniki običajno povezujejo v velike raziskovalne skupine, ki združujejo strokovnjake za različna ožja področja biologije, pogosto pa tudi matematike, računalnikarje, fizike, kemike in druge znanstvenike. Ustvarjalno delo tako raznolike raziskovalne skupine je mogoče le, če se lahko raziskovalci smiselno sporazumevajo med seboj o reševanju znanstvenega problema, s katerim se ukvarjajo. Zato mora imeti sodobni biolog poleg odličnega biološkega znanja tudi dobro temeljno znanje s področja fizike, kemije, matematike in računalništva (slika 1.3).



Slika 1.3: Raziskovanje v sodobni biologiji. **A:** Pri raziskovanju delovanja genov in medsebojnih odnosov med molekulami v celici je med drugim potrebno dobro znanje kemije. **B:** Za biologa je računalnik pomemben del raziskovalne opreme. Pogosto je priključen na merilne naprave in avtomatsko beleži rezultate meritev, uporablja pa se tudi za zbiranje podatkov v velikih podatkovnih zbirkah in za njihovo obdelavo. **C:** Pomemben del raziskovalnega dela v biologiji je terensko delo. Biologi v naravi nabirajo vzorce, opravljajo meritve in opazujejo organizme v njihovem naravnem okolju.

Preveri, kaj znaš

1. Kje se srečuješ z biologijo v vsakdanjem življenju? V tiskanih in spletnih časopisih poišči dve novici z biološko vsebino, ki sta bili objavljeni v zadnjem mesecu dni. Poišči reklamo na televiziji, v časopisu ali v reviji, v kateri se pri reklamiranju izdelka sklicujejo na biološko znanje.

1.2 Biološki koncepti so temelj za razumevanje biologije

Živi svet je izjemno kompleksen in izjemno raznolik. Zato so se v zgodovini biologije znanstveniki ukvarjali predvsem z *opisovanjem* živega sveta, na primer značilnosti posameznih vrst ali zgradbe različnih tipov celic. Iskanje splošnih odgovorov na vprašanje, kako živi svet deluje, je bilo težavno, saj mora vsaka posplošitev veljati za vse celice, organizme ali ekosisteme. Kljub težavnosti raziskovanja pa so znanstveniki uspeli odkriti nekaj splošnih zakonitosti, ki veljajo za živi svet, denimo da so vsi organizmi zgrajeni iz celic in da je za življenje značilna evolucija z naravnim izborom.

Hiter razvoj novih tehnologij, predvsem računalniške tehnologije, v zadnjih desetletjih je omogočil, da so lahko biologi smiselno uredili podatke, zbrane v stoletjih raziskovanja živega. Tako so lahko odkrili nove splošne zakonitosti o zgradbi in delovanju živega sveta. Tem splošnim zakonitostim rečemo **biološki koncepti**. Biološki koncepti so torej nekaj podobnega kot fizikalni zakoni – splošne razlage o zgradbi in delovanju narave. Seveda biološki koncepti obravnavajo zgradbo in delovanje *žive* narave.

Biološki koncepti so splošne trditve, ki razlagajo zgradbo in delovanje živega sveta. Oglejmo si tri primere bioloških konceptov:

- (1) *Celica je temeljna gradbena in funkcionalna enota organizmov.*
- (2) *Kljub temu, da so organizmi zelo raznoliki, obstajajo temeljne podobnosti v njihovi zgradbi in delovanju, ki so posledica skupnega evlucijskega izvora.*
- (3) *Pri rastlinah se voda in mineralne snovi transportirajo od korenin do poganjkov.*

Zgornji primeri kažejo, da so nekateri biološki koncepti splošni (primer 1 in 2), drugi pa veljajo denimo samo za nekatere skupine organizmov ali samo za nekatere tipe celic (primer 3).

Ključ za razumevanje biologije, pa naj gre za znanstveno raziskovanje ali za učenje biologije v šoli, je *razumevanje bioloških konceptov in povezav* med njimi. Zgornja koncepta 1 in 2 lahko denimo smiselno povežemo, če vemo, da imajo vse danes živeče celice nekatere skupne značilnosti, ki jih je imel že skupni evolucijski prednik vseh celic. Te skupne značilnosti vseh celic so na primer celična membrana, ki uravnava izmenjavo snovi med celico in okoljem, beljakovine, ki opravljajo celično delo, in shranjevanje dedne informacije v molekulah DNA (angleška kratica: **deoxyribonucleic acid** – deoksiribonukleinska kislina).

Takšen pristop k razumevanju živega sveta nas vodi do vprašanja, ali obstajajo kakšne skupne značilnosti življenja, torej **temeljni biološki koncepti**, ki povezujejo biologijo v celoto. Temeljni biološki koncepti so navedeni v **preglednici 1.1**. Ti koncepti so ključ za razumevanje vseh poglavij biologije. Tukaj jih bomo na kratko razložili, globlje razumevanje teh konceptov in povezav med njimi pa bomo gradili v nadaljnjih poglavjih učbenika.

Preglednica 1.1: Temeljni biološki koncepti, ki povezujejo razumevanje živega sveta v celoto.

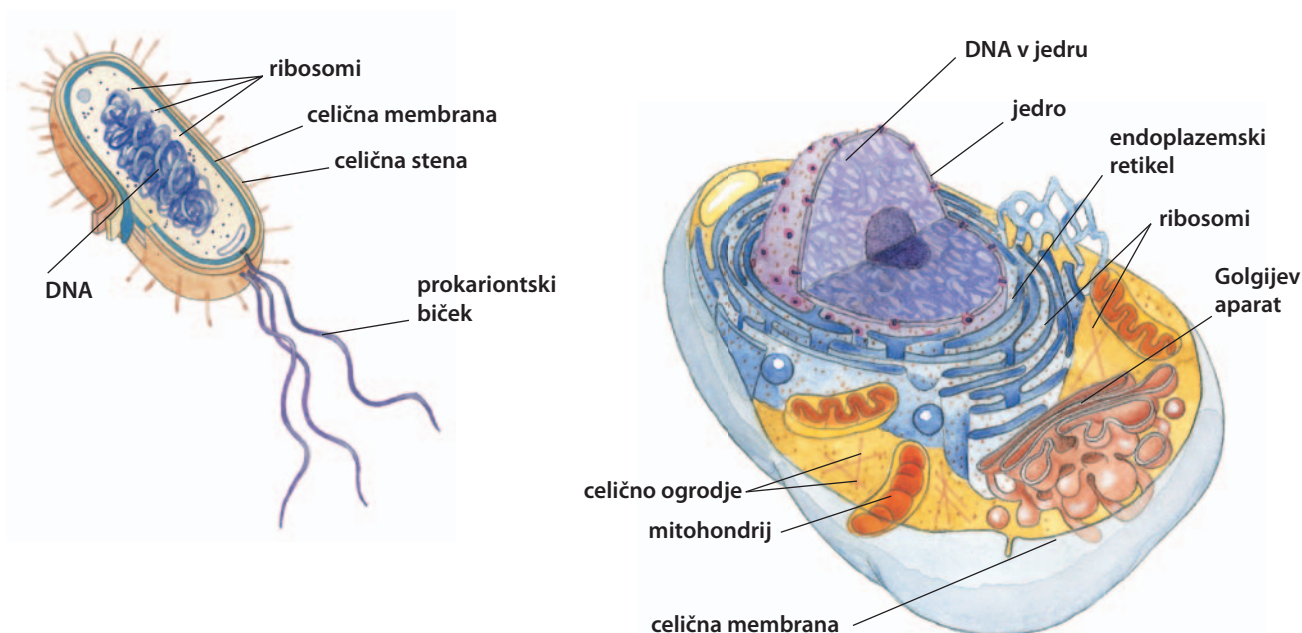
Tema	Temeljni biološki koncept
Celica	Celica je osnovna gradbena in funkcionalna enota vseh organizmov. Glavna tipa celic sta prokariotska celica (pri bakterijah in arhejah) in evkariotska celica (pri protistih, rastlinah, glivah in živalih).
Dedna informacija	Nadaljevanje življenja je odvisno od dedovanja informacije, ki je zapisana v molekulah DNA kot različne kombinacije štirih različnih gradnikov (nukleotidov).
Hierarhična organiziranost živih sistemov	Za življenje je značilna hierarhična organizacija, od molekul do biosfere. Na vsaki višji ravni organizacije se pojavijo nove lastnosti, ki so posledica medsebojnih vplivov med elementi nižje ravni.
Zgradba in delovanje	Na vseh ravneh organizacije živih sistemov sta zgradba in delovanje tesno medsebojno povezana. Zgradba omogoča izjemno učinkovitost živih sistemov, ki je bistveno večja kot seštevek učinkovitosti delovanja posameznih gradnikov sistema.
Snov in energija	Vsi organizmi so zgrajeni iz snovi – atomov in molekul. Vsi organizmi opravljajo delo, za katerega potrebujejo energijo. Snovi v ekosistemih neprestano krožijo. Energija se v ekosistemih pretaka od svetlobne energije Sonca skozi proizvajalce do potrošnikov.
Interakcija z okoljem	Organizmi so odprti sistemi, ki s svojim okoljem izmenjujejo snovi in energijo. Okolje organizma predstavljajo drugi organizmi in neživi dejavniki okolja.
Upravljanje delovanja	Živi sistemi imajo različne mehanizme za uravljanje svojega delovanja. Na ravni organizmov uravljanje delovanja vzdržuje dokaj stabilno stanje notranjih dejavnikov (npr. koncentracije snovi v celicah, telesne temperature pri toplokrvnih živalih).
Enotnost in raznolikost življenja	Biologi organizme razvrščajo v tri velike skupine – bakterije, arheje in evkarionte. Čeprav so organizmi zelo raznoliki, pa imajo tudi nekatere skupne lastnosti, na primer enak način zapisa dedne informacije v DNA. Bolj evolucijsko sorodni vrsti imata več skupnih značilnosti.
Evolucija	Evolucija je osrednji koncept v biologiji. Tako podobnost kot raznolikost organizmov je posledica evolucije z naravnim izborom.

Celica je osnovna enota živega

Celica je osnovna *gradbena* enota organizmov – vsi organizmi so zgrajeni iz celic. Organizem lahko vsebuje samo eno celico – takšen organizem je enoceličar (na primer bakterija, kvasovka, paramecij). Lahko pa organizem vsebuje tudi mnogo celic – to je večceličar (na primer žival, rastlina). Vse celice imajo nekatere skupne značilnosti, kot so celična membrana, beljakovine in DNA.

Glavna gradbena tipa celic sta prokariotska celica in evkariotska celica (**slika 1.4**). Prokariotska celica je evolucijsko izvornejša; znotraj celice ni z membrano obdanih razdelkov. Evkariotska celica se je evolucijsko razvila iz prokariotske in vsebuje več z membrano obdanih razdelkov, ki jih imenujemo organeli (na primer jedro, mitohondrij, endoplazemski retikel).

Celica je tudi osnovna *funkcionalna* enota vseh organizmov. V celici poteka tisto, kar na splošno imenujemo »življenjski procesi«, na primer izbirna izmenjava snovi med celico in okoljem skozi celično membrano, izgradnja organskih snovi, ki jih organizem potrebuje in pretvarjanje energije v obliko, ustrezno za poganjanje »življenjskih procesov« (običajno začasno skladiščenje energije v molekulah ATP). Celica je tako najmanjša enota življenja, ki je *živa* in se samovzdržuje. Beljakovina, ki je v celici, ni živa. Ravno tako ni živi del celice na primer jedro ali mitohondrij, saj opravlja le del nalog, potrebnih za vzdrževanje življenja.

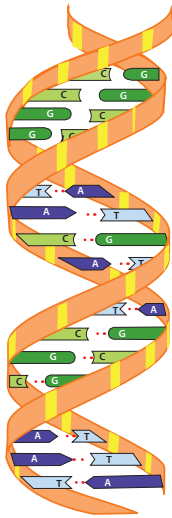
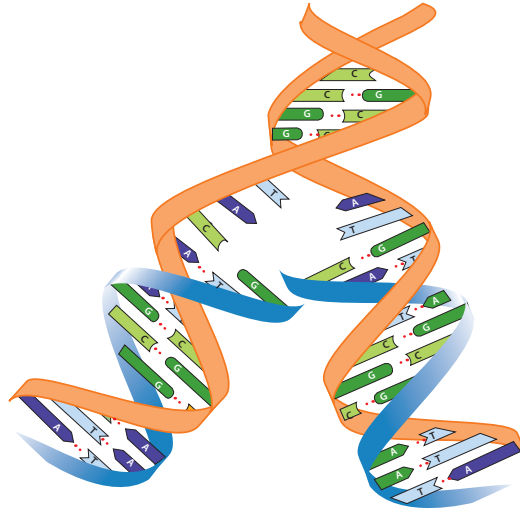


Slika 1.4: Celica je osnovna gradbena in funkcionalna enota organizmov. Glavna gradbena tipa celic sta prokariotska celica in evkariotska celica. Kot primer evkariotske celice je prikazana živalska celica.

Dedna informacija je zapisana v molekulah DNA

Vsi organizmi imajo dedno informacijo zapisano v molekulah DNA. Informacija je v molekulah DNA zapisana kot različne kombinacije štirih različnih gradnikov (nukleotidov; **slika 1.5**). Molekule DNA vsebujejo predvsem informacijo o tem, kako so zgrajene različne beljakovine v celici.

Molekula DNA se lahko s pomočjo posebnih beljakovin podvoji – nastaneta dve enaki kopiji izvorne molekule DNA. Pri celični delitvi iz ene celice nastaneta dve; vsaka od dveh novih celic prejme eno kopijo DNA. Tako se dedna informacija prenaša iz ene generacije celic v naslednjo. Sposobnost celice, da lahko iz ene molekule DNA izdelata dve identični kopiji in da se nato deli, je temelj za razmnoževanje – proces, pri katerem nastajajo novi osebki.

A. Zgradba molekule DNA**B. Podvojevanje molekule DNA**

Slika 1.5: Molekula DNA je pri vseh organizmih nosilec dedne informacije. V molekulah DNA je dedna informacija zapisana kot različne kombinacije štirih različnih gradnikov (nukleotidov; **A**). Molekula DNA se lahko s pomočjo posebnih beljakovin podvoji (**B**) – nastaneta dve enaki kopiji izvorne molekule DNA.

Živi sistemi so organizirani hierarhično

Preučevanje življenja sega od zelo majhnega – molekul in celic – do zelo velikega – celotnega živega planeta (**slika 1.6**). Začnimo naš ogled živega pri velikem. *Biosfera* obsega vse življenje na našem planetu in prostor, kjer ti organizmi živijo, vključno z oceani, celinskimi vodami, prstjo in nižjimi plastmi ozračja. Biosfero sestavljajo ekosistemi, na primer gozd. *Ekosistem* vključuje vse organizme, ki živijo na nekem območju, in nežive dejavnike okolja, ki vplivajo na organizme, na primer vodo, zrak, prst in svetlobo. Vse organizme v ekosistemu imenujemo *združba*. V gozdu so to na primer medvedi, srnjad, volkovi, sove, bukve, smreke, različne glive in bakterije. *Združbo* sestavljajo različne *populacije* – skupine osebkov *iste* vrste, na primer vse bukve v gozdu. Na naslednji nižji ravni organizacije živega je *organizem*, na primer ena bukev.

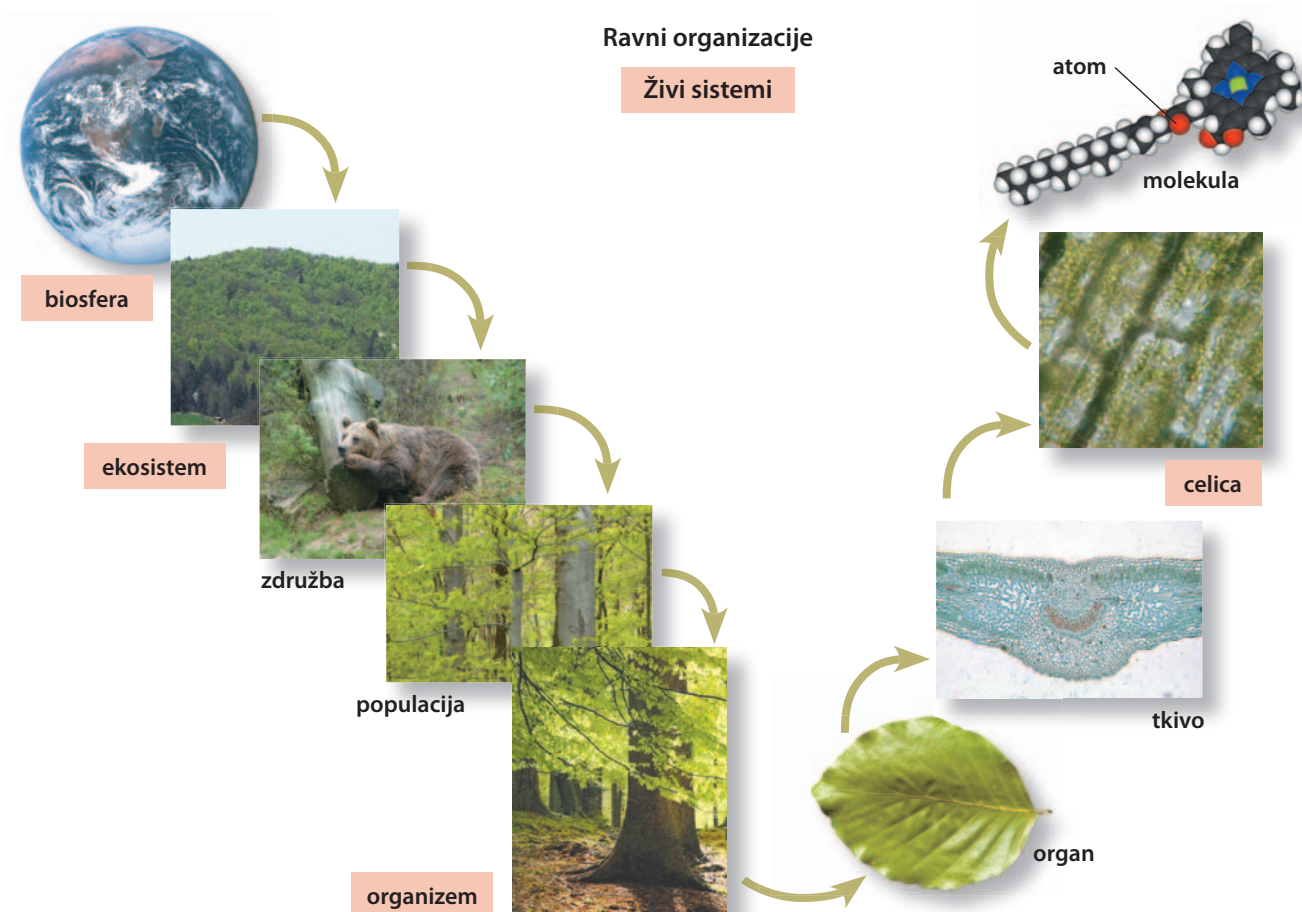
Tudi znotraj organizma poznamo več ravni organizacije. Organizem sestavljajo različni *organi*, ki opravljajo posebne naloge. Pri bukvi sta organa denimo list, ki opravlja fotosintezo, in korenina, ki iz prsti sprejema vodo in raztopljene mineralne snovi. Vsak organ je zgrajen iz tkiv. Vsako *tkivo* sestavljajo podobne celice, ki opravljajo posebne naloge. List bukve denimo obdaja zunanje tkivo – povrhnjica, v notranjosti pa najdemo fotosintezno tkivo, ki vsebuje celice s kloroplasti. *Celica* je osnovna enota življenja.

Vsaka celica je zgrajena iz ogromnega števila različnih kemijskih snovi – *molekul*. Te delujejo skupaj na način, ki daje celici lastnosti živega. V celicah v listu bukve najdemo denimo molekule zelenega barvila klorofila, molekule DNA, različne beljakovine, sladkorje, škrob in tako naprej. V vsaki celici je tudi veliko vode. Vse molekule so zgrajene iz *atomov*.

Če zdaj razmislimo o ravneh organizacije živega od najnižje do najvišje, ugotovimo, da obstajajo na vsaki višji ravni organizacije nove lastnosti, ki so posledica medsebojnih vplivov med elementi nižje ravni. Tako lahko denimo v epruveti zmešamo klorofil in vse druge molekule, ki sodelujejo pri fotosintezi, pa fotosinteza ne bo potekala. Fotosinteza poteka le, kadar so molekule urejene na poseben način, tako kot v kloroplastu v celici, kjer so denimo nekatere molekule vgrajene v membrano.

Na **sliki 1.6** je prikazana hierarhična organiziranost živih sistemov na primeru večceličnega organizma. Vendar pa so mnogi organizmi enocelični – na primer bakterije, kvasovke in paramecij. Pri njih ena celica opravlja vse naloge, potrebne za vzdrževanje življenja. Enoceličarji seveda nimajo organov in tkiv. To je eden od razlogov, da v biologiji poleg ravni organizacije obravnavamo tudi **žive sisteme**. Med žive sisteme uvrščamo celico, organizem, ekosistem in biosfero (**slika 1.6**). Ti živi sistemi pripadajo različnim ravnam organizacije živega. Vsak živi sistem predstavlja zaključeno funkcionalno celoto, ki pa je seveda na različne načine povezana z drugimi

živimi sistemi in z okoljem. Živi sistemi so zgrajeni iz *mnogih različnih gradnikov* (elementov), ki so med seboj *povezani in vplivajo drug na drugega*. Celica je tako zgrajena iz molekul, organizem iz organov, ekosistem iz mnogih osebkov različnih vrst in neživih dejavnikov okolja. Živi sistemi so tudi dinamični – v njih potekajo številni procesi in njihovo delovanje se ves čas spreminja.



Slika 1.6: Hierarhična organiziranost živih sistemov. Med žive sisteme uvrščamo celico, organizem, ekosistem in biosfero. Kot primer molekule je prikazan klorofil – vsaka kroglica na sliki predstavlja en atom.

Zgradba živih sistemov je povezana z njihovim delovanjem

Princip, da je zgradba tesno povezana z delovanjem, poznamo iz vsakdanjega življenja. Tako je denimo zgradba kladiva ustrezna za zabijanje žbljev, zgradba izvijača pa za privijanje in odvijanje vijakov. Ta princip velja tudi v živem svetu. Tako je denimo list ploščat, da ima čim večjo površino za sprejemanje svetlobe med fotosintezo. Velika površina kril ptičev pa omogoča letenje. Pri razmišljanju o živem zato ves čas iščemo povezave med zgradbo in delovanjem – na ta način lahko razumemo delovanje živih sistemov. V nadaljevanju bomo spoznali mnogo primerov tesne povezave med zgradbo in delovanjem v živem svetu.

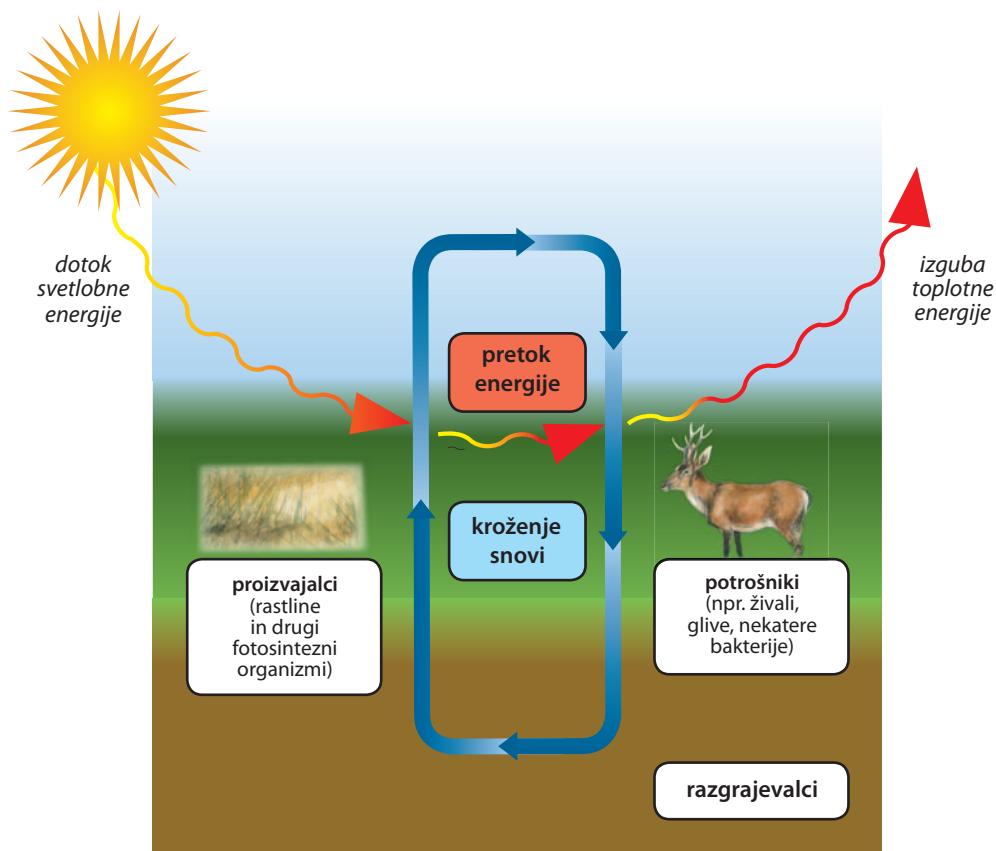
Organizmi potrebujejo vir snovi in vir energije

Vsi organizmi so zgrajeni iz kemijskih snovi – atomov in molekul. Atome, iz katerih so zgrajeni, organizmi privzamejo iz okolja v obliki različnih molekul. Iz teh izhodnih molekul nato izgradijo lastne snovi, ki jih potrebujejo za rast in vzdrževanje življenja, na primer beljakovine. Organizmi tudi ves čas opravljajo delo, pri katerem uporabljajo energijo. Vendar so za opravljanje dela uporabne le določene oblike energije. V organizmih se med opravljanjem dela energija ves čas prenaša z ene molekule na drugo in pretvarja iz ene oblike v

drugo. Pri vsakem prenosu in pretvorbi energije se del energije pretvori v toploto, ki ni uporabna za opravljane dela. Toplota se sprosti v okolje. Zaradi toplotnih izgub morajo organizmi ves čas sprejemati energijo iz svojega okolja.

Zaradi zadovoljevanja potreb po viru snovi in energije v ustrezni obliki so organizmi v ekosistemih povezani v prehranjevalne spletke. V ekosistemih se *energija pretaka* od svetlobne energije Sonca, ki jo proizvajalci vežejo v organske snovi med fotosintezo, do potrošnikov, ki energijo sprejmejo iz okolja kot energijo, vezano v molekule hrane (**slika 1.7**). Na koncu se vsa energija pretvori v neuporabno toplotno energijo, zato ekosistemi potrebujejo stalen dotok svetlobne energije.

Snovi pa v ekosistemih *neprestano krožijo* (**slika 1.7**). Tako je denimo nek atom ogljika najprej del molekule ogljikovega dioksida v ozračju, nato se med fotosintezo veže v molekulo sladkorja v rastlini. Če to rastlino požre neka žival, se atom ogljika lahko vgradi v neko organsko molekulo v telesu živali. Ta organska molekula se v procesu celičnega dihanja razgradi in atom ogljika postane del molekule ogljikovega dioksida in se sprosti v ozračje. Ta molekula ogljikovega dioksida se lahko s fotosintezo spet veže v sladkor v neki drugi rastlini in tako naprej.



Slika 1.7: Pretok energije in kroženje snovi v ekosistemu.

Organizmi so povezani s svojim okoljem

Organizmi so *dimanični sistemi* – njihovo delovanje se ves čas spreminja in prilagaja trenutnim razmeram v okolju. Organizmi so tudi *odprti sistemi* – iz okolja ves čas sprejemajo energijo in snovi, nekatere snovi, na primer odpadne snovi, pa tudi izločajo v okolje. Organizmi imajo tudi različne medsebojne odnose. Tako je denimo nek organizem lahko hrana za drug organizem, žuželka oprašuje cvet rastline in podobno. Organizem tako neprestano vpliva na svoje okolje in obratno. Pri tem *okolje organizma predstavljajo drugi organizmi in neživa narava*.

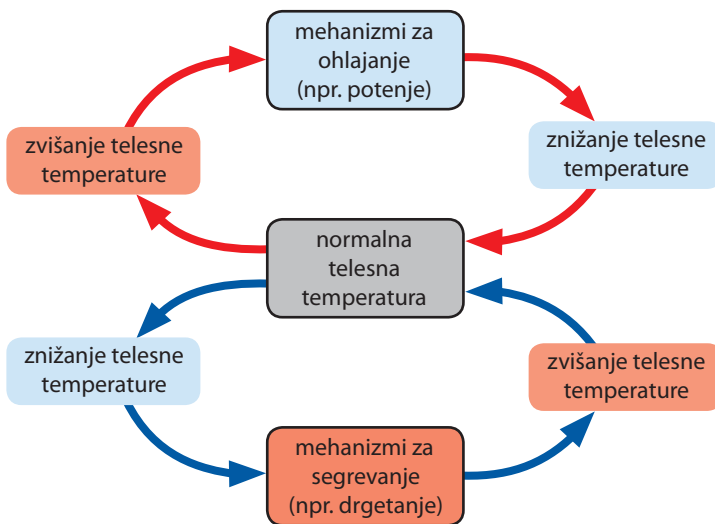
Delovanje živih sistemov je uravnvano

Žive sisteme sestavljajo mnogi različni gradniki, ki organizirano in usklajeno vplivajo drug na drugega. Zato je skupna značilnost vseh živih sistemov, od celice do biosfere, da delujejo kot usklajena celota, pri čemer je njihovo delovanje *uravnvano*. Živi sistemi imajo različne mehanizme za uravnavanje svojega delovanja. Pri tem je trenutno stanje v živem sistemu pomembno za nadaljnje spremembe njegovega delovanja.

Oglejmo si denimo primer uravnavanja telesne temperature pri človeku. Če telesna temperatura pade pod določeno vrednost, se aktivirajo mehanizmi za ogrevanje telesa – na primer drgetanje mišic, pri katerem se sprošča veliko toplote (**slika 1.8**). Ko telesna temperatura doseže normalno vrednost, se procesi za ogrevanje telesa ustavijo. Če pa se telesna temperatura dvigne nad določeno vrednost, začnejo delovati procesi, ki telo hladijo, na primer potenje, ki telo hladi z izhlapevanjem vode s telesne površine. Ko se telesna temperatura zniža na normalno vrednost, mehanizmi za ohlajanje telesa prenehajo delovati.

Na podoben način se uravnava tudi drugi procesi v živih sistemih. Če se na primer v celici nakopiči veliko neke snovi, ki jo celica izdeluje, se njena izgradnja ustavi. Če pa te snovi v celici primanjkuje, jo začne celica izdelovati. Podobno je tudi na ravni ekosistemov. Če se denimo v gozdu močno namnoži srnjad, se namnožijo

tudi plenilci srnjadi, na primer volkovi, saj imajo veliko hrane. Ker pa je zdaj veliko volkov, ki požrejo veliko srnjadi, se številčnost srnjadi močno zmanjša. Volkovom začne primanjkovati hrane, zato se število volkov zmanjša.



Slika 1.8: Uravnavanje telesne temperature pri človeku.

Način uravnavanja delovanja živih sistemov, pri katerem trenutno stanje v sistemu povratno vpliva na spremembo njegovega delovanja, imenujemo *povratna zanka*.

Organizmi so zelo raznoliki, vendar imajo mnogo skupnih značilnosti

Biologi organizme razvrščajo v tri velike skupine, ki se imenujejo domene. Te skupine so *bakterije*, *arheje* in *evkarionti*. Bakterije in arheje sta dve dokaj različni skupini enoceličnih organizmov, ki imajo prokariotske celice. V tretji skupini so organizmi z evkariontsko celico – evkarionti.

Evkariote delimo na štiri kraljestva – protiste, rastline, glive in živali. Rastline, večina gliv in živali so večceličarji. Med seboj se med drugim razlikujejo po tem, kje dobijo organske snovi. Rastline opravljajo fotosintezo, pri kateri iz anorganskih snovi izdelajo sladkorje, iz njih pa druge organske snovi. Glive in živali dobijo organske snovi v okolju – prehranjujejo se z drugimi organizmi, njihovimi odmrlimi deli ali iztrebki. Med protiste uvrščamo evkarionte, ki ne sodijo v druga tri kraljestva. Protisti so dokaj raznolika skupina; večinoma so enocelični (na primer paramecij in evglena), nekateri pa so tudi večcelični (na primer alge).

Kako ima lahko biologija ob tako veliki pestrosti organizmov sploh kakšne skupne teme? Kaj sploh imajo skupnega bakterija, drevo, jurček, čebela in človek? V resnici kar veliko, predvsem na nižjih ravneh organizacije živih sistemov. Imajo kar veliko zelo podobnih molekul – eno smo že spoznali, molekulo DNA kot nosilca dedne informacije, v kateri je v vseh organizmih informacija zapisana na enak način. Poleg tega imajo celice vseh organizmov skupne lastnosti – vse so denimo obdane z membrano. Kako lahko torej razložimo, da so organizmi tako raznoliki in hkrati podobni? Znanstvena razlaga za to je proces, ki ga imenujemo evolucija. To je osrednji biološki koncept, ki si ga bomo v nadaljevanju natančneje ogledali.

Preveri, kaj znaš

1. Kaj je biološki koncept?
2. Navedi in na kratko razloži temeljne biološke koncepte.

1.3 Evolucija je osrednji koncept v biologiji

Kaj je glavna razlika med živim in neživim? Na kratko bi lahko odgovorili, da je živo produkt evolucije z naravnim izborom.

Življenje, ki je na našem planetu nastalo pred več kot 3 milijardami let, se evolucijsko razvija. Tako kot ima vsak človek družinski rodovnik, je tudi vsaka vrsta vejica na razvejanem **drevesu življenja**. Predniki danes živečih organizmov se nepretrgano vrstijo nazaj v preteklost, vse do skupnega prednika vseh organizmov.

Evolucija je prišla v žarišče biološke znanosti leta 1859, ko je britanski naravoslovec Charles Darwin (1809–1882) objavil knjigo *O izvoru vrst z naravnim izborom*.

Darwin je zbral tedaj znane podatke, ki so podpirali domnevo, da obstoječe vrste izvirajo iz predniških vrst. Njegov bistven prispevek k znanosti pa je bil, da je predlagal tudi *mehanizem*, na temelju katerega poteka evolucijski razvoj. Ta proces je imenoval **naravni izbor**.

Darwin je svojo razlago o evolucijskem razvoju življenja oblikoval na temelju dveh opazanj, ki so ju znanstveniki že prej opisali, Darwin pa jih je podprl tudi z lastnimi opazovanji in ugotovitvami:

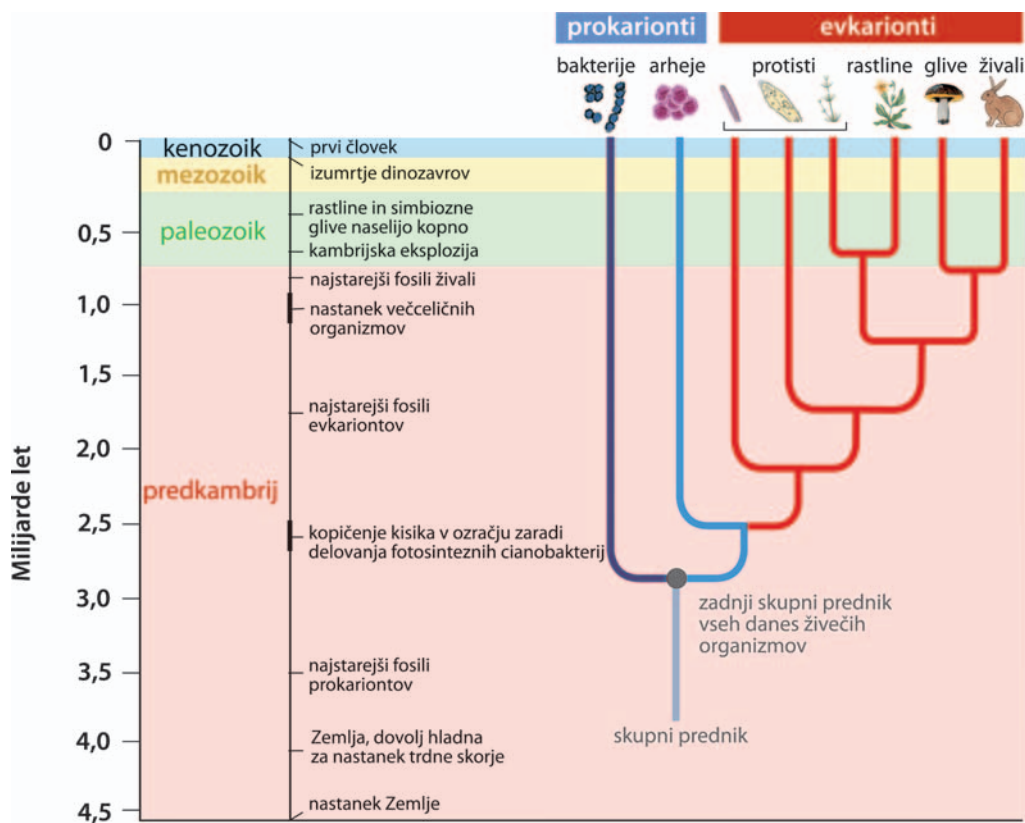
- 1. Čezmerno število potomcev in tekmovanje:** Vsaka populacija neke vrste ima sposobnost, da proizvede mnogo več potomcev, kot jih lahko podpirajo naravni viri v okolju, v katerem ta populacija živi. Med naravne vire štejemo denimo količino hrane in prostor, ki je na voljo kot skrivališče. Čezmerno število potomcev vodi v tekmovanje med različnimi osebki v populaciji za te omejene naravne vire.
- 2. Raznolikost osebkov:** Osebki v populaciji neke vrste se razlikujejo po mnogih dednih značilnostih. Iz vsakdanjih izkušenj vemo, da to drži za populacijo ljudi, znanstveniki pa so ta princip dokazali tudi pri drugih vrstah.

Na temelju teh opazanj je Darwin oblikoval logičen sklep o **različni uspešnosti osebkov pri razmnoževanju**. Tisti osebki v populaciji, ki so zaradi svojih značilnosti najbolj prilagojeni na trenutno stanje v okolju, so v povprečju pri razmnoževanju najbolj uspešni. To pomeni, da imajo največ potomcev, ki preživijo in se tudi sami razmnožijo. Zato bodo v naslednjih generacijah populacije bolj zastopane tiste dedne lastnosti, ki omogočajo preživetje in večji uspeh pri razmnoževanju. To neenako uspešnost pri razmnoževanju je Darwin imenoval naravni izbor.

Darwinova teorija evolucije tudi razlaga, da so se vsi danes živeči organizmi razvili iz skupnega prednika s postopnim spreminjanjem dednih lastnosti skozi mnoge generacije in dolga časovna obdobja. Organizmi so si v nekaterih lastnostih tako zelo podobni, ker imajo skupnega prednika. Gre za lastnosti, ki so ključne za vzdrževanje življenja in so se zato ohranile v vseh generacijah potomcev skupnega prednika do danes. Po drugi strani pa so zaradi naravnega izbora postopoma nastajale ločene skupine potomcev; vsaka skupina je imela nekaj posebnosti, ki jih druge skupine niso imele. Produkt tega procesa so raznolike vrste, ki danes živijo na našem planetu. Torej je **tako enotnost kot raznolikost organizmov posledica evolucije z naravnim izborom**.

Kot smo že omenili, lahko rodovnik organizmov prikažemo kot razvejano drevo življenja. Na mestu, kjer iz skupnega debla izrašča prva veja, je zadnji skupni prednik vseh danes živečih organizmov. Na temelju mnogih zbranih dokazov za evolucijo, od fosilov do podobnosti med geni v različnih organizmih, lahko danes drevo življenja prikažemo tako, kot je narisano na **sliki 1.9** (glej tudi *Raziskovanje življenja R 1.1: Charles Darwin in drevo življenja*).

Če pri razmišljanju o živem pomislimo na evolucijo, lahko razložimo marsikateri pojav v živem svetu, ki bi bil drugače nerazumljiv. Evolucija je zato **osrednji biološki koncept**. Ameriški evolucijski biolog ukrajinskega porekla Theodosius Dobzhansky je leta 1973 o tem zapisal: »Nič v biologiji nima smisla, razen v luči evolucije.« Tudi v tej knjigi bomo pri iskanju odgovorov na različna vprašanja pogosto razmišljali o evoluciji.



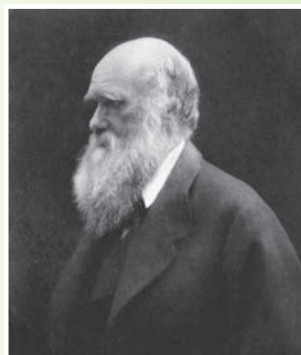
Slika 1.9: Drevo življenja. Evolucijski razvoj organizmov prikazujemo kot drevo življenja. Vsi danes živeči organizmi imajo skupnega prednika. Na levi strani slike je prikazan časovni potek pomembnih dogodkov v evolucijski zgodovini.

Raziskovanje življenja

R 1.1 Charles Darwin in drevo življenja

Kolikor nam je znano, je prav Charles Darwin prvi pomislil, da so vse danes živeče in tudi izumrle vrste potomci skupnega prednika. Že znanstveniki pred njim so organizme razvrščali v velike taksonomske skupine (na primer med rastline in živali) na temelju **podobnosti** med njimi. Darwin je pravilno ugotovil, da je podobnost med organizmi dejansko posledica njihove evolucijske **sorodnosti**. Leta 1837 je narisal v svoj zvezek idejo o drevesu življenja (**slika 1.10**). V knjigi *O izvoru vrst z naravnim izborom*, ki je izšla 22 let kasneje, je uporabil drevo življenja kot prisposodbo in zanj tudi uporabil prav izraz *drevo življenja*. Napisal je naslednje:

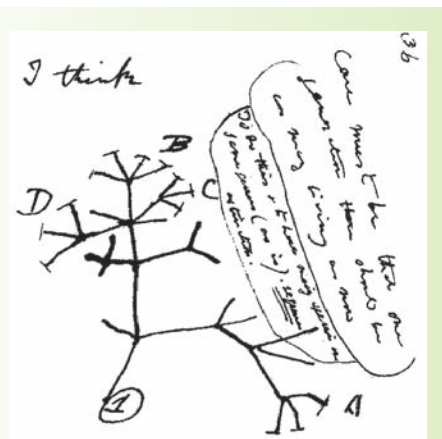
»Podobnost vseh živih bitij iz iste taksonomske skupine včasih prikazujemo kot veliko drevo. Menim, da je ta prisposodba več ali manj ustrezna. Zelene vejice z brstečimi popki lahko predstavljajo danes živeče vrste, vejice, ki so zrastle v vsakem od prejšnjih let, pa dolgo zaporedje izumrlih vrst. V vsakem ravnem obdobju so se vse rastoče vejice trudile razvejati v vse smereh, prekašati in ubiti sosednje vejice in veje; na podoben način so se vrste in skupine vrst trudile prevladati nad drugimi vrstami v veliki bitki za življenje. Glavne drevesne veje, ki so razvejane v velike veje in te v vse manjše veje, so bile same nekdanje, ko je bilo drevo še majhno, brsteče vejice. In povezava med bivšimi in sedanjimi popki z razvejitvijo vej lahko predstavlja taksonomsko razvrstitev vseh izumrlih in živečih vrst v skupine in podskupine. Od mnogih vejic, ki so se bohotile, ko je bilo drevo še grm, so do danes preživele le dve ali tri, ki so zdaj velike veje, in iz njih izraščajo vse druge veje; tako imajo tudi le redke vrste, ki so živele v preteklih geoloških obdobjih, danes živeče potomce, ki so se skozi obdobja spremenili. Od začetka rasti drevesa so mnoge veje propadle in odpadle, in te izgubljene veje različnih velikosti lahko predstavljajo tiste redove, družine in rodove, ki danes nimajo



Charles Darwin (1809–1882)

▶ živečega predstavnika in so nam znane le zato, ker smo jih našli v fosiliziranem stanju. [...] Kakor popki z rastjo omogočajo nastanek novih popkov, in se ti, če so čili, razvejajo in na vseh straneh prevladajo nad mnogimi bolj slabotnimi vejami, tako je po mojem mnenju tudi z **Drevesom življenja**, ki s svojimi mrtvimi in odlomljenimi vejami polni Zemljino skorjo, in prekriva njeno površje s svojimi razraščajočimi se in čudovitimi razvejitvami.«

Slika 1.10: Darwinovo drevo življenja. Slika prikazuje risbo, na kateri je Darwin leta 1837 upodobil svoja razmišljanja. Številka 1 označuje skupnega prednika vseh organizmov, iz njega izraščajoče veje pa njegove potomce, ki so se skozi dolga časovna obdobja ločili v različne evolucijske skupine (veje).



Preveri, kaj znaš

1. Razloži, kako deluje naravni izbor.

1.4 Biologija je naravoslovna znanost

Na začetku poglavja piše, da je biologija znanost o življenju. Pojasnili smo, kaj so temeljne skupne značilnosti življenja. V tem poglavju pa si bomo ogledali, kaj je znanost.

Nedvomno so si ljudje že od zelo daljne preteklosti radovedno zastavljali različna vprašanja: Kaj so svetle pike, ki ponoči svetijo na temnem nebu? Od kod so prišle rastline in živali? Kako sem nastal jaz sam? Prvi odgovori na tovrstna vprašanja, ki so jih oblikovali naši predniki, so temeljili na različnih verovanjih in legendah. Sčasoma pa so ljudje za iskanje razlag o zgradbi in delovanju narave razvili sistematični pristop, ki temelji na opazovanjih, poskusih in preverljivih dokazih – takšen pristop imenujemo **znanost**.

Znanost je sistematično postavljanje razlag o naravnih pojavih

Cilj naravoslovne znanosti je raziskovanje in razumevanje narave, iskanje razlag za naravne pojave in uporaba teh razlag za oblikovanje napovedi. **Naravoslovna znanost**, kamor uvrščamo tudi biologijo, ima določene posebne značilnosti:

Naravoslovna znanost se ukvarja samo z naravnimi pojavi.

Znanstveniki zbirajo in urejajo podatke o naravi na natančen in sistematičen način, pri čemer iščejo povezave med zbranimi podatki.

Znanstveniki na temelju zbranih podatkov predlagajo razlage o naravnih pojavih, ki jih je moč preveriti s kritično presojo dokazov.

Znanost je tako sistematično postavljanje razlag o naravi na temelju preverljivih dokazov. Izraz *znanost* pomeni tudi zbir vsega znanja o naravi, ki ga je človeštvo pridobilo na znanstven način. Znanstveniki skozi generacije postopno dopolnjujejo in nadgrajujejo znanstveno znanje o naravi.

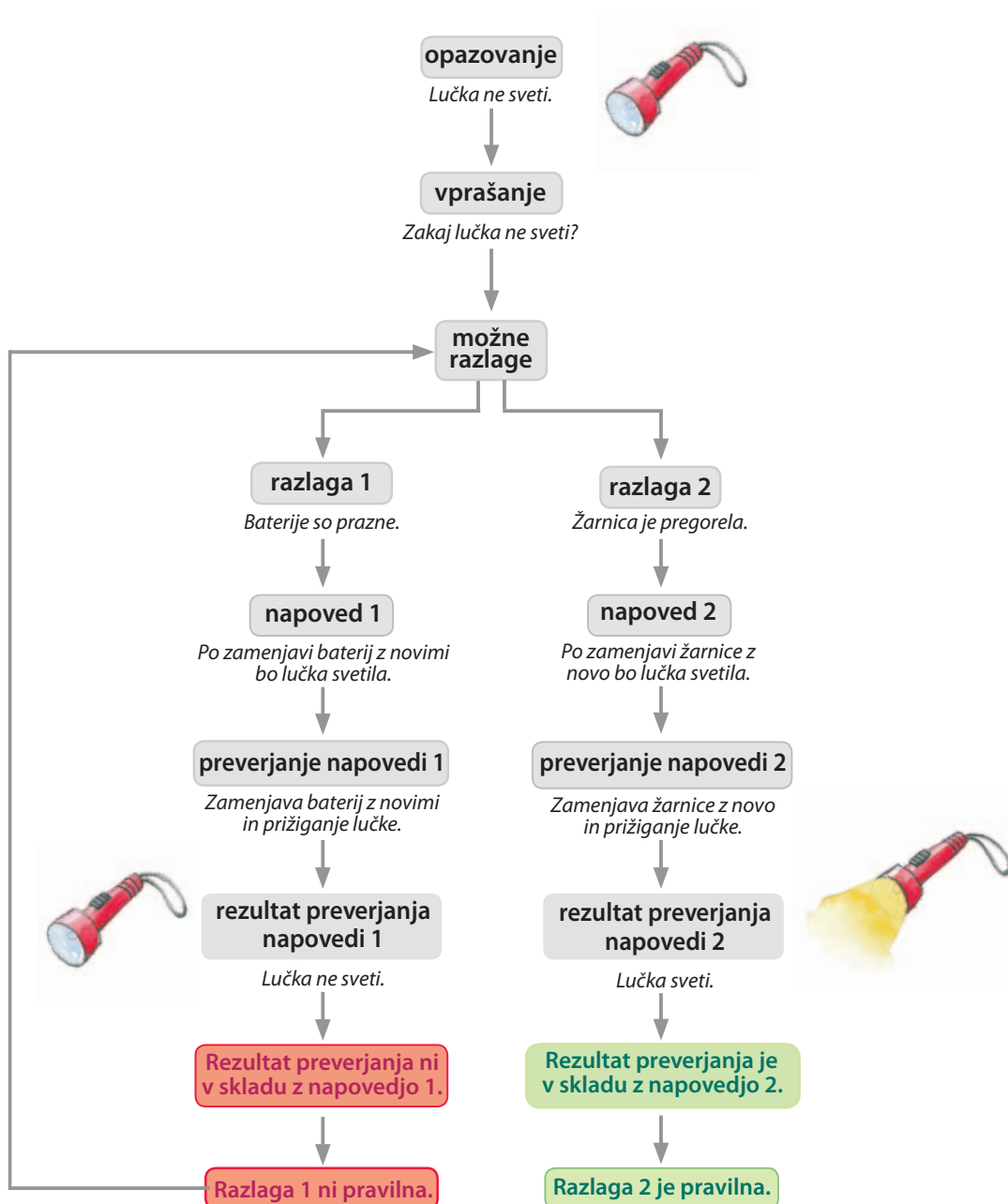
V nadaljevanju bomo izraze *znanost*, *znanstvenik* in *znanstven* uporabljali v smislu naravoslovne znanosti. Družboslovna znanost temelji na nekaterih enakih načelih kot naravoslovna znanost, vendar med obema obstajajo tudi določene razlike.

Glavna koncepta, ki opisujeta znanost, sta prikazana v **preglednici 1.2**. Ta koncepta si bomo delno ogledali v nadaljevanju tega poglavja, globlje razumevanje pa bomo gradili tudi v drugih poglavjih učbenika, predvsem v rubriki *Raziskovanje življenja*.

Preglednica 1.2: Koncepta, ki opisujeta principe naravoslovne znanosti, kamor uvrščamo tudi biologijo.

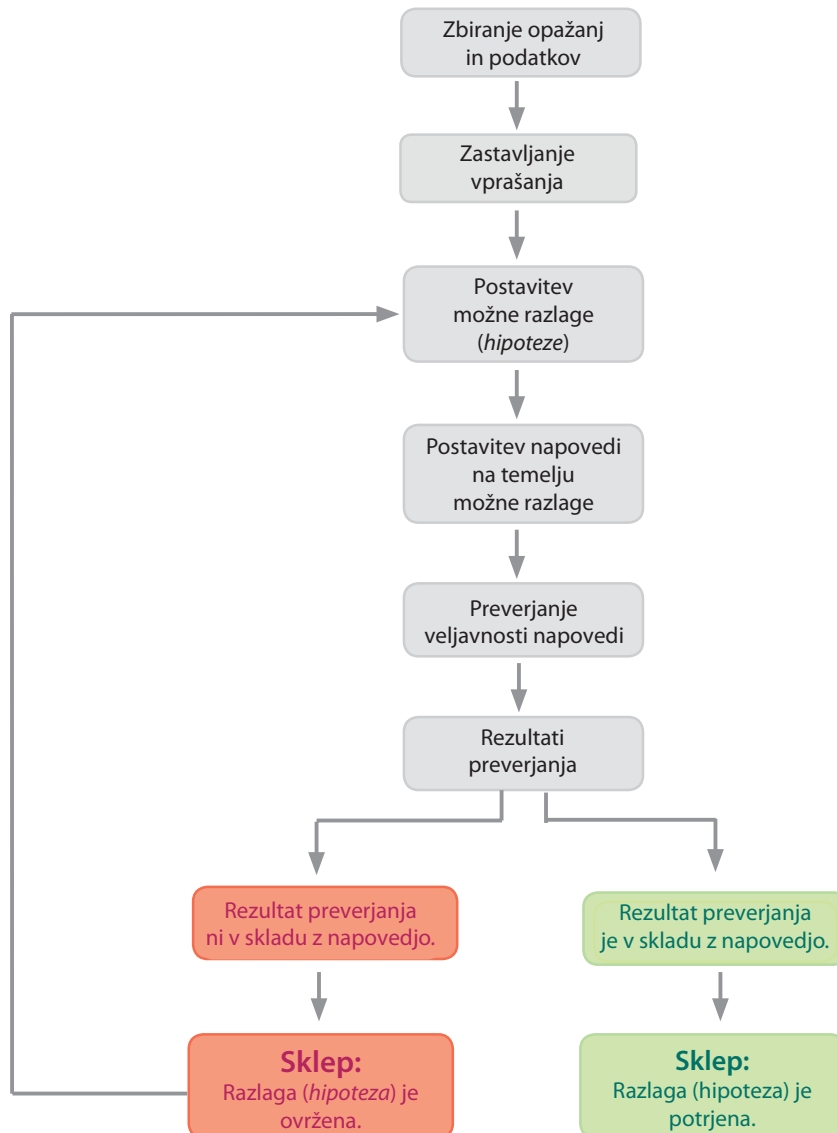
Tema	Koncept
Znanstveno raziskovanje	Proces znanstvenega raziskovanja vključuje opazovanje in izvajanje poskusov na temelju postavljanja vprašanj in hipotez. Verodostojnost znanstvenega dela temelji na ponovljivosti opazovanj in poskusov. Znanstvene razlage so zbirka razlag do zdaj znanih dejstev. Vse znanstvene razlage so ves čas podvržene dvomu in preverjanju.
Znanost, tehnologija in družba	Mnoge tehnologije predstavljajo uporabo znanstvenih spoznanj za doseg določenih ciljev. Razumevanje razmerja med znanostjo, tehnologijo in družbo je zdaj pomembnejše kot kadarkoli prej.

Znanstveniki uporabljajo znanstveni pristop k reševanju problemov



Slika 1.11: Primer znanstvenega pristopa k reševanju vsakdanjega problema.

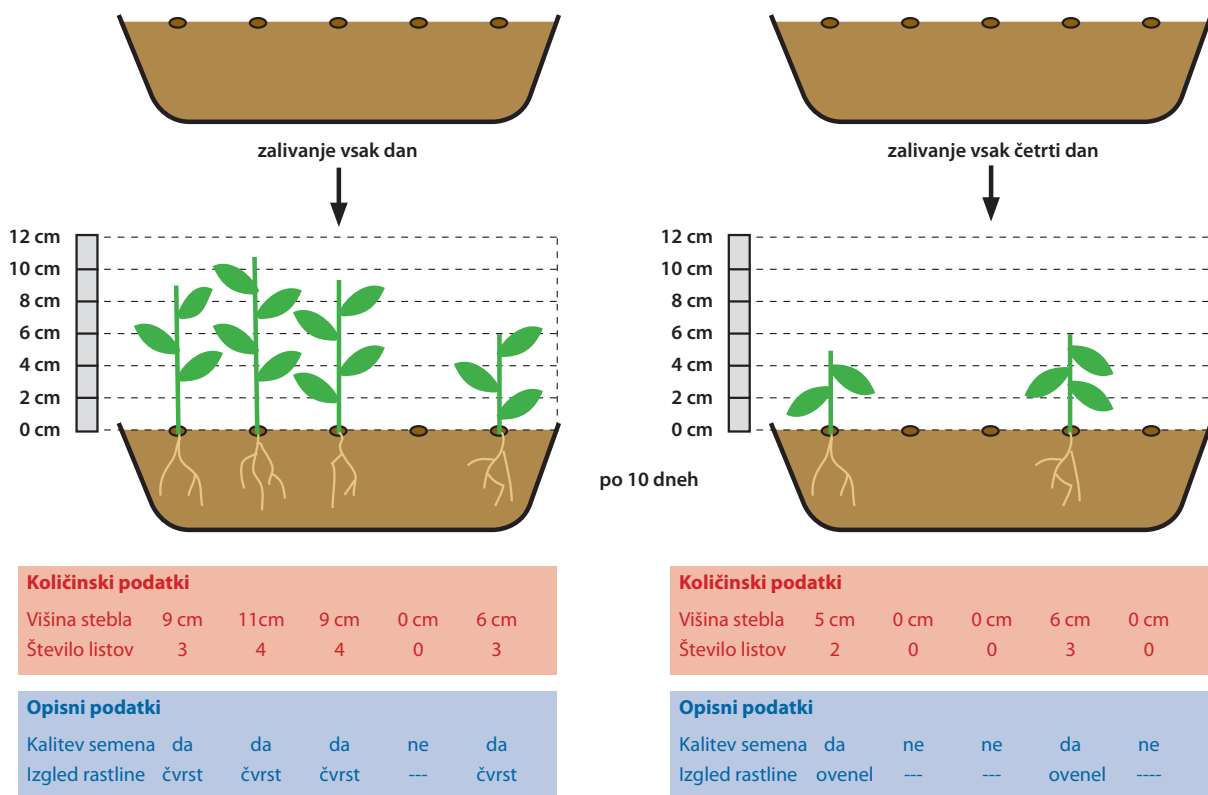
Znanstveniki pri iskanju odgovorov na vprašanja o naravnih pojavih uporabljajo znanstveni pristop, ki temelji na opazovanju, zbiranju podatkov na sistematičen način in oblikovanju logičnih razlag, ki so v skladu z vsemi zbranimi podatki. Takšen pristop k reševanju problemov včasih uporabljamo tudi v vsakdanjem življenju, na primer kadar ugotavljamo, zakaj ročna lučka ne sveti (**slika 1.11**). Splošni postopek znanstvenega pristopa k reševanju problemov je prikazan na **sliki 1.12**.



Slika 1.12: Postopek znanstvenega reševanja problema na temelju hipoteze.

Znanstveno razmišljanje o nekem problemu se običajno začne z zbiranjem znanih dejstev o naravnem pojavu. Znana dejstva o naravnem pojavu so **podatki**. Poznamo dva tipa podatkov. *Količinski podatki* označujejo količino opazovanega pojava in jih izražamo v številkah. Pridobimo jih z merjenjem in štetjem. *Opisni podatki* pa pojav opisujejo in se nanašajo na lastnosti, ki jih ne moremo izmeriti ali prešteti.

Predstavljajmo si, da imamo na okenski polici dva lončka prsti – v vsakega smo dali pet semen neke rastline. En lonček redno zalivamo vsak dan z manjšo količino vode, drugega pa le enkrat na štiri dni z malo vode (**slika 1.13**). O rastlinah v vsakem lončku lahko zberemo količinske podatke – izmerimo lahko na primer višino stebela vsake rastline in preštujemo število listov na njej. O vsaki rastlini lahko zberemo tudi opisne podatke – zabeležimo, ali je seme vzkalilo ali ne in ali rastlina izgleda čvrsta ali ovenela.



Slika 1.13: Količinski in opisni podatki. Pri opazovanju naravnega pojava lahko zberemo količinske podatke, ki jih izmerimo ali preštejemo, in opisne podatke.

Na temelju zbranih podatkov znanstvenik zastavi vprašanje in postavi možni odgovor nanj oziroma možno razlago naravnega pojava. Predlagano razlago za zbir opazovanj in podatkov imenujemo **hipoteza (slika 1.12)**. Znanstveniki postavijo hipotezo na temelju prej znanih podatkov, ki so jih drugi znanstveniki objavili v znanstvenih knjigah in znanstvenih člankih, in na temelju lastnih opazovanj in predhodnega znanja. Pri oblikovanju hipoteze je pomembna ustvarjalnost – sposobnost za iskanje novih povezav med podatki in postavljanje novih možnih razlag za naravne pojave.

Pogosto znanstveniki za razlago naravnega pojava postavijo več alternativnih hipotez – več možnih razlag, ki se med seboj bolj ali manj izključujejo. Predstavljajmo si, da se je na nekem območju pojavila nova bolezen. O načinu širjenja bolezni med ljudmi bi lahko znanstveniki postavili več hipotez: (1) bolezen se prenaša med ljudmi z osebnim stikom, (2) bolezen se širi s piki žuželk, (3) bolezen se širi prek vode ali hrane.

Znanstvena hipoteza mora biti zastavljena tako, da je mogoče *preveriti njeno veljavnost*. Nekatere hipoteze znanstveniki preverijo z izvedbo *nadzorovanih poskusov*, kar bomo spoznali v nadaljevanju. Druge hipoteze je mogoče preveriti z zbiranjem in analizo novih, dodatnih podatkov. V primeru širjenja nove bolezni bi znanstveniki denimo preučili, na katerih mestih se bolezen pojavlja. Obolelim ljudem bi zastavili zbir vprašanj o njihovi dejavnosti, preden so zboleli. Odvzeli bi vzorce vode in hrane na območju, kjer se bolezen pojavlja, in jih analizirali v laboratoriju. V pasti bi nalovili različne žuželke, ki pikajo ljudi, in preučili, ali prenašajo povzročitelja bolezni. Na ta način je mogoče nekatere hipoteze ovreči, ker niso v skladu z znanimi podatki. Druge hipoteze pa znani podatki podpirajo – kadar obstaja dovolj preverljivih podatkov, ki hipotezo podpirajo, je hipoteza potrjena in sprejeta kot veljavna razlaga za naravni pojav.

Znanstveniki, ki raziskujejo kompleksen naravni pojav, običajno sodelujejo v večjih raziskovalnih skupinah. Na rednih sestankih skupine analizirajo in kritično presojujejo hipoteze in podatke, ki so jih zbrali različni člani skupine. Takšen način dela zagotavlja, da sklep, ki ga oblikujejo na temelju podatkov, temelji na logični razlagi zanesljivih podatkov.

Eden od načinov za preverjanje veljavnosti hipoteze je izvedba nadzorovanega poskusa

Gotovo ste že kdaj opazili, da se na kosu mesa, ki ga poleti pustimo v nepokritem smetnjaku, pojavijo »črvički«. Tovrstne pojave so ljudje opazovali tisočletja dolgo in na temelju opažanj oblikovali sklep, da črvički in drugi organizmi, na primer čebele, nastanejo iz mrtvega mesa (**slika 1.14**). Menili so tudi, da nekakšne »življenjske sile« ne živo spremenijo v živo. Pa je to res? Skozi stoletja so se razlage ljudi o tem, kako nastanejo organizmi, spreminjale. V nadaljevanju si bomo ogledali, kako so se tega problema lotili znanstveniki. Ta primer bomo uporabili za razlago o tem, kako deluje znanost.

Recept za čebele

1. Zakolji bika med prvo odjugo ob koncu zime.
2. Zgradi lopo.
3. Zaklanega bika položi na veje in zeli v lopi.
4. Čakaj do poletja. Iz razkrajajočega se telesa bika bodo nastale čebele.

Slika 1.14: Predznanstveni pogled na nastajanje živega. Ta navodila za proizvodnjo čebel je pred približno 2000 leti zapisal rimski pesnik.

Pred približno 400 leti, v dobi renesanse, so znanstveniki izoblikovali pristop k znanstvenemu delu, ki ga poznamo še danes. Temelj znanstvenega pristopa k reševanju problemov je bilo izvajanje poskusov, meritev in opazovanj ter skrbna in kritična presoja zbranih podatkov, ki vodi do logičnega sklepa. V tem obdobju so znanstveniki začeli uporabljati poskuse tudi za iskanje odgovorov na vprašanja o živem svetu.

Kot smo omenili, so ljudje že stoletja prej postavili vprašanje: *Kako nastajajo novi organizmi?* In tisočletja dolgo so ljudje sprejemali razlago, da vsaj nekatera živa bitja nekako nastanejo iz neživega. Tako črvi nastanejo iz mrtvega mesa, hrošči iz kravjekov in miši iz kupa žita v kašči. Zamisel, da živo nastaja iz neživega, so učenjaki celo poimenovali – *spontani nastanek življenja*.

Leta 1668 pa je italijanski zdravnik Francesco Redi predlagal drugačno razlago o nastanku črvov na mesu. Opazil je, da črvi nastanejo na mesu nekaj dni po tem, ko so se po mesu »pasle« muhe. Zdelo se mu je možno, da črvi nastanejo iz mikroskopsko majhnih mušjih jajčec. (Danes vemo, da so »črvi« ličinke muh, ki se razvijejo iz jajčec.) Na temelju svojih **opažanj** je Redi postavil novo možno razlago (**hipotezo**) o nastanku črvov: *Muhe proizvajajo črve*. Znanstveniki **veljavnost hipoteze** pogosto **preverjajo z nadzorovanim poskusom**. Tudi Redi je načrtoval in izvedel nadzorovani poskus (**slika 1.15**).

Dejavnike pri poskusu, ki se lahko spreminjajo, imenujemo *spremenljivke*. Primeri spremenljivk so tip uporabljene laboratorijske opreme, tip uporabljenega materiala (kemikalij, organizmov ali delov organizmov), količina materiala, temperatura in svetloba.

Predstavljajmo si, da želimo preveriti, ali količina svetlobe, količina gnojila ali količina vode pospešujejo rast rastlin. V ta namen en lonček s prstjo, v katerem rastejo rastline, postavimo v temo, ga ne zalivamo in ne dodajamo umetnih gnojil. Drug lonček z rastlinami pa postavimo na svetlobo, ga zalivamo in dodajamo umetna gnojila. Ugotovili bi, da v prvem lončku rastline niso dobro rastle ali so celo odmrle, v drugem pa so dobro rastle. Toda ker smo pri poskusu spreminjali vse tri spremenljivke *hkrati*, ne bi mogli ugotoviti, katera spremenljivka je vzrok za dobro rast rastlin. Če je le mogoče, veljavnost hipoteze preverjamo s poskusom, pri katerem **spreminjamo samo eno spremenljivko**, vseh drugih pa ne spreminjamo – pravimo, da jih nadzorujemo. Takšen tip poskusa je **nadzorovani poskus**. Spremenljivka, ki jo pri izvedbi poskusa namerno spreminjamo, je *spreminjana spremenljivka*. Spremenljivke, ki jih ne spreminjamo, so *nadzorovane spremenljivke*. Opazovane spremenljivke, ki se spreminjajo kot odgovor na spreminjano spremenljivko, pa so *odzivne spremenljivke*.

Pri poskusu z rastlinami bi lahko najprej preverili, ali zadostna količina vode pospešuje rast rastlin. V ta namen bi rastline v enem lončku redno zalivali, rastline v drugem lončku bi le malo zalivali, rastline v tretjem pa nič. Vsi lončki bi stali v enakih razmerah – na enaki jakosti svetlobe in na enaki temperaturi. Vsi lončki bi tudi ime-

li enako obliko, bili bi napolnjeni z enako vrsto prsti in v njih bi rastle rastline iste vrste, vzgojene iz semen, ki smo jih dobili iz ene vrečke s semeni. Pri tem poskusu bi bile nadzorovane spremenljivke svetloba, temperatura, oblika lončka, vrsta prsti, vrsta rastline in semen. Spreminjana spremenljivka bi bila količina vode. Odzivne spremenljivke pa bi opisovale rast rastlin; to bi bile lahko na primer višina stebela in število listov.

Redi je na temelju svoje hipoteze postavil **napoved**, da bo preprečitev dostopa muh do mesa preprečila nastanek črvov (ličink). Načrtoval je **nadzorovani poskus**, s katerim je preveril veljavnost napovedi na temelju svoje hipoteze. Pri poskusu je Redi nadzoroval vse spremenljivke razen ene, ki jo je spreminjal. Spreminjana spremenljivka je bila odkritost kozarca z mesom ali njegova pokritost z gazo (**slika 1.15**). Na pokritih kozarcih je gaza preprečevala dostop muh do mesa.

Pri znanstvenem delu je pomembno skrbno **beleženje podatkov**. V preteklosti so znanstveniki podatke beležili v rokopisu v zvezke in osebne dnevnike. Včasih so besedne zapise dopolnili s skicami, ki so dodatno pojasnjevale njihova opazanja. Iz Redijevih laboratorijskih zapiskov, ki so se ohranili, lahko ugotovimo, da so se pri njegovem poskusu ličinke pojavile le na mesu v nepokritih kozarcih. Tudi v sodobni znanosti znanstveniki večino podatkov beležijo v zvezke – laboratorijske dnevnike. Pri nekaterih meritvah se podatki avtomatično beležijo s pomočjo računalnika. Pogosto rezultate tovrstnih meritev znanstveniki izpišejo s tiskalnikom in jih prilepijo na ustrezno mesto v laboratorijskem dnevniku. Seveda pa tovrstne podatke shranijo tudi v elektronski obliki, različne vrste podatkov pa tudi uredijo in posredujejo v svetovne zbirke podatkov. Na ta način lahko znanstveniki lažje izmenjujejo rezultate opravljenih poskusov in opazovanj, ki jih lahko uporabijo za oblikovanje novih hipotez.

Znanstveniki podatke, zbrane med poskusom, kritično presodijo in uredijo. Urejene podatke imenujemo **rezultati** poskusa ali opazovanja. Pri poskusu z rastlinami bi lahko denimo na temelju podatkov o višini stebela izračunali povprečno višino stebela rastlin v zalivanih, slabo zalivanih in nezalivanih lončkih. Znanstveniki na temelju rezultatov poskusa oblikujejo logični **sklep** – ugotovijo, ali rezultati poskusa podpirajo hipotezo ali ne. Tako rezultati Redijevega poskusa podpirajo njegovo hipotezo, da muhe proizvajajo ličinke. Hkrati pa rezultati tega poskusa tudi nasprotujejo hipotezi o spontanem nastanku življenja.

Redijev poskus o spontanem nastanku življenja (1668)

- 1 **Opazovanja:** Muhe pristajajo na nepokritem mesu. Kasneje se na mesu pojavijo ličinke ("črvi").
- 2 **Možna razlaga (hipoteza):** Muhe proizvajajo ličinke.
- 3 **Napoved na temelju možne razlage:** Ličinke se pojavijo, če imajo muhe dostop do mesa.
Ličinke se ne pojavijo, če muhe nimajo dostopa do mesa.
- 4 **Preverjanje razlage (poskus)**

nepokriti kozarci

Pojavijo se ličinke.

pokriti kozarci

Ličinke se ne pojavijo.

po nekaj dneh
- 5 **Rezultat preverjanja:**
- 6 **Sklep:** Ličinke nastanejo samo, kadar muhe pridejo v stik z mesom.
Ličinke ne nastajajo spontano.

Nadzorovane spremenljivke: kozarci, vrsta mesa, mesto, temperatura, čas

Spreminjana spremenljivka: pokritost kozarca z gazo, ki muham preprečuje dostop do mesa

Odzivna spremenljivka:

Slika 1.15: Redijev poskus o spontanem nastanku življenja.

Znanstveniki javno objavljajo rezultate svojih raziskav

Ena od ključnih predpostavk v znanosti je, da so rezultati poskusov ponovljivi, ker se narava »obnaša« na dosleden način. Če spreminjamo eno spremenljivko v določenem zbiru spremenljivk, morajo biti rezultati poskusa vedno enaki. Ena od rednih dejavnosti znanstvenikov je, da ponavljajo poskuse, ki so jih izvedli drugi, in s tem preverjajo veljavnost rezultatov poskusov in sklepov, ki iz njih sledijo. Zato mora vsako poročilo o znanstvenem poskusu vsebovati zelo **natančen opis izvedbe poskusa** – tako natančen, da lahko drugi znanstveniki ta poskus ponovijo.

Danes znanstveniki poročila o izvedenih poskusih in o razlagah o delovanju narave, ki temeljijo na rezultatih poskusov, objavljajo v **znanstvenih člankih** v znanstvenih revijah. Znanstveni članek mora biti napisan v skladu s strogo določenimi pravili – vsebovati mora opis prej znanih dejstev in rezultatov prej objavljenih poskusov, hipotezo, natančen opis izvedenega poskusa, natančen opis rezultatov poskusa in sklepe (razlago o delovanju narave), ki logično izhajajo iz rezultatov prejšnjih poskusov in novega poskusa. Še pred objavo znanstveni članek kritično pregledajo drugi znanstveniki. Ko je znanstveni članek objavljen, pa je podvržen kritični presoji celotne svetovne skupnosti znanstvenikov.

V Redijevih časih znanstvenih revij še ni bilo; znanstveniki so tedaj objavljali rezultate svojih poskusov v znanstvenih knjigah, pri čemer so se okvirno držali pravil za poročanje o znanstveni raziskavi, ki veljajo še danes.

Znanost napreduje postopno

Javno objavljanje rezultatov znanstvenih raziskav omogoča, da znanstveniki preverjajo, dopolnjujejo in nadgrajujejo delo svojih kolegov. Obstoječe razlage o delovanju narave je potrebno ves čas usklajevati z novimi znanstvenimi odkritji. Znanost tako napreduje postopno, skozi generacije. Tudi razprava o spontanem nastanku živega iz neživega se z Redijevem poskusom ni končala. Nasprotno, lahko bi rekli, da se je po novem, preseñetljivem znanstvenem odkritju celo bolj razvnela.

Le nekaj let po tem, ko je Redi izvedel in objavil svoj poskus, je naravoslovno znanost pretreslo nenavadno odkritje, ki je mejilo na nemogoče. Leta 1675 je nizozemski naravoslovec Anton van Leeuwenhoek (1632–1723), ki sodi med pionirje uporabe mikroskopa pri preučevanju živega, v postani deževnici odkril majhna gibljiva živa bitja, »10 000-krat manjša od očesa velike uši«. V deževnico je nato dal kose rastlin in po nekaj tednih ugotovil, da je bila polna »majhnih živalic« – to so bili različni enocelični evkarionti. Kasneje je majhne organizme našel tudi v vodi iz ribnika. Leta 1683 pa je odkril bakterije, ki so še manjše od enoceličnih evkariontov. Opise in risbe odkritih majhnih »živalic« je Leeuwenhoek objavil. Naslednji dve stoletji se znanstveniki niso mogli zediniti, ali so te majhne živalice žive in kako nastanejo. Vse te majhne organizme, ki jih s prostim očesom ne vidimo, jih pa lahko opazimo z uporabo svetlobnega mikroskopa, danes imenujemo s skupnim imenom *mikroorganizmi*.

Pod vplivom odkritja mikroorganizmov je leta 1745 britanski naravoslovec John Needham izvedel poskus, s katerim je želel spodbiti sklepe Redijevega poskusa o tem, da živo nastaja le iz živega. Postavil je namreč hipotezo, da *mikroorganizmi* nastajajo iz neživega. Svoj poskus je načrtoval na temelju opazovanja, ki ga poznamo iz vsakdanjega življenja – bistra sveža juha, ki jo nepokrito pustimo na mizi, se po določenem času »pokvari«. Postane motna ter neprijetnega vonja in okusa, ob opazovanju s svetlobnim mikroskopom pa v njej opazimo veliko mikroorganizmov. Needham je pri svojem poskusu uporabil več steklenic sveže juhe – nekatere je pustil odprte, druge pa je zamašil s plutovinastim zamaškom. Steklenice z juho je nekaj minut segreval na vročem oglju (**slika 1.16**). Menil je, da je toplota med segrevanjem ubila vse življenje v juhi. Po nekaj dneh stanja pri sobni temperaturi je juha v odprtih in v zamašenih steklenicah postala motna. Needham je ugotovil, da je v odprtih in v zamašenih steklenicah veliko mikroorganizmov. Na temelju rezultatov svojega poskusa je zaključil, da so mikroorganizmi v zamašenih steklenicah lahko nastali le iz neživega in da torej v določenih razmerah živo nastaja iz neživega.

Italijanski naravoslovec Lazzaro Spallanzani je bral o Redijevem in Needhamovem poskusu. Menil je, da je možno, da Needham ni dovolj močno in dovolj dolgo segreval juhe, da bi v njej pobil vse mikroorganizme. Poleg tega se mu je zdelo možno, da steklenice niso bile dovolj dobro zaprte z zamaški in bi zato mikroorganizmi lahko po segrevanju prišli v juho iz zraka. Spallanzani je v letih od 1765 do 1768 najprej ponovil Needhamov poskus, nato pa izvedel serijo poskusov, s katerimi je med drugim dokazal, da je treba juho vreti najmanj eno

uro, če želimo pobiti vse mikroorganizme v njej. Končno je lahko na temelju rezultatov teh poskusov dopolnil Needhamov poskus. Vrat steklenice je podaljšal v dolgo tanko cevko. Juho v steklenici je vrel eno uro, takoj nato pa je vrat zatalil (**slika 1.16**). Ugotovil je, da se v tako obdelanih steklenicah po nekaj dneh mikroorganizmi ne pojavijo. Zaključil je, da mikroorganizmi ne nastanejo spontano iz juhe, ampak pridejo vanjo iz zraka.

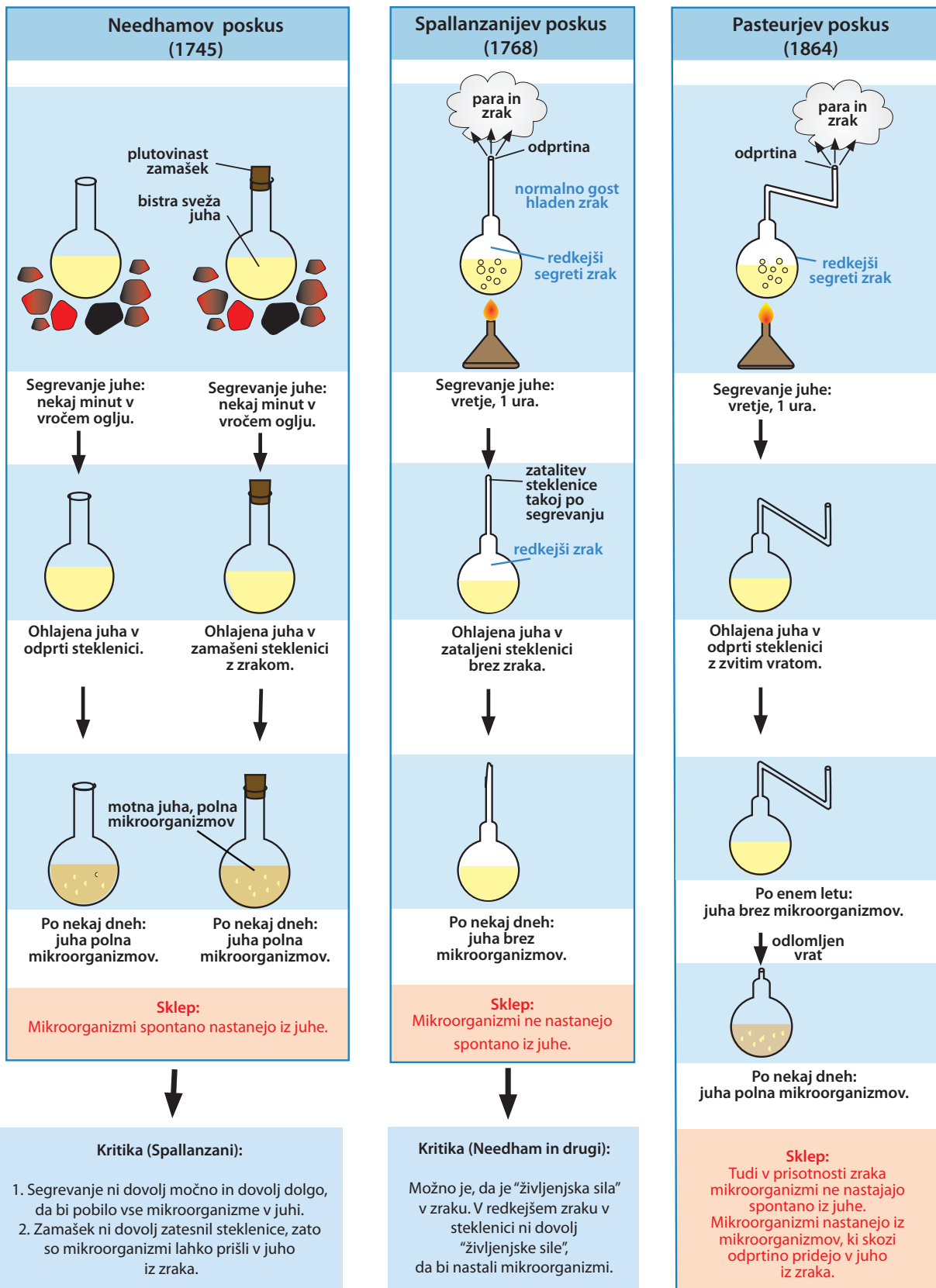
Vendar pa s Spallanzanijevimi poskusi znanstvene razprave o spontanem nastanku življenja še ni bilo konec. Needham in nekateri drugi znanstveniki so menili, da je »življenjska sila«, ki omogoča nastajanje živega iz neživega, v zraku. Kritizirali so Spallanzanijev poskus, češ da je zatalil steklenice, ko je bil v njih vroč zrak, ki je redkejši od običajnega hladnega zraka, preprečil pa je tudi dostop novega zraka v steklenice. S tem naj bi preprečil dostop »življenjske sile« do juhe, zato mikroorganizmi niso mogli nastati.

Razpravo o spontanem nastanku življenja je zaključil francoski mikrobiolog Louis Pasteur, ki je v letih od 1859 do 1864 izvedel več poskusov o spontanem nastanku mikroorganizmov. Najprej je ponovil Needhamove in Spallanzanijeve poskuse. Dokazal je tudi, da so v zraku mikroorganizmi. Končno je dopolnil Spallanzanijev poskus. Za svoj znameniti poskus je Pasteur izumil steklenico z dolgim, tankim zvitim vratom (**slika 1.16**). Konec tankega vratu je bil odprt, zato je imel zrak dostop do notranjosti steklenice. Pasteur je juho v steklenicah z zvitim vratom prevrel, nato pa počasi ohladil, da med ohlajanjem tok zraka v steklenice ne bi zanesel mikroorganizmov. V tako pripravljenih steklenicah se mikroorganizmi po letu dni shranjevanja pri sobni temperaturi niso pojavili. Mikroorganizmi namreč nimajo naprav za aktivno letenje po zraku (na primer kril), ampak jih po zraku nosijo zračni tokovi. Tako so v Pasteurjeve steklenice z zvitim vratom mikroorganizmi sicer lahko »padli« iz zraka, vendar so se nabrali le v prvi krivini vratu, naprej pa zaradi odsotnosti zračnih tokov v steklenici niso prišli. Ko je Pasteur po enem letu odlomil zviti vrat steklenice, so se v juhi že po nekaj dneh pojavili mikroorganizmi. S tem poskusom je Pasteur dokazal, da **živo nastaja le iz živega**. Ta sprememba razmišljanja o živem je pomenila velik premik v pogledu znanstvenikov na organizme.

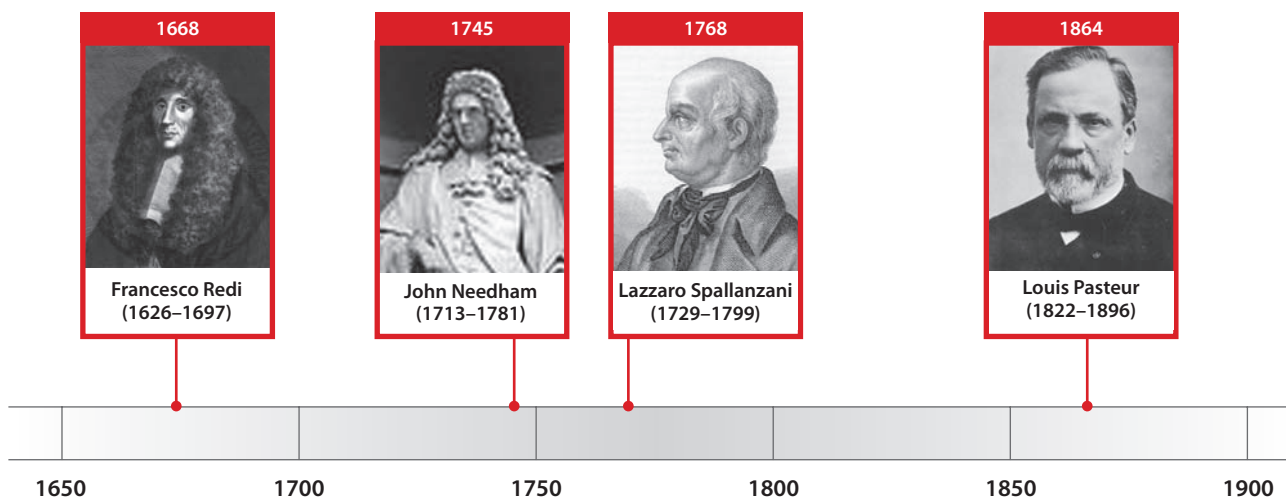
Zgornji opis poskusov moramo dopolniti še z enim pomembnim načelom znanstvenega dela. Pri vsakem nadzorovanem poskusu znanstveniki opravijo **več vzporednih izvedb poskusa**. Tako so Needham, Spallanzani in Pasteur pri svojih poskusih za vsak postopek obdelave steklenic z juho pripravili več steklenic (običajno od štiri do deset). Vzporedne izvedbe poskusa med drugim omogočajo nadzor nad nenamernimi napakami pri izvedbi poskusa. Predstavljajmo si, da bi Spallanzani pripravil le eno steklenico s tankim vratom. Pri zataljevanju vratu te steklenice bi bil lahko nepreviden in bi nenamerno v steklenico vnesel mikroorganizme. Če bi pripravil le eno steklenico, bi na temelju rezultatov poskusa napačno zaključil, da se tudi po enournem vretju juhe v zataljeni steklenici namnožijo mikroorganizmi. V resnici je pripravil štiri steklenice s tankim vratom – v nobeni se po nekaj dneh niso pojavili mikroorganizmi.

Zgodba o spreminjanju pogleda na nastajanje živega iz neživega skozi dve stoletji znanstvenih raziskav (**slika 1.17**) je primer postopnega napredka znanosti in spreminjanja oziroma nadgrajevanja obstoječih razlag o naravi na temelju trdnih in preverljivih dokazov, zbranih s poskusi in opazovanji. Znanost ni seznam večnih resnic, ampak *proces* nadgrajevanja obstoječega znanja, v katerem sodelujejo skozi generacije mnogi znanstveniki. V vsakem obdobju je znanost zbirka najboljših razlag o zgradbi in delovanju narave, ki jih lahko znanstveniki oblikujejo na temelju *znanih* podatkov. Z dopolnjevanjem podatkov na temelju novih znanstvenih raziskav se skozi čas spreminjajo tudi znanstvene razlage o naravnih pojavih.

Brez dvoma bodo znanstveniki kmalu dopolnili ali spremenili nekatere razlage o delovanju živih sistemov, ki jih bomo obravnavali v tem učbeniku. Toda to ne pomeni poraza znanosti. Ravno nasprotno, pglavitna vrednost znanosti je, da obstoječe razlage o naravi ves čas dopolnjuje in jih nadomešča z novimi, ki upoštevajo nove podatke in nova odkritja.



Slika 1.16: Zaporedje poskusov o spontanem nastanku življenja. Sklepe Redijevega poskusa je poskušal ovreči Needham, vendar je Needhamove sklepe ovrgel Spallanzani z dopolnjenim poskusom. Pasteur je dokončno dokazal, da živo nastaja samo iz živega. S svojim poskusom je ovrgel trditve zagovornikov spontanega nastanka življenja, češ da Spallanzanijev poskus ni veljaven, ker je za nastanek živega iz neživega potreben zrak, ki vsebuje »življenjsko silo«. Vsi omenjeni znanstveniki so za vsak postopek obdelave steklenice z juho pripravili več steklenic (običajno štiri do deset) – to na sliki zaradi preglednosti ni prikazano. Spallanzani je najprej ponovil Needhamove poskuse, Pasteur pa Needhamove in Spallanzanijeve poskuse – tudi to na sliki ni prikazano.



Slika 1.17: Časovni pregled poskusov o spontanem nastanku življenja.

Pri raziskovanju življenja včasih ni mogoče opraviti nadzorovanega poskusa

Za preverjanje hipoteze znanstveniki običajno opravijo nadzorovan poskus – primere nadzorovanih poskusov smo si pravkar ogledali. Vendar pa pri preučevanju življenja poskusa ni mogoče vedno opraviti. Včasih poskusov ni mogoče opraviti zaradi etičnih razlogov. Tako denimo ni mogoče s poskusom raziskati vpliva neke snovi, ki domnevno povzroča raka, na ljudi. Tovrstni poskus bi zahteval, da bi znanstveniki ljudi razdelili v dve skupini – eno bi izpostavili domnevno rakotvorni snovi, drugo pa ne. V tem primeru bi denimo znanstveniki lahko namesto izvedbe poskusa raziskali zdravstveno stanje skupine ljudi, ki so že bili izpostavljeni preučevani snovi, in ga primerjali z zdravstvenim stanjem ljudi, ki tej snovi niso bili izpostavljeni. Raziskave, pri katerih preverjanje veljavnosti hipoteze ne temelji na nadzorovanem poskusu, so običajno zelo zapletene, saj vključujejo celo vrsto nenadzorovanih spremenljivk. V primeru raziskovanja možne rakotvornosti neke snovi se denimo ljudje ne razlikujejo samo po tem, ali so bili tej snovi izpostavljeni ali ne, ampak tudi po drugih dejavnikih, ki lahko vplivajo na njihovo zdravstveno stanje – na primer po vrsti prehrane, redni telesni aktivnosti, kroničnih obolenjih, uživanju alkoholnih pijač in kajenju. Vendar je mogoče s skrbnim načrtovanjem tovrstnih raziskav in s posebnimi postopki za analizo zbranih podatkov tudi v takšnih primerih odkriti vzorce v zbranih podatkih in priti do sklepa o veljavnosti ali neveljavnosti hipoteze.

Pri reševanju nekaterih problemov hipoteze ni mogoče vnaprej postaviti. Takšen primer je na primer iskanje odgovora na vprašanje, v kakšnih medsebojnih odnosih so živali, ki živijo v skupini. V takšnem primeru biologji v naravi opazujejo dogajanje v skupini živali ter svoja opažanja skrbno in sistematično beležijo. Tako zbrane podatke uredijo in poiščejo v njih vzorce, ki kažejo na medsebojne odnose v skupini. Tudi takšen pristop k znanstvenemu raziskovanju vodi do odkritij, ki prispevajo k znanstvenemu znanju.

Povezava z evolucijo

E 1.1 Ali je evolucija »le teorija«?

Kljub vse večjemu kupu dokazov, ki podpirajo evolucijsko teorijo, nekateri ljudje vztrajno zavračajo evolucijo kot razlago za postopni razvoj organizmov. Pri tem nimajo niti enega dokaza (podatka), ki evolucijsko teorijo spodbija. Med drugim govorijo, da je »evolucija le teorija«. Evolucija je res teorija, toda to je *znanstvena* teorija. Poglejmo si torej, kaj je znanstvena teorija.

V vsakdanjih pogovorih včasih rečemo »nehaj teoretizirati« ali »oh, kar govoriš, je le teorija«. S tem želimo povedati, da naš sogovornik nekaj trdi brez kakršnihkoli dokazov, ki njegove trditve podpirajo. Vendar pa ima v znanosti beseda *teorija* ravno nasproten pomen – gre za razlago o naravnem pojavu, ki je podprta z zelo velikim številom dokazov.

Hipoteze o zgradbi in delovanju narave so različne po obsegu naravnih pojavov, ki jih razlagajo. Tako Redijeva hipoteza, potrjena s poskusom, razlaga samo en poseben primer – da črvi ne nastajajo iz mesa, ampak iz muh (oziroma iz mušjih jajčec). Širša hipoteza je, da *vsi organizmi nastajajo samo iz organizmov*. Za potrditev te hipoteze, ki je danes eden od osrednjih konceptov v biologiji, so morali znanstveniki zbrati zelo veliko podatkov, ki dokazujejo, da vsi organizmi v vseh okoliščinah nastajajo samo iz obstoječih organizmov. Seveda čisto vseh organizmov in čisto vseh okoliščin ni mogoče raziskati s poskusi in opazovanji, mogoče pa je raziskati »nastajanje« (razmnoževanje) zelo različnih organizmov, od mikroorganizmov do različnih gliv, rastlin in živali. In prav to so znanstveniki naredili v času od Redijevega do Pasteurjevega poskusa. V tem obdobju je bilo raziskovanje mikroorganizmov težavno zaradi pomanjkanja ustrezne opreme za raziskovanje zelo majhnega, razen svetlobnega mikroskopa. V Pasteurjevem času je bilo tako jasno, da vsi večji organizmi nastajajo le iz drugih organizmov, manjkal pa je neizpodbitni dokaz za to, da to velja tudi za mikroorganizme. In ravno ta dokaz je priskrbel Pasteurjev poskus.

Hipotezo, ki obravnava širši naravni pojav in je podprta z velikim številom zanesljivih in preverjenih dokazov, imenujemo **znanstvena teorija**. Znanstvena teorija je *najvišji status*, ki ga ima lahko v znanosti neka razlaga o naravi.

Hipotezo o nastajanju živega iz živega bi tako lahko imenovali teorija o nastajanju živega iz živega. Vendar je danes ta hipoteza vključena v še širši zbir potrjenih hipotez, ki ga imenujemo *celična teorija* (glej poglavje 3.1). Celična teorija med drugim razlaga, da so vsi organizmi zgrajeni iz celic in da celice nastajajo samo iz obstoječih celic. To pa hkrati pomeni, da organizmi nastajajo samo iz obstoječih organizmov. Znanstveniki doslej niso odkrili niti enega organizma, za katerega ta trditev ne bi veljala. Če pa bi odkrili organizem, ki spontano nastaja iz neživega, bi teorijo o nastajanju živega iz živega bodisi dopolnili bodisi ovrgli in nadomestili z novo razlago, ki bi obsegala tudi ta novo odkriti primer.

Podobno je tudi z evolucijsko teorijo. Charles Darwin je že v svoji knjigi *O izvoru vrst z naravnim izborom* (1859), v kateri je predstavil svojo hipotezo o evoluciji, nanizal veliko število podatkov, ki to hipotezo podpirajo. Rezultati vseh nadaljnjih raziskav s tega področja podpirajo hipotezo o postopnem evolucijskem spreminjanju organizmov z naravnim izborom, zato to hipotezo danes imenujemo **evolucijska teorija**.

Podobno kot hipoteza mora imeti tudi znanstvena teorija *napovedno vrednost*. To je eden od najbolj strogih preizkusov veljavnosti znanstvene teorije. Ali lahko teorija napove izide opazovanja in merjenja naravnih pojavov, ki jih še nismo opravili, in ali bodo rezultati teh raziskav, ko jih bomo opravili, v skladu z njo? V Darwinovem času znanstveniki še niso vedeli, da je dedna informacija zapisana v molekulah DNA in da je osnovna enota dedovanja gen – odsek molekule DNA, ki vsebuje zapis za eno beljakovino. To so odkrili šele sredi 20. stoletja. Evolucijska teorija razlaga, da so lastnosti bolj sorodnih organizmov bolj podobne kot lastnosti manj sorodnih organizmov. Napovemo lahko, da mora to veljati tudi za gene in beljakovine. Rezultati mnogih znanstvenih raziskav so pokazali, da bolj sorodni organizmi res vsebujejo bolj podobne gene in beljakovine.

Dokazov za veljavnost evolucijske teorije je vsak dan več. Znanstveniki ne poznajo niti enega dokaza (podatka), ki bi izpodbijal temeljno idejo o postopnem evolucijskem razvoju organizmov z naravnim izborom. Seveda pa znanstveniki evolucijsko teorijo dopolnjujejo na temelju novih odkritij. Tako so vanjo denimo vključili razlago o tem, kako se dedujejo geni in kako z mutacijami nastajajo nove različice genov.

Evolucija tako ni »le teorija«, temveč je celo teorija. Na temelju številnih dokazov, ki jo podpirajo, ima v naravoslovni znanosti najvišji status veljavnosti, ki obstaja za neko razlago o naravi.

Biolško znanje je pomembno za osebne in družbene odločitve

Na temelju rezultatov novih raziskav znanstveniki neprestano dopolnjujejo in izboljšujejo razlage o naravi. Vendar pa vpliv znanosti sega daleč prek meja svetovne skupnosti znanstvenikov. Znanstvena odkritja namreč pomembno zaznamujejo različne vidike našega vsakdanjega življenja.

Novo biološko znanje se med drugim hitro preliva v nove tehnološke izume in izboljšave, od biotehnologije do novih metod v medicini in novih pristopov h kmetijstvu, gozdarstvu in predelavi hrane. Glede na cilj raziskovanja lahko znanstvene raziskave delimo na **temeljne raziskave** in na **uporabne raziskave**. Cilj temeljnih raziskav je razlaganje naravnega pojava, torej iskanje odgovorov na vprašanja o tem, kako deluje živi svet.

Uporabne raziskave pa so usmerjene v razvoj novih tehnologij in izdelkov. Pri tem uporabne raziskave temeljijo na znanju, pridobljenem s temeljnimi raziskavami. Tako denimo Spallanzanijeva odkritja (glej sliko 1.15) niso bila pomembna le za napredek znanosti, ampak predstavljajo tudi temelj za postopke konzerviranja hrane s hermetičnim zaprtjem posode in segrevanjem, ki jih uporabljamo še danes. Sodobni rastlinski fiziologi pa na primer raziskujejo učinke rastlinskih hormonov na rast in razvoj rastlin – to so temeljne raziskave. Pridobljeno znanje pa lahko uporabimo za razvoj novih herbicidov – snovi, s katerimi zatiramo neželene rastline (plevele) na njivah.

Za mnoge odločitve, s katerimi se soočamo na osebni in družbeni ravni, je danes potrebno biološko znanje. Kakšne so lahko posledice čezmernega pitja alkohola in kajenja? Kako naj pravilno uporabljamo antibiotike, da bomo omogočili njihovo dolgoročno učinkovitost pri zatiranju bakterij in s tem njihovo uporabnost za zdravljenje bolezni? Kako naj se zavarujem pred aidsom? Ali je prav, da je dedna informacija, zapisana v mojih molekulah DNA, dostopna nekaterim strokovnjakom, na primer zdravnikom in forenzikom? Ali naj za pridobivanje električne energije uporabljamo elektrarne na fosilna goriva, jedrske elektrarne ali hidroelektrarne z akumulacijskimi jezeri? Ali naj za pridobivanje biodizla posekamo gozdove in jih nadomestimo s kmetijskimi površinami? Na kakšen način naj ravnamo z nevarnimi odpadki v gospodinjstvu in v industriji? Ali naj na poljih gojimo gensko spremenjene rastline?

Danes znanstveniki prispevajo pomembne informacije za družbene razprave o zdravju in o razmerju med človekom in drugimi organizmi ter neživo naravo. Vendar pa se moramo zavedati, da teh problemov znanost ne more rešiti sama. Tovrstni problemi so tesno povezani z družbo, v kateri živimo, z njenim gospodarstvom, zakoni in etičnimi načeli. V naši družbi znanstveniki ne odločajo, ampak samo prispevajo priporočila. Odločitve so v rokah družbe kot celote, na primer na referendumih, in politikov, ki jim na volitvah predamo pooblastila, da odločajo v našem imenu. Pomembne odločitve so tudi v rokah menedžerjev, ki lahko s poslovnimi odločitvami vplivajo na naše zdravje in na stanje ekosistemov na našem planetu.

Če želimo imeti v sodobni družbi kot posamezniki ustrezno vlogo pri odločanju o svojem osebnem življenju in o življenju družbe, moramo med drugim imeti ustrezno biološko znanje. Zavedati pa se moramo tudi, kaj je znanost, kako znanost deluje in kakšne so njene omejitve. V nadaljevanju bomo to predstavili s primeri, predvsem v rubriki *Raziskovanje življenja*.

IZVOR BESEDE

Biologija: grško *bios* – življenje, *logos* – beseda, misel

Evolucija: latinsko *evolvere* – razviti, razgrniti (na primer svitek preproge); angleško *evolution* – postopno spreminjanje

Hipoteza: grško *hipo* – pod (spodaj), *tithenai* – postaviti; temelj, predlog

Teorija: grško *theoria* – gledanje nečesa, opazovanje, preudarjanje

SLOVENSKE BESEDE IN TUJKE

količinski podatki – kvantitativni podatki

opisni podatki – kvalitativni podatki

poskus – eksperiment

spontani nastanek živega (iz neživega) – spontana generacija ali abiogeneza (nastanek živega iz živega je biogeneza)

temeljne raziskave – bazične raziskave

uporabne raziskave – aplikativne raziskave

Preveri, kaj znaš

1. Kaj je glavna razlika med količinskimi in opisnimi podatki?
2. Zakaj Redijev poskus o spontanem nastanku življenja uvrščamo med nadzorovane poskuse?
3. Pasteur je pri svojem poskusu o spontanem nastanku življenja uporabil steklenico posebne oblike. Kako mu je oblika steklenice pomagala uspešno ovreči hipotezo o spontanem nastanku življenja?
4. Za Needhamov poskus navedi nadzorovane, spreminjane in odzivne spremenljivke.
5. Kakšno je razmerje med znanstveno hipotezo in znanstveno teorijo?
6. Na kakšen način danes znanstveniki običajno svojim kolegom sporočajo rezultate svojih raziskav in svoje razlage o delovanju narave?

Povzetek glavnih konceptov

Biologija: Biologija je naravoslovna znanost, ki preučuje razvoj, zgradbo in delovanje živih sistemov in njihovo medsebojno povezanost.

Temeljni biološki koncepti: Biologijo povezujejo v celoto temeljni biološki koncepti. Biološki koncept je splošna razlaga o zgradbi in delovanju živih sistemov.

Celica je osnovna enota živega.

Dedna informacija je zapisana v molekulah DNA.

Živi sistemi so organizirani hierarhično.

Zgradba živih sistemov je povezana z njihovim delovanjem.

Organizmi potrebujejo vir snovi in vir energije.

Organizmi so povezani s svojim okoljem.

Delovanje živih sistemov je uravnavano.

Organizmi so zelo raznoliki, vendar imajo mnogo skupnih značilnosti.

Evolucija je osrednji koncept v biologiji. Tako podobnost kot raznolikost organizmov je posledica evolucije z naravnim izborom. Naravni izbor temelji na čezmernem številu potomcev, tekmovanju med osebki in dedni raznolikosti osebkov, kar vodi do različne uspešnosti osebkov pri razmnoževanju.

Znanost: Cilj naravoslovne znanosti je raziskovanje in razumevanje narave, iskanje razlag za naravne pojave in uporaba teh razlag za oblikovanje napovedi. Znanstveniki pri iskanju odgovorov na vprašanja o naravnih pojavih uporabljajo znanstveni pristop, ki temelji na opazovanju, zbiranju podatkov na sistematičen način in oblikovanju logičnih razlag, ki so v skladu z vsemi zbranimi podatki. Kadar je mogoče, znanstveniki možno razlago naravnega pojava (hipotezo) preverijo z nadzorovanim poskusom, pri katerem eno spremenljivko spreminjajo, vse druge pa so enake (nadzorovane). V znanosti izraz *teorija* pomeni dobro preverjeno razlago o naravi, ki združuje širok obseg opažanj. Znanost je proces nadgrajevanja obstoječega znanja, v katerem sodelujejo skozi generacije mnogi znanstveniki – znanost napreduje postopno. Postopen napredek znanosti omogoča javno objavljane rezultatov znanstvenih raziskav in stalno preverjanje in kritično presojanje teh rezultatov s strani drugih znanstvenikov.

Ponovi in poveži

1. Kaj je cilj naravoslovne znanosti?
2. Zakaj ni pravilno, da znanost opišemo kot zbirko dejstev?
3. Opiši postopek znanstvenega reševanja problema, ki temelji na preverjanju veljavnosti hipoteze.
4. Zakaj moramo med izvedbo nadzorovanega poskusa spreminjati samo eno spremenljivko?
5. Lastnica mladega psa je vsak mesec izmerila, koliko se je povečala masa njenega ljubljence. Prvi mesec je pes pridobil 2 kg, drugi mesec ravno tako 2 kg. Po drugem mesecu je lastnica začela psa hraniti z drugo vrsto hrane, za katero je videla oglas na televiziji. Tretji mesec je pes pridobil na masi 3 kg. Lastnica je zaključila, da nova vrsta hrane bolj spodbuja rast njenega psa kot vrsta hrane, ki jo je uporabljala v prvih dveh mesecih. Ali je lastnica psa beležila količinske ali opisne podatke? Ali je izvedla nadzorovani znanstveni poskus? Ali je njen zaključek veljaven (pravilen)? Utemelji svoje odgovore.
6. Naredi načrt za poskus, s katerim bi preveril-a, ali ena vrsta hrane bolj spodbuja rast miši kot druga vrsta hrane.
7. V času pred Redijevim poskusom so tudi največji učenjaki menili, da črvi (mušje ličinke) lahko nastanejo iz kosa mesa. Razloži, kako je mogoče, da so imeli celo učenjaki takšno predstavo o delovanju narave, ki se nam danes zdi smešna.
8. Predstavljal si, da tvoj prijatelj trdi, da je evolucija le teorija in je zato ne smemo jemati resno. Kaj bi mu odgovoril-a?
9. Navedi nekaj problemov človeštva, pri reševanju katerih je potrebna uporaba biološkega znanja.
10. Predstavljal si, da v neki družbeni skupnosti predlagajo uvedbo zakona, ki predpisuje obvezno uporabo varnostnega pasu med vožnjo z avtomobili in drugimi vozili. Na kakšen način bi znanstvene raziskave lahko vplivale na odločitev o sprejetju tega zakona?
11. Predstavljal si, da tvoj prijatelj trdi, da znanstveniki ne prestopajo svoje razlage in zato nima smisla, da bi znanost jemali resno. Kaj bi mu odgovoril-a?

Tema 2

**ZGRADBA IN DELOVANJE
CELICE**

2 Molekule življenja

Glavni koncepti

2.1 Organizmi so zgrajeni iz snovi

2.2 Voda je bistvenega pomena za življenje na Zemlji

Vodne molekule so med seboj povezane z vodikovimi vezmi

Voda je življenjsko pomembno topilo

Voda je tudi na druge načine povezana z vzdrževanjem življenja na Zemlji

2.3 Glavna značilnost organskih molekul je ogljikovo ogrodje

Velike organske molekule se izgradijo iz manjših molekul

2.4 Ogljikovi hidrati so vir energije in gradbeni elementi

Enostavni sladkorji so najpreprostejši ogljikovi hidrati

Sestavljeni sladkorji vsebujejo več enostavnih sladkorjev

2.5 Lipidi so raznolika skupina hidrofobnih snovi

Maščobe so dolgoročna zaloga energije

Molekule fosfolipidov se v vodi samodejno uredijo v dvosloj

Steroidi vsebujejo štiri ogljikove obročje

2.6 Beljakovine opravljajo večino nalog, pomembnih za vzdrževanje življenja

Beljakovine so polimeri aminokislin

Za delovanje beljakovine je pomembna njena prostorska oblika in lastnosti njene površine

2.7 Nukleinske kisline vsebujejo informacijo

V nukleinskih kislinah je dedna informacija zapisana s kombinacijami štirih nukleotidov

Biologija in družba

Iskanje življenja v vesolju

8. decembra 1990 je vesoljska sonda Galileo svoje merilne naprave usmerila proti nekemu majhnemu planetu in domov poslala rezultate meritev (**slika 2.1**). Znanstveniki, ki so poslani podatke analizirali, so ugotovili, da kar štirje izmerjeni pojavi močno kažejo na to, da na opazovanem planetu obstaja življenje. In na opazovanem planetu tudi res obstaja življenje, saj je ta planet Zemlja.

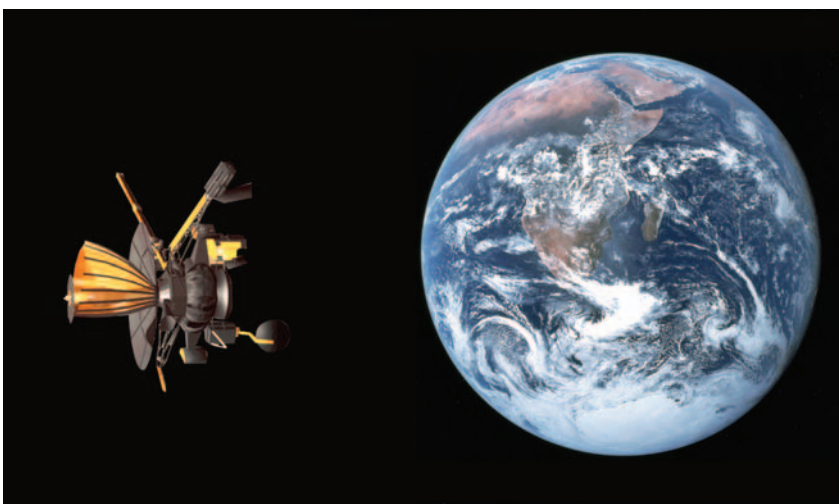
Trije od štirih možnih znakov življenja, ki jih je na Zemlji zaznala sonda Galileo, so povezani s kemijsko sestavo planeta. Sonda Galileo je odkrila, da je večina kopenske površine prekrita z nenavadno snovjo, ki je zaenkrat nismo našli nikjer drugje v vesolju, in ki močno vsrkava modro in rdečo svetlobo. Ta snov je klorofil, bistvena sestavina fotosinteznega aparata v celicah kopenskih rastlin. Nadalje je sonda Galileo v ozračju odkrila veliko molekulskega kisika (O_2), kar je nenavadno, saj kisik zelo hitro reagira z drugimi snovmi in bi moralo zato biti kisika v ozračju malo ali nič. Sklepamo lahko, da nek proces na Zemlji v ozračje ves čas dovaja nove količine molekulskega kisika. Ta proces je fotosinteza – torej proces, ki poteka v živih organizmih. Tretja kemijska posebnost našega planeta je prisotnost majhnih količin metana (CH_4) v ozračju, kljub temu, da je v ozračju tudi veliko kisika. Pričakovali bi, da metan nemudoma reagira s kisikom in ga zato v ozračju sploh ne bi smelo biti. Podobno kot prej lahko sklepamo, da na Zemlji obstaja proces, ki neprestano proizvaja metan in ga sprošča v ozračje. In res metan kot stranski produkt presnove neprestano sproščajo v ozračje posebni prokarioti, med drugim tisti, ki živijo v vampu goveda.

Prvi korak pri iskanju življenja na drugih planetih je torej ugotavljanje kemijske sestave planeta. Življenje ima namreč posebne lastnosti. Živi organizmi iz okolja privzemajo snovi in jih predelajo v sebi lastne snovi, ki jih v neživi naravi ne najdemo, in v okolje sproščajo snovi, ki so stranski produkti njihove presnove.

Četrty možni znak življenja, ki ga je odkrila sonda Galileo, so bili nenavadni elektromagnetni valovi, ki sevajo z Zemlje. Analiza tega sevanja je pokazala nenavadne vzorce v valovanju, ki bi lahko kazali na to, da valovanje ni naravnega izvora in da ga inteligentna bitja uporabljajo za prenos informacij. Sevanje, ki ga je posnela sonda Galileo, je obsegalo predvsem televizijske signale.

In končno moramo omeniti, da na planetu Zemlja obstaja tudi voda v tekočem stanju. Voda je za življenje, kakršno poznamo na Zemlji, tako zelo pomembna, da je prisotnost tekoče vode prva stvar, ki jo vesoljske sonde raziščejo pri iskanju znakov življenja na drugih planetih in njihovih satelitih.

V tem poglavju si bomo ogledali kemijske temelje življenja – vodo in različne organske molekule, ki jih izdelujejo organizmi.



Slika 2.1: Vesoljska sonda Galileo je na Jupitrovih satelitih iskala znake življenja. Preden je odpotovala proti Jupitru, je leta 1990 svoje merilne naprave usmerila proti planetu Zemlja in na njem odkrila več možnih znakov življenja. Vesoljska sonda Galileo je bila poimenovana po italijanskem renesančnem fiziku in astronomu Galileu Galileiu (1564—1642), ki je bil utemeljitelj znanstvenega pristopa k raziskovanju narave (uporabe poskusov in meritev kot dokazov za veljavnost neke razlage).

R 2.1 Carl Sagan in znanstveni način dela

Eden izmed znanstvenikov, ki so sodelovali pri iskanju znakov življenja na Jupitrovih satelitih, je bil ameriški profesor astronomije in vesoljskih raziskav Carl Sagan. Posebej ga je zanimalo, ali obstaja življenje razen na Zemlji še kje drugje v vesolju. Ukvarjal se je tudi s popularizacijo znanosti in je cele generacije navdušil za študij naravoslovja. Njegova dokumentarna nadaljevanka *Vesolje* (1980) je postala najbolj gledana oddaja v zgodovini ameriške javne televizije, istoimenska knjiga, ki je spremljala nadaljevanko, pa je najbolj prodajana poljudnoznanstvena knjiga v angleščini v 20. stoletju.



Carl Sagan (1934–1996)

Kot rečeno, je svoje znanstvene raziskave posvetil iskanju nezemeljskega življenja. Pa ga je našel? V knjigi *Svet demonov* (1997), ki je prevedena tudi v slovenščino, o tem pravi naslednje (odlomek iz poglavja *Nezemljani*):

*»Mogoč obstoj nezemeljskega življenja me je zanimal že iz otroštva, veliko prej, preden sem prvič slišal za leteče krožnike. In me je zanimal še tudi potem, ko me je moje začetno navdušenje za neznane leteče predmete že davno minilo in sem začel razumeti neusmiljenega nadzornika, ki mu pravimo **znanstveni način dela**. Vse je odvisno samo od **trdnosti dokazov**. Pri tako pomembnih vprašanih morajo biti dokazi neovrgljivi. Čim bolj si želimo, da bi bilo nekaj res, tem previdnejši moramo biti. Zgolj pripovedi prič [o neznanih letečih predmetih in nezemljanih] niso dovolj. Ljudje se namreč tudi motijo. Ali se šalijo. Zaradi zaslужka, pozornosti ali slave so pripravljeni prikrojiti resnico. Ljudje si včasih napačno razlagajo stvari, ki jih vidijo. Včasih celo vidijo stvari, ki jih sploh ni. [...]*

Kasneje sem imel srečo, da sem sodeloval pri pošiljanju vesoljskih plovil na druge planete, kjer so med drugim iskali znake življenja, in pri iskanju morebitnih radijskih signalov tujih civilizacij na planetih oddaljenih zvezd. Nekajkrat je bilo prav napeto. A če sumljivi signal ni na voljo vsakemu sitnemu skeptiku, ki bi ga hotel natančno preučiti, ga ne moremo imeti za dokaz zunajzemeljskega življenja, ne glede na to, kako prepričljiv se nam je zdel. Ne preostane nam nič drugega kot počakati, da bodo na voljo zanesljivejši podatki – če jih bomo kdaj dočakali. Za zdaj še nismo odkrili prepričljivih dokazov za življenje zunaj Zemlje. Vendar smo komaj dobro začeli iskati. Nove in prepričljive podatke bomo morda odkrili že jutri.»

Nedvomno si je Sagan vse življenje želel najti nezemeljsko življenje. Kot znanstvenik pa je menil, da je mogoče, da velja naslednja hipoteza: *Življenje obstaja tudi zunaj Zemlje*. Skupaj z drugimi znanstveniki je načrtoval in izvedel opazovanja in meritve, ki bi lahko to hipotezo potrdile – vesoljske sonde z ustreznimi merilnimi napravami so poslali na druge planete in njihove satelite. Podatke, ki so jih vesoljske sonde pošiljale na Zemljo, so znanstveniki analizirali in ugotavljali, ali kateri niz podatkov ustreza pričakovanim znakom življenja. Sagan pravi, da so se včasih razveselili, misleč, da rezultati nekaterih meritev trdno podpirajo njihovo hipotezo. Vendar pa so ob ponovnem preverjanju in analiziranju podatkov vedno znova ugotovili, da so se motili. Tako njihova hipoteza ostaja nepotrjena. To pa še ne pomeni, da so znanstveniki prenehali raziskovati morebitni obstoj nezemeljskega življenja. Trenutno so njihove raziskave osredotočene predvsem na Mars, kjer med drugim obstaja voda.

Seveda se pogosto stvari iztečejo tudi drugače in poskusi in opazovanja znanstveno hipotezo potrdijo, kar je temelj za **postopni** napredek znanosti. **Svetovna znanstvena skupnost neko novo razlago o naravnem pojavu (hipotezo) sprejme, če jo podpira zadostno število dovolj trdnih dokazov**. Tako je denimo svetovna skupnost znanstvenikov sprejela hipotezo, da so vsi organizmi iz celic – vendar šele tedaj, ko je bilo za to trditev zbranih dovolj preverjenih in trdnih dokazov. Seveda pa je še vedno mogoče, da bomo celo na Zemlji odkrili doslej neznan obliko življenja, ki ne temelji na celicah kot osnovnih enotah. V tem primeru bodo znanstveniki sedaj veljavno celično teorijo dopolnili, nadgradili ali nadomestili z novo, ki bo v skladu z vsemi podatki, ki jim bodo tedaj na voljo.

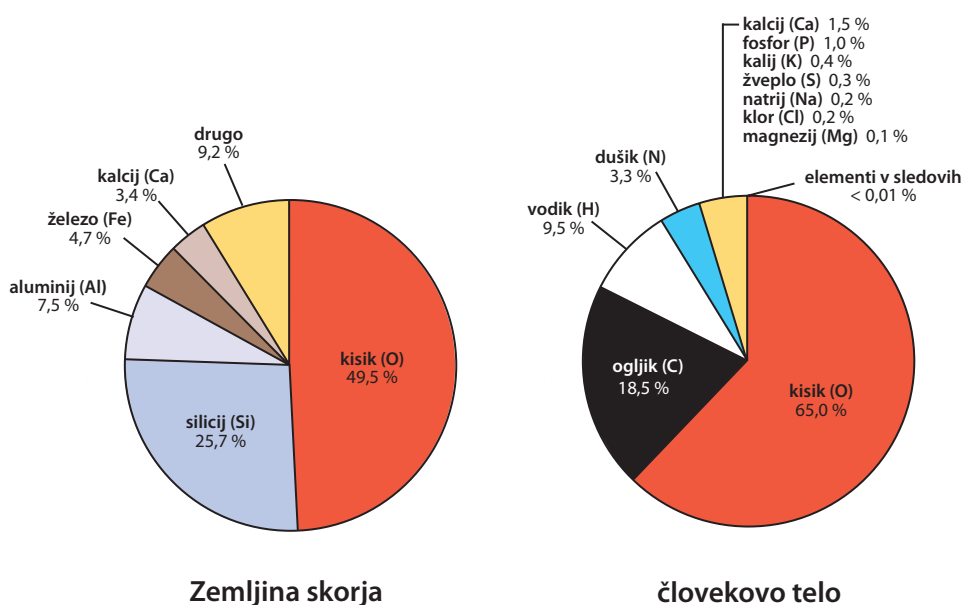
2.1 Organizmi so zgrajeni iz snovi

Ljudje, drugi organizmi in vse okoli nas je zgrajeno iz snovi. Snovi pa so zgrajene iz **kemijskih elementov**. Na Zemlji v naravi obstaja 92 elementov, od katerih jih je le 25 bistvenega pomena za življenje. Življenje ima torej kemijske značilnosti, ki se razlikujejo od nežive narave (**slika 2.2**).

Človek in drugi organizmi imajo podobno kemijsko sestavo telesa. Kar 96 % mase človekovega telesa predstavljajo štirje elementi – kisik (O), ogljik (C), vodik (H) in dušik (N). Pri tem večino mase kisika in vodika predstavlja voda (H_2O), skoraj ves ogljik pa je vezan v organskih snoveh.

Večino preostalih 4 % mase zaseda 7 elementov – kalcij (Ca), fosfor (P), kalij (K), žveplo (S), natrij (Na), klor (Cl) in magnezij (Mg). Manj kot 0,01 % mase človekovega telesa sestavlja 14 elementov v sledovih, ki so naštetih v podpisu k **sliki 2.2**. Človekovo telo sicer potrebuje izjemno majhne količine elementov v sledovih (na primer 0,15 mg joda na dan), vendar pa brez njih človek ne more živeti.

Za vsak element so značilni **atomi**, ki so drugačni od atomov vseh drugih elementov. Organizmi so torej zgrajeni iz atomov. Atomi elementov se lahko sestavljajo v spojine – snovi, ki vsebujejo dva ali več elementov v določenem razmerju. Nekatere spojine, ki jih najdemo v organizmih, so preproste, na primer voda (H_2O), sestavljena iz dveh atomov vodika in enega atoma kisika. Večina spojin v organizmih pa je zapleteno zgrajenih in vsebujejo več elementov. Molekulo DNA na primer sestavljajo ogljik, kisik, dušik, vodik in fosfor.



Slika 2.2: Kemijska sestava Zemljine skorje in človekovega telesa. Prikazani so masni deleži različnih elementov. Kemijska sestava Zemljine skorje in človekovega telesa se zelo razlikujeta. Elementi v sledovih, ki gradijo 0,01 % mase človekovega telesa, so brom (Br), krom (Cr), kobalt (Co), baker (Cu), fluor (F), jod (I), železo (Fe), mangan (Mn), molibden (Mo), selen (Se), silicij (Si), kositer (Sn), vanadij (V) in cink (Zn).

Preveri, kaj znaš

1. Razloži povezavo med atomi, elementi in spojinami.
2. Kateri štirje elementi so v organizmih najpogostejši?

2.2 Voda je bistvenega pomena za življenje na Zemlji

Življenje na Zemlji je nastalo pred več kot 3 milijardami let v vodi. Tudi današnji organizmi, tako vodni kot kopenski, so še vedno vezani na vodo. V različnih tipih človeških celic voda sestavlja od 75 % do 85 % mase celic.

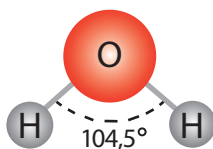
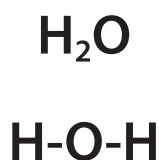
Voda ima pri vzdrževanju življenja raznolike vloge. Deluje kot topilo. Molekule vode se kot reaktant neposredno vključujejo v kemijske reakcije, ki potekajo v organizmih. Voda lahko vsrka in zadrži velike količine toplote, zaradi česar voda v oceanih blaži temperaturne spremembe ob menjavi letnih časov na Zemlji. Vse te različne vloge vode izvirajo iz njenih fizikalnih in kemijskih lastnosti, ki temeljijo na njeni molekularni zgradbi.

Vodne molekule so med seboj povezane z vodikovimi vezmi

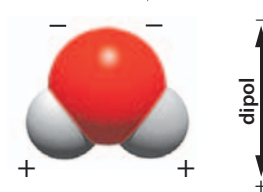
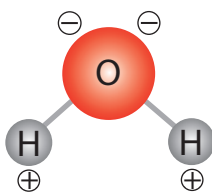
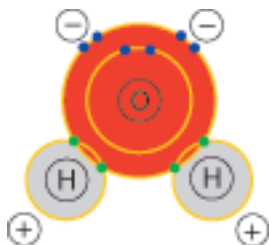
Zgradba molekule vode je dokaj preprosta – na osrednji kisikov atom sta vezana dva vodikova atoma (**slika 2.3A**). Atomi so med seboj povezani z močnimi (kovaletnima) vezema, ki ju tvorijo vezni elektroni. Toda kisik ima poleg dveh veznih še šest prostih elektronov. Ti ne sodelujejo pri kemijski vezi, temveč se pomaknejo bolj na en konec molekule (**slika 2.3B**). Ker je tam gostota negativno nabitih elektronov večja kot na drugem koncu molekule, prevladuje negativni naboj. Ustrežno temu je drugi konec molekule nabit pozitivno, saj tam prevladujeta pozitivno nabiti vodikovi jedri. Strokovno pravimo, da je molekula vode **polarna** (**slika 2.3B**). Kljub neenakomerno porazdeljenemu naboju znotraj molekule pa je molekula vode kot celota električno nevtralna – seštevek vseh pozitivnih in negativnih nabojev v molekuli je nič.

Zaradi polarnosti se vodne molekule medsebojno privlačijo, podobno kot magneti. Pozitivno nabiti del ene molekule vode privlači negativno nabiti del druge molekule vode, pozitivno nabiti del druge molekule pa privlači negativno nabiti del tretje molekule in tako naprej. Na ta način so molekule vode med seboj povezane s šibkimi privlačnimi silami, ki se imenujejo **vodikove vezi** (**slika 2.4**). Vodikova vez je na splošno *privlačna sila med vodikom, ki je vezan na kisik ali dušik v eni molekuli, in kisikom ali dušikom v drugi molekuli*. Polarnost in sposobnost za tvorjenje vodikovih vezi sta posebnosti, zaradi katerih ima voda toliko različnih lastnosti in zaradi katerih je za življenje nepogrešljiva.

A. Zgradba molekule vode



B. Polarnost molekule vode

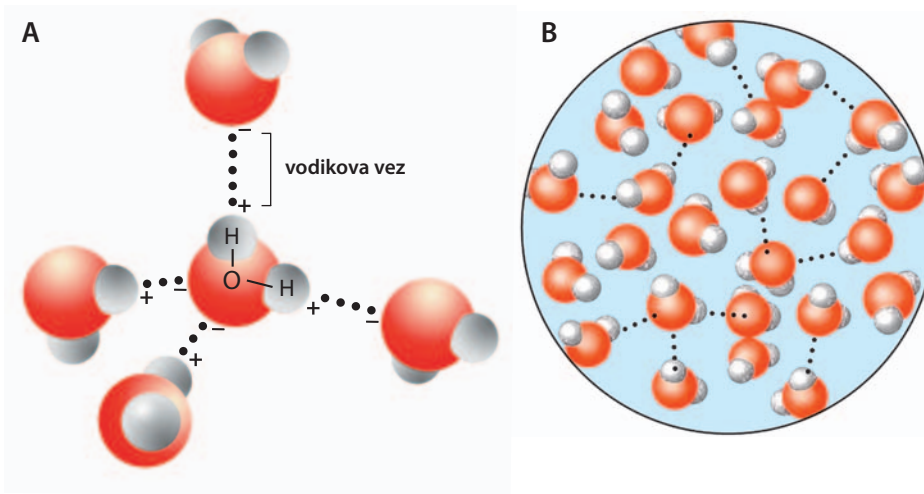


- vezni elektroni
- prosti elektroni

Slika 2.3: Zgradba in polarnost molekule vode. Molekula vode je zgrajena iz enega atoma kisika in dveh atomov vodika. Zgradbo molekule vode lahko prikažemo na več načinov, od molekularskih formul do različnih modelov (**A**). Zaradi neenakomerne razporeditve nabojev je molekula vode polarna – en del molekule je nabit bolj negativno, drug pa bolj pozitivno (**B**).

Vodikove vezi med sosednjimi molekulami vode so mnogo šibkejše kot kovalentne vezi med atomi znotraj molekule vode. Ker se molekule v tekoči vodi tako kot vse druge molekule neprestano gibajo in trkajo med seboj, se vodikove vezi med sosednjimi molekulami neprestano prekinjajo in znova nastajajo. Vendar pa je v vsakem trenutku velik delež molekul v tekoči vodi medsebojno povezan z vodikovimi vezmi – privlak med sosednjimi molekulami torej nekoliko omejuje prosto gibljivost molekul vode.

Vodikove vezi pa ne nastajajo samo med vodnimi molekulami, temveč tudi med vodnimi molekulami in drugimi delci, ki imajo v svoje molekule vgrajene bodisi kisikove bodisi vodikove atome. Poleg tega polarne vodne molekule privlačijo tudi drugi električno nabiti delci, kot so na primer ioni.



Slika 2.4: Med molekulami vode nastanejo vodikove vezi. Pri tem pozitivno nabiti del ene molekule vode privlači negativno nabiti del druge molekule vode (A). Ena molekula vode lahko tvori vodikove vezi z največ štirimi sosednjimi molekulami vode. Zaradi vodikovih vezi so molekule vode v tekočem stanju povezane med seboj (B).

Voda je življenjsko pomembno topilo

Številne snovi sestavljajo nabiti delci (ioni), ki se med sabo povezujejo zaradi nasprotnih električnih nabojev. Med takšne snovi spadajo na primer soli. Če stresmo kristale takšne snovi v vodo, se bodo začeli kristali **raztapljati** v vodi (slika 2.5). Vodne molekule namreč privlači naboj delcev na robu kristala in se začnejo z njimi povezovati. Pri tem pozitivni ion privlači negativno nabiti del molekul vode, negativni ion pa pozitivno nabiti del molekul vode. Vodne molekule se zaradi privlačnih sil vrivajo med delce v kristalu in jih razdvajajo. Vodne molekule končno povsem ločijo posamezne nabite delce od kristala. Zaradi privlačnih sil med vodo in ionom je ion obdan s plaščem molekul vode, ki se imenuje **hidratacijski ovoj**. Ion, obdan s hidratacijskim ovojem, se prosto giblje po vodnem prostoru.

Povezava z evolucijo

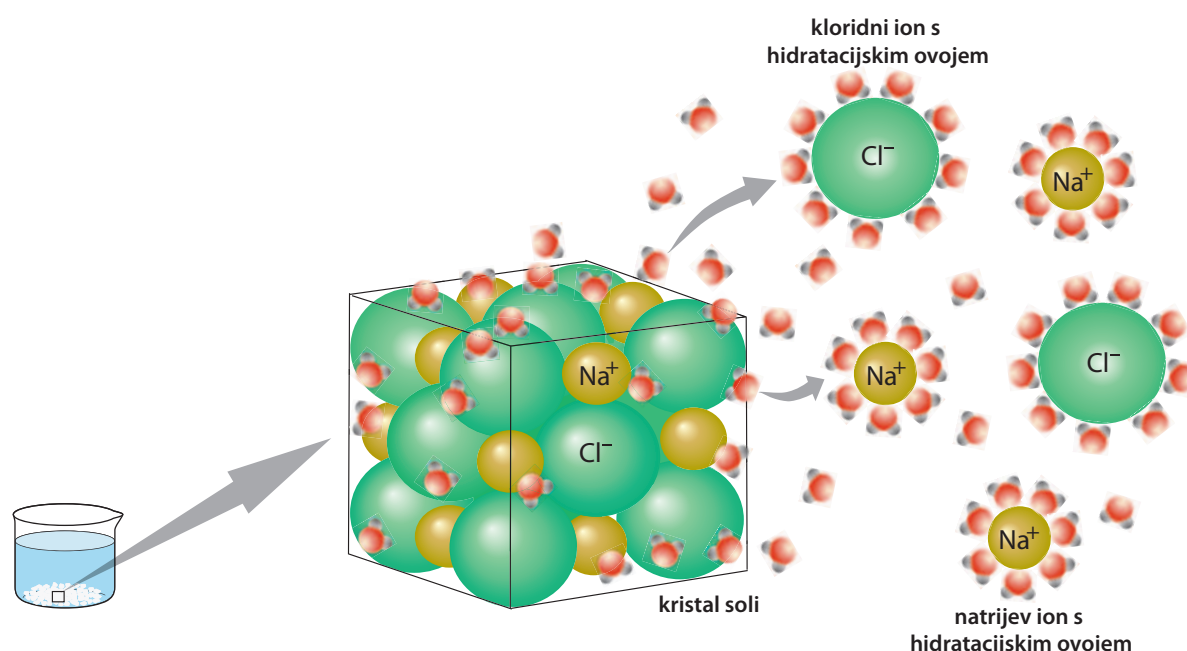
E 2.1 Raztapljanje kamnin in nastanek življenja

Tako kot se kuhinjska sol raztaplja v vodi, so se ob začetku nastajanja morij na našem planetu v vodi topile kamnine, v katerih so bili natrijevi, kalijevi, kalcijevi, fosforjevi in drugi ioni. Te raztopljene anorganske snovi so postale pomembne tudi za delovanje živih organizmov – življenje je namreč verjetno nastalo prav v vodnem okolju. Tudi v danes živečih celicah, ki so vse evolucijske potomke prvotnih celic, najdemo različne raztopljene anorganske snovi, ki imajo različne vloge pri zgradbi in delovanju celice. V človekovem telesu imajo denimo kalijevi in natrijevi ioni pomembno vlogo pri prenašanju signala po živčni celici, kalcijevi ioni pa pri krčenju mišične celice.

V vodi pa se ne raztapljajo samo majhni anorganski ioni, kot so denimo natrijevi in kloridni ioni iz kuhinjske soli (natrijevega klorida), ampak tudi druge molekule, ki imajo na površini naboj. Tako imajo mnoge molekule ogljikovih hidratov in beljakovin, ki so v celici, na površini pozitivno in negativno nabite dele. Tudi te molekule so obdane s hidrationskim ovojem (**slika 2.6**). Molekule vode, ki so vezane v hidrationske ovoje raztopljenih delcev, imenujemo **vezana voda**. Molekule vode, ki niso vezane v hidrationske ovoje, pa imenujemo **prosta voda**.

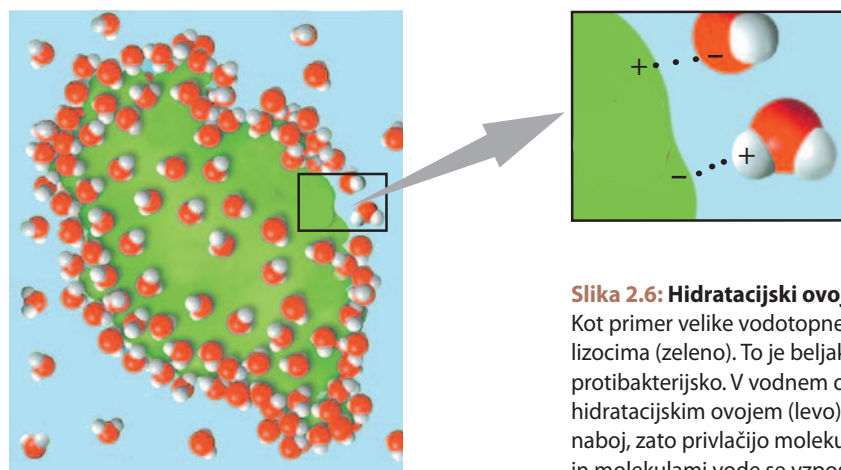
Za molekule, ki imajo na površini naboj in se v vodi obdajo s hidrationskim ovojem, pravimo, da so **vodotopne** ali **hidrofilne**. Obstajajo pa tudi molekule, ki na površini nimajo naboja in se zato v vodi ne topijo – te molekule so **hidrofobne**. Kot bomo spoznali kasneje, so hidrofobne snovi na primer nekatere maščobne molekule.

Ker je voda polarna, se v njej raztapljajo tako ionske snovi kot druge polarne snovi, na primer sladkorji. Voda je tako res vsestransko **topilo**. Snov, ki je v vodi raztopljena, pa imenujemo **topljenec**. Voda kot topilo v celici med drugim omogoča gibanje delcev vodotopnih snovi po celici. Na ta način lahko molekule potujejo od enega do drugega dela celice in trkajo med seboj, kar je temelj za potek različnih kemijskih reakcij.



Slika 2.5: Raztapljanje kristala kuhinjske soli (natrijevega klorida) v vodi.

Molekule vode se zaradi privlačnih sil med njimi in nabitimi delci v kristalu vrivajo med delce v kristalu in končno posamezni delec povsem ločijo od kristala. Sproščeni ion zaradi svojega naboja privlači molekule vode. Pri tem pozitivni ion (Na^+) privlači negativno nabite delce molekul vode, negativni ion (Cl^-) pa pozitivno nabite delce molekul vode. Zaradi vzpostavljanja vodikovih vezi je ion obdan s plaščem molekul vode, ki se imenuje hidrationski ovoj. Med ioni s hidrationskimi ovojmi je mnogo prostih molekul vode, ki na sliki niso narisane.



Slika 2.6: Hidrationski ovoj okoli molekule vodotopne beljakovine.

Kot primer velike vodotopne molekule je prikazana molekula človeškega lizocima (zeleno). To je beljakovina, ki jo najdemo v solzah in slini in deluje protibakterijsko. V vodnem okolju je molekula lizocima obdana s hidrationskim ovojem (levo). Deli molekule beljakovine imajo na površini naboj, zato privlačijo molekule vode (desno). Med površino beljakovine in molekulami vode se vzpostavljajo vodikove vezi.

Voda je tudi na druge načine povezana z vzdrževanjem življenja na Zemlji

Voda je tudi na druge načine pomembna za vzdrževanje življenja. Tako molekule vode **sodelujejo v kemijskih reakcijah**. Pri nekaterih kemijskih reakcijah v celici, pri katerih se dve molekuli spojita v eno, se sprosti ena molekula vode. Pri obratnem procesu, pri katerem se večja molekula razgradi v dve, pa se molekula vode veže (glej sliko 2.9). Voda sodeluje kot reaktant ali produkt kemijskih reakcij tudi pri mnogih drugih procesih v celici, na primer pri fotosintezi in celičnem dihanju.

Zaradi vodikovih vezi med molekulami vode ima voda tudi precej **veliko specifično toploto**. To pomeni, da je v primerjavi z drugimi snovmi za *segrevanje* enega kilograma tekoče vode za 1 °C potrebno veliko energije. Hkrati to pomeni tudi, da kilogram tekoče vode odda veliko energije, preden se *ohladi* za 1 °C. V oceanih na Zemlji je zelo veliko vode; pri segrevanju ali ohlajanju oceanov se lahko vsrka ali odda velika količina energije, pa se pri tem temperatura vode le malo spremeni. Zato se temperatura oceanov zelo počasi spreminja med letnimi časi. Spomladi in poleti se oceani počasi segrevajo, jeseni in pozimi pa počasi ohlajajo. V oceanih je torej temperatura dokaj stabilna, kar predstavlja **stabilno življenjsko okolje za morske organizme**. Na globalni ravni pa oceani delujejo kot veliki zbiralniki energije, ki blažijo temperaturne spremembe v ozračju nad oceani in nad kopnim v različnih letnih časih. Če bi bili oceani na našem planetu manjši, bi bilo poleti na njem bistveno bolj vroče, pozimi pa bistveno bolj hladno, kot je sedaj. Voda, ki je v oceanih, tako sodeluje pri **uravnavanju podnebja na globalni ravni**.

Za vodo je značilno tudi **nenavadno spreminjanje gostote s spreminjanjem temperature**, ki je povezano z vodikovimi vezmi. Voda ima največjo gostoto pri 4 °C, led pa ima manjšo gostoto od tekoče vode in plava na njej. Voda v nekaterih vodnih telesih, na primer v jezerih in v oceanih na Zemljinih polih, lahko pozimi zmrzne. Ko se voda ohlaja, pri 4 °C doseže največjo gostoto, zato se spusti na dno vodnih kotanj, kjer ne zmrzne. Hkrati se voda, ki ima temperaturo 0 °C, dvigne proti gladini, saj je manj gosta in s tem tudi lažja. Zato voda vedno zmrzuje najprej na površini. Plast ledu, ki plava na jezeru, deluje kot toplotni izolator, ki preprečuje, da bi zmrznila vsa voda do dna jezera, tudi če temperatura ozračja pade precej pod 0 °C. Tako lahko vodni organizmi zimo preživijo v tekočem vodnem okolju pod plastjo ledu.

Zaradi vodikovih vezi ima tekoča voda **veliko površinsko napetost**, ki omogoča nekaterim živalim, da lahko hodijo po površini vode. Vodikove vezi v vodi so pomembne tudi pri transportu vode, ki jo drevo privzame iz tal s koreninami, do vrha drevesa. In še bi lahko naštevali. Nekatere primere povezav med vodo in življenjem bomo spoznali v naslednjih poglavjih.

Preveri, kaj znaš

1. Na temelju zgradbe molekule vode razloži, zakaj je voda polarna.
2. Na kakšne načine je voda pomembna za vzdrževanje življenja na Zemlji ter kako je to povezano z molekulsko zgradbo vode in njenimi fizikalnimi in kemijskimi lastnostmi?

2.3 Glavna značilnost organskih molekul je ogljikovo ogrodje

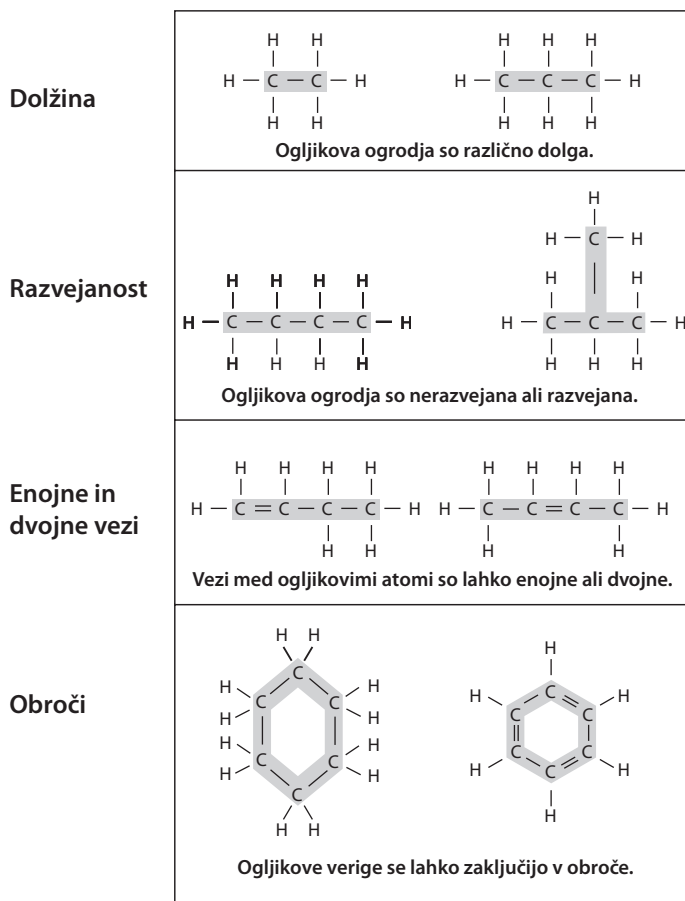
Spoznali smo že, da veliko večino mase celice sestavlja voda. Skoraj vso preostalo maso celice pa predstavlja snovi, ki vsebujejo različno dolge verige ogljikovih atomov.

Za življenje pomembna lastnost ogljika je, da se lahko na zelo različne načine povezuje z drugimi ogljikovimi atomi, pa tudi z drugimi elementi. Ogljikov atom ima v zunanji elektronski obli štiri elektrone, ki potrebujejo za tvorbo kemijske vezi vsak svoj partnerski elektron. Zato lahko vsak ogljikov atom tvori z drugimi atomi kar **štiri vezi**.

Vsak ogljikov atom v molekuli tako predstavlja križišče, v katerem se molekula lahko sestavlja naprej z drugimi atomi, in to v štirih smereh. Še največkrat se ogljikovi atomi povezujejo med seboj v različne strukture, ki jih s

skupnim imenom označujemo kot **ogljikovo ogrodje** (slika 2.7). Zaporedno povezani ogljikovi atomi resnično predstavljajo ogrodje, na katerega se na preostale vezi vežejo še drugi atomi. To so atomi vodika, kisika, dušika in žvepla.

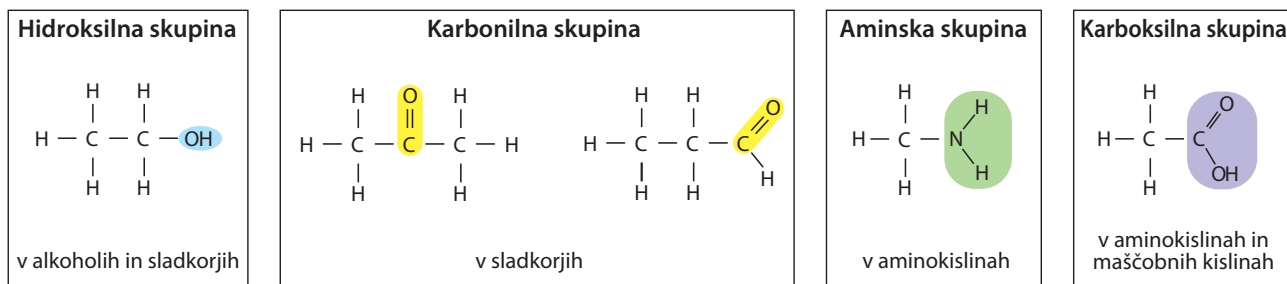
Ker so sprva mislili, da snovi, ki vsebujejo ogljikovo ogrodje, nastajajo samo v živih organizmih, so jih poimenovali s skupnim imenom **organske snovi**.



Slika 2.7: Ogljikovo ogrodje ima zelo raznolike oblike.

Verige, ki jih tvorijo ogljikovi atomi, so lahko različno dolge, ravne ali razvejane. Med seboj so lahko ogljikovi atomi povezani z enojnimi ali dvojnimi vezmi. Ogljikovi atomi so lahko vezani tudi v obroč. Na ogljikovo ogrodje so poleg vodikovih atomov lahko vezani nekateri drugi atomi, na primer kisik in dušik, kar na sliki ni prikazano.

Posebne lastnosti organskih snovi pa niso odvisne samo od ogljikovega ogrodja, ampak tudi od drugih atomov, ki so nanj pripeti. Skupine atomov v organskih molekulah, ki pogosto sodelujejo v kemijskih reakcijah, imenujemo **funkcionalne skupine**. Na **sliki 2.8** so prikazane štiri funkcionalne skupine, ki so pomembne za kemijo življenja. Mnoge organske molekule vsebujejo več funkcionalnih skupin, od katerih so odvisne njihove kemijske lastnosti.



Slika 2.8: Pogoste funkcionalne skupine v organskih molekulah

Velike organske molekule se izgradijo iz manjših molekul

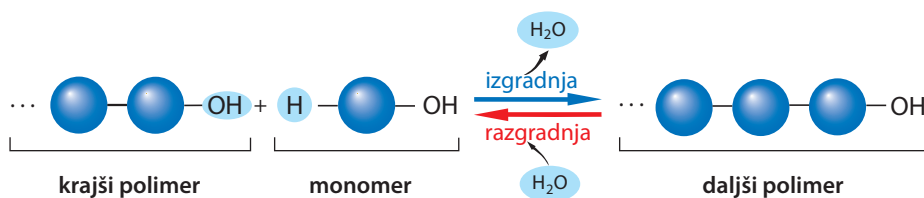
Mnoge organske molekule v celici so tako velike, da jih imenujemo **makromolekule**, kar pomeni velike molekule. Celica izgradi makromolekulo s povezovanjem stotin ali celo tisočev manjših molekul. Ti osnovni molekularni gradniki velikih molekul so **monomeri**. Molekule, zgrajene iz mnogih monomerov, imenujemo **polimeri**. Polimeri so podobni ogrlicam, ki nastanejo s povezovanjem mnogih enakih ali različnih kroglic. Kot si bomo ogledali v nadaljevanju, so polimeri denimo beljakovine, ki so zgrajene iz aminokislin, škrob, ki je zgrajen iz molekul glukoze, in nukleinske kisline, ki so zgrajene iz nukleotidov.

Organizmi polimere neprestano izgrajujejo in razgrajujejo. Mnoge molekule v človekovi hrani so denimo veliki polimeri (na primer škrob). Ti se v prebavilu najprej razgradijo v monomere, ki iz prebavila potujejo v kri, po krvi pa do vseh celic. Celice pa nato iz teh monomerov izgradijo sebi lastne polimere, na primer glikogen.

Pri dodajanju novega monomera na obstoječo verigo se odcepita dva atoma vodika in en atom kisika, ki se sestavijo v molekulo vode (H_2O ; **slika 2.9**); pri tem nastane močna kovalentna vez med monomeroma. To reakcijo imenujemo reakcija **dehidracije**. Pri razgradnji polimera pa se vez med monomeroma razcepi z dodajanjem molekule vode. Ta reakcija, ki je pravzaprav nasprotna dehidraciji, se imenuje **hidroliza**.

Zaradi raznolikih načinov povezovanja ogljikovih atomov med seboj in z drugimi atomi obstaja v celicah zelo veliko različnih organskih snovi, ki se razlikujejo po kemijskih in fizikalnih lastnostih ter po velikosti in obliki molekul. Kot bomo spoznali, je velikost in prostorska (tridimenzionalna) oblika molekul ključnega pomena za njihovo vlogo v organizmih. Različne organske molekule imajo lahko v celici zelo različne vloge – lahko so gradbeni elementi, skladišče energije ali pa sodelujejo v različnih procesih, pomembnih za vzdrževanje življenja.

Kljub temu da so organske molekule po zgradbi zelo raznolike, lahko večino organskih snovi uvrstimo v štiri osnovne skupine. To so **ogljikovi hidrati**, **beljakovine**, **nukleinske kisline** in **lipidi**. Snovi iz vsake skupine imajo skupne lastnosti, ki jih bomo spoznali v nadaljevanju.



Slika 2.9: Izgradnja in razgradnja organskih polimerov. Celica nekatere molekule zgradi s povezovanjem enakih ali različnih osnovnih gradnikov (monomerov) v dolge verige (polimere), pri čemer se odcepljajo molekule vode (dehidracija). Polimere lahko s pomočjo vezave vode celica tudi razgradi nazaj v monomere, pri čemer se molekule vode vežejo (hidroliza).

Preveri, kaj znaš

- Po čem se razlikujejo ogljikova ogrodja v različnih organskih spojinah?
- Nariši strukturno formulo spojine C_2H_4 . Upoštevaj, da ima vsak ogljikov atom štiri vezi in vsak vodikov eno vez.
- Kadar se dve molekuli glukoze ($C_6H_{12}O_6$) povežeta med sabo, se odcepi molekula vode. Kakšna je formula nastalega ogljikovega hidrata? Napiši enačbo te kemijske reakcije. Pri tem upoštevaj, da se pri kemijskih reakcijah atomi preuredijo in da noben atom ne izgine ali na novo nastane (zakon o ohranjanju mase).

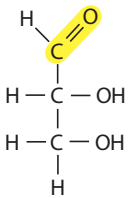
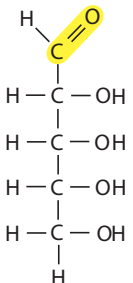
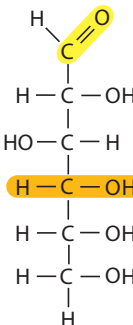
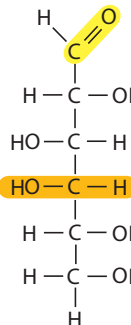
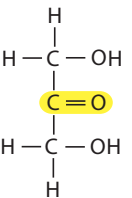
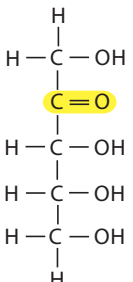
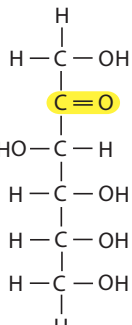
2.4 Ogljikovi hidrati so vir energije in gradbeni elementi

Ogljikovi hidrati so najbolj razširjene organske molekule, ki obstajajo na Zemlji. Dobro jih poznamo iz vsakdanjega življenja. Med ogljikove hidrate sodi denimo saharoza – namizni sladkor, ki je majhna molekula. Nekatere molekule ogljikovih hidratov pa so zelo velike, na primer celuloza, ki je glavna sestavina lesa in bombaža, in škrob, ki je glavna sestavina moke in krompirja.

Ogljikovi hidrati so **zgrajeni iz ogljika, vodika in kisika**, največkrat v **razmerju 1:2:1**. Nekateri ogljikovi hidrati vsebujejo tudi dušik, žveplo in fosfor, vendar so to izjeme.

Enostavni sladkorji so najpreprostejši ogljikovi hidrati

Najpreprostejši ogljikovi hidrati so **enostavni sladkorji** ali **monosaharidi**. Njihovo ogljikovo ogrodje vsebuje tri do deset ogljikovih atomov. Monosaharidi pa se ne razlikujejo samo po številu atomov v ogljikovem ogrodju, ampak tudi po namestitvi drugih atomov na ogljikovem ogrodju. Monosaharidi so tako dober primer raznolikosti zgradbe organskih molekul, s katero je povezana tudi vloga teh molekul v celici (**slika 2.10**). Seveda je monosaharidov mnogo več, kot jih je prikazanih na sliki. Pogosto ogljikovo ogrodje v monosaharidih, raztopljenih v vodi, ni linearno, ampak se sklene v obroč (**slika 2.11**).

	3 ogljikovi atomi (C ₃ H ₆ O ₃)	5 ogljikovih atomov (C ₅ H ₁₀ O ₅)	6 ogljikovih atomov (C ₆ H ₁₂ O ₆)	
Karbonilna skupina na koncu ogljikovega ogrodja	 <p>gliceraldehid (nastaja pri razgradnji glukoze)</p>	 <p>riboza (sestavina molekule RNA)</p>	 <p>glukoza (vir energije za organizme)</p>	 <p>galaktoza (vir energije za organizme)</p>
Karbonilna skupina na sredini ogljikovega ogrodja	 <p>dihidroksiaceton (nastaja pri razgradnji glukoze)</p>	 <p>ribuloza (vmesni produkt pri fotosintezi)</p>	 <p>fruktoza (vir energije za organizme)</p>	

Slika 2.10: Primeri enostavnih sladkorjev ali monosaharidov. Monosaharidi se razlikujejo po številu ogljikovih atomov v ogljikovem ogrodju. Razlikujejo se tudi po namestitvi karbonilne skupine (-CO) v molekuli (rumeno polje) in po prostorski namestitvi atomov, ki so vezani na ogljikovo ogrodje (oranžno polje). V vseh prikazanih molekulah je razmerje med številom ogljikovih, vodikovih in kisikovih atomov 1:2:1, kar lahko zapišemo s splošno formulo (CH₂O)_n.

Med monosaharidi je največ takih, ki jih celica uporablja kot **vir energije** (na primer glukoza, galaktoza in fruktoza). Kot bomo spoznali kasneje, celica monosaharide uporablja kot gorivo – postopno jih razgradi, pri čemer se iz njih sprošča energija, ki jo celica uporabi za opravljanje celičnega dela (glej poglavje 7.1). Nekatere monosaharide celica uporabi tudi kot gradnike drugih organskih molekul, ki ne sodijo med ogljikove hidrate. Tako bomo monosaharida ribozo in deoksiribozo srečali kot gradnika nukleinskih kislin (glej sliki 2.28 in 2.31). Celica lahko monosaharide uporabi tudi kot **surovino** – snov, ki jo v kemijskih reakcijah lahko predela v drugo snov. Tako lahko denimo celica uporabi monosaharide kot izhodno surovino za izdelavo maščob (glej poglavje 7.2).

Sestavljeni sladkorji vsebujejo več enostavnih sladkorjev

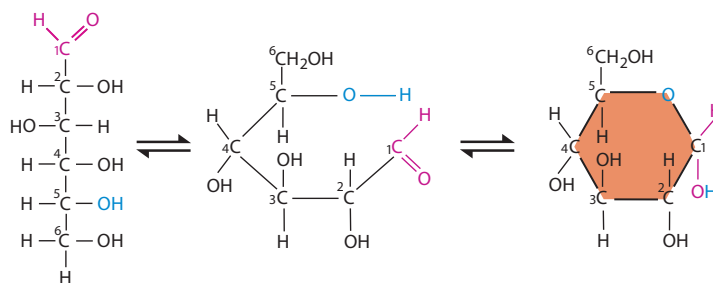
Monosaharidi pa se lahko tudi povezujejo med seboj v večje molekule. Če se povežeta dva monosaharida, nastane **disaharid**, če pa je med seboj povezanih veliko monosaharidov, govorimo o **polisaharidu**. Disaharidi in polisaharidi so **sestavljene sladkorji**.

Kot primer si oglejmo disaharid, ki nastane z vezavo monosaharidov glukoze in fruktoze. Nastali disaharid se imenuje trsni sladkor ali saharoza (**slika 2.12**). To snov dobro poznamo, saj jo vsak dan uporabljamo v gospodinjstvu pod imenom »sladkor«. Celice izgradijo veliko različnih disaharidov. Če se na primer med seboj povežeta dve molekuli glukoze, nastane disaharid maltoza.

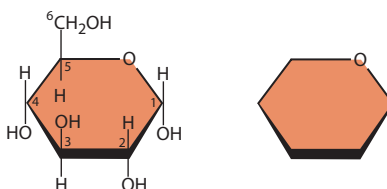
Pa raznolikosti ogljikovih hidratov še nismo prišli do konca. Če se združi veliko monosaharidov v še večjo molekulo, dobimo **polisaharide**. Ti so lahko sestavljeni iz enakih ali različnih monosaharidov. Ker se ogljikov atom lahko veže na druge atome na različne načine, se monosaharidi lahko povezujejo med seboj v ravne ali pa v razvejane verige.

Preden si ogledamo primere polisaharidov, moramo omeniti še eno posebnost njihovih gradnikov – monosaharidov, ki povečuje njihovo raznolikost. Ob primeru glukoze smo že spoznali, da se ogljikovo ogrodje v monosaharidu lahko sklene v obroč (**slika 2.11**). Pri nekaterih monosaharidih lahko pri tem nastane več različnih tipov obročev. Tako se lahko linearna molekula glukoze v vodnem okolju sklene v dva nekoliko različna obroča, ki ju imenujemo α -glukoza in β -glukoza (**slika 2.13**). Čeprav se morda zdijo razlike med tema tipoma glukoze molekule malenkostne, pa lahko majhne razlike v prostorski obliki molekule močno vplivajo na njene lastnosti. Ali se denimo polimer α -glukoze kaj razlikuje od polimera β -glukoze?

Sklenitev ogljikovega ogrodja v obroč



Poenostavljen prikaz zgradbe molekule



Vsako oglišče v obroču je ogljikov atom.

Slika 2.11: Ogljikovo ogrodje v monosaharidu se lahko sklene v obroč. Prikazan je primer molekule glukoze. Kemijsko ravnovesje med linearno in obročasto obliko molekule je močno pomaknjeno v smer obročaste oblike, zato je v vodnem okolju večina molekul glukoze obročastih. Pri nastanku obroča se atomi v molekuli preuredijo - ogljikov atom 1 se veže s kisikovim atomom na ogljikovem atomu 5. Molekulska formula linearne in obročaste oblike glukoze je $C_6H_{12}O_6$. V treh dimenzijah si lahko ogljikov obroč predstavljamo kot ravnino, iz katere navzgor in navzdol štrlijo vezani atomi in skupine.

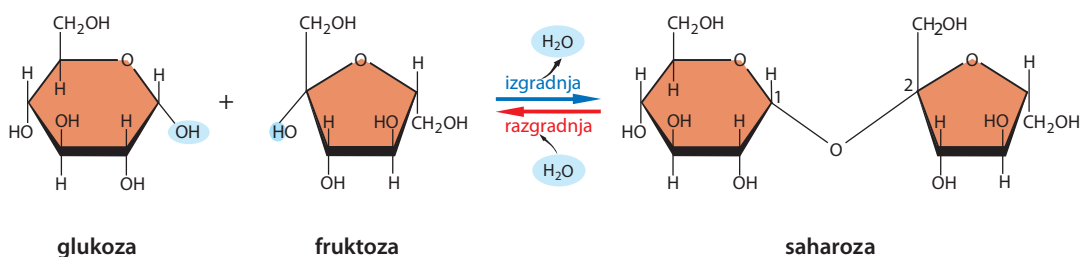
Primerjava med polimerom α -glukoze (na primer škrob in glikogen) in polimerom β -glukoze (na primer celuloza) je prikazana na **sliki 2.13**. Čeprav gre v obeh primerih za polimer glukoze, pa se polimer α -glukoze v vodnem okolju v celici zvije v spiralno prostorsko obliko, polimer β -glukoze pa tvori snope nitastih molekul. Tako je posledica majhne razlike v zgradbi monomerov kar velika razlika v prostorski obliki polimerov, ki je povezana tudi z vlogo teh polimerov v celici.

Spiralni polimeri α -glukoze se v celici nalagajo v majhna zrna – v rastlinski celici v škrobna zrna, v živalski pa v glikogenska zrna. Škrob in glikogen sta **založni snovi** – kadar celicam primanjkuje monosaharidov, se polimera škrob in glikogen razgradita na glukozne monomere, ki jih celice lahko porabijo za svoje potrebe. Rastline škrob nalagajo na primer v gomoljih (krompir) in v semenih (pšenica). Glikogen je založni polisaharid pri živalih. V človekovem telesu se zrna glikogena nalagajo predvsem v jetrih in mišicah.

Nitasti polimeri β -glukoze, ki jih najdemo v celulozi, pa služijo kot **gradbeni elementi**. Rastlinska celica snope celuloznih molekul vgrajuje v celično steno, kjer nastane preplet snopov celuloze. Zaradi prepleta snopov celuloznih molekul je celična stena toga in rastlinski celici nudi zunanjo oporo. Polisaharidi so lahko zelo velike molekule. Tako posamezne molekule celuloze v lesu vsebujejo od 300 do 1700 glukoznih monomerov, v bombažu pa od 800 do 10 000.

Tudi pri živalih najdemo gradbeni polisaharid. To je **hitin**, ki je glavna sestavina zunanjega ogrodja členonožcev (na primer rakov in žuželk; **slika 2.14**). Kot gradbeni snov se hitin nahaja tudi v celični steni gliv. Posebnost hitina je, da poleg ogljika, vodika in kisika vsebuje tudi dušik.

Monosaharidi (na primer glukoza in fruktoza) in disaharidi so dobro topni v vodi. Polisaharidi, kot sta celuloza in škrob, pa imajo tako velike molekule, da v vodi niso topni. Kljub temu pa se na te velike molekule voda veže z vodikovimi vezmi. Zato na primer papirnata brisača, katere glavna sestavina je celuloza, dobro vpija vodo, zrnca v moki, ki vsebujejo škrob, pa v vodi nabreknejo. Skoraj vsi ogljikovi hidrati so torej **hidrofilni**.

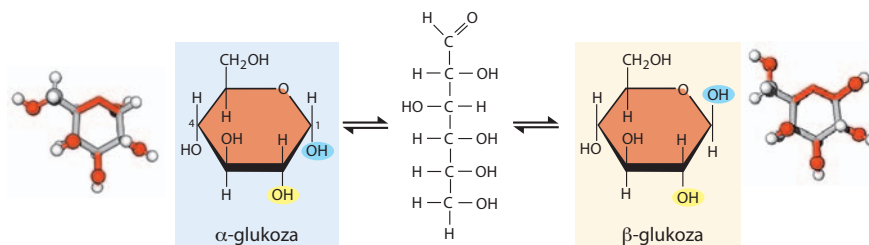
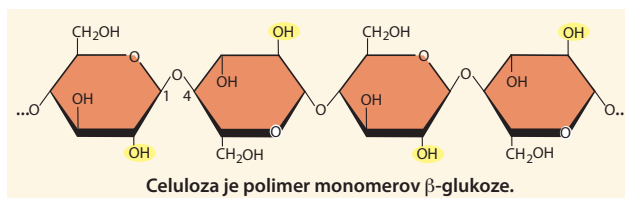
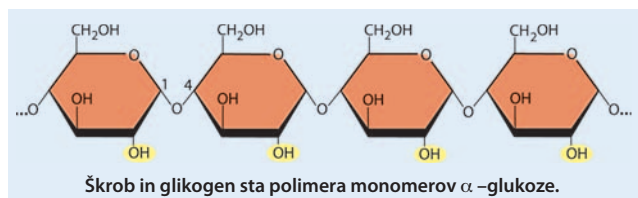
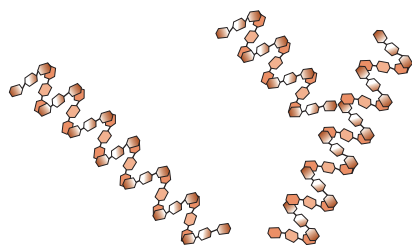


Glavna sladkorja v medu sta monosaharida glukoza in fruktoza.

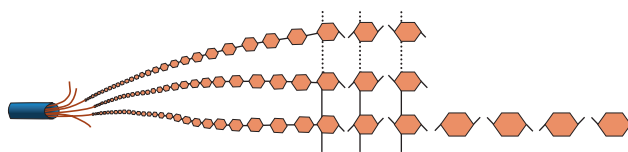


Namizni sladkor je disaharid – saharoza ali trsni sladkor.

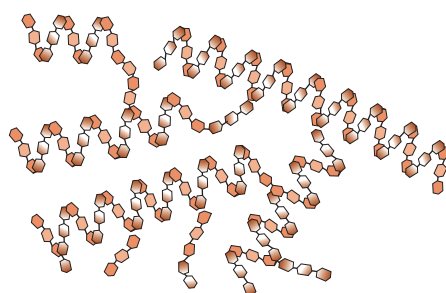
Slika 2.12: Izgradnja in razgradnja disaharidov. Namizni sladkor je disaharid saharoza, ki nastane z vezavo med dvema monosaharidoma – glukozo in fruktozo. Pri nastanku vezi med monosaharidoma se odcepi molekula vode (dehidracija). Disaharid se lahko tudi razgradi nazaj v monosaharida, pri čemer se veže molekula vode (hidroliza). Glukoza in fruktoza vsebujeta šest ogljikovih atomov, vendar se zaradi različne namestitve karbonylna skupine (glej sliko 2.10) pri glukozni ogljikovo ogrodje sklene v šestčlenski obroč, pri fruktozi pa v petčlenski obroč.

A. Nastanek obročev α - in β -glukozeB. Polimeri α - in β -glukozeC. Tridimenzionalna zgradba polimerov α - in β -glukoze

škrob
rastlinski založni polisaharid

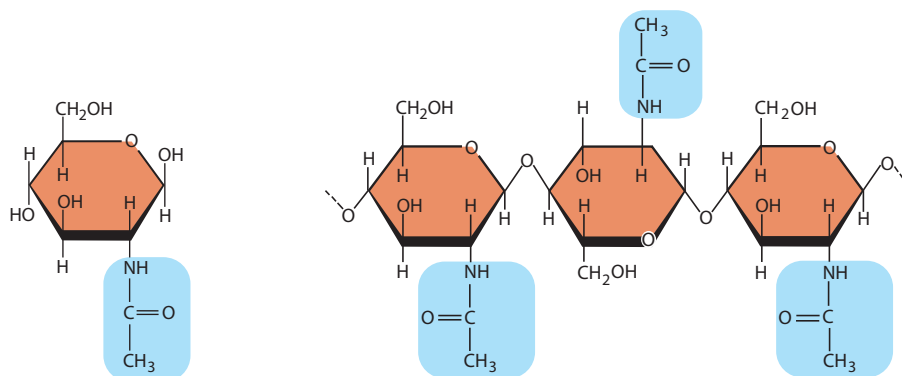


celuloza
rastlinski gradbeni polisaharid
(nitasti snop molekul)



glikogen
živalski založni polisaharid (zrna)

Slika 2.13: Polimeri glukoze imajo različno zgradbo in lastnosti. **A:** Ogljikovo ogrodje v glukozi se lahko sklene v obroč na dva načina, ki se razlikujeta po prostorski namestitvi hidroksilnih (-OH) skupin (modro polje). Obročasti obliki se imenujeta α -glukoza in β -glukoza in imata različno prostorsko obliko. **B:** V polimeru α -glukoze so vse rumeno označene hidroksilne skupine na isti strani dolge verišne molekule, v polimeru β -glukoze pa izmenično na zgornji in spodnji strani molekule. Polimera imata različno prostorsko obliko. **C:** Zaradi različne kemijske zgradbe imajo polimeri α -glukoze in β -glukoze v vodnem okolju različno prostorsko obliko. Polimeri α -glukoze, kot sta škrob in glikogen, se zvijejo v spiralo. Škrob je mešanica dveh vrst polimerov α -glukoze, od katerih je eden nerazvejan, drugi pa močno razvejan – iz glavne verige štrli veliko stranskih. Glikogen je še bolj razvejan od škroba. Celuloza, ki je polimer β -glukoze, pa je urejena v snope linearnih, nerazvejanih molekul, ki so med seboj povezane z vodikovimi vezmi. Opomba: Zaradi jasnosti prikaza v prostorskih (tridimenzionalnih) modelih molekul nekateri atomi niso prikazani kot kroglice.



monomer
glukozamin

polimer
hitin



Hitin je sestavina zunanega
ogrodja členonožcev.

Slika 2.14: Hitin je polisaharid, ki vsebuje dušik. Hitin je polimer glukozamina, ki vsebuje na ogljikovo ogrodje vezan dušikov atom.

Zanimivost

V človekovem telesu se ogljikovi hidrati shranjujejo kot glikogen

Izraz glikogen izvira iz grških besed *glycos* – sladko in *gen* - nastati. Beseda glikogen torej skriva nekaj, kar postane sladko. Pri človeku se zaužiti ogljikovi hidrati (na primer škrob in celuloza) v prebavilu razgradijo v monosaharide. Monosaharidi s krvjo potujejo do jeter, kjer vstopijo v jetrne celice in se povežejo v polisaharid glikogen, ki čaka kot založna snov. Kadar celicam v telesu primanjkuje monosaharidov, se glikogen razgradi na monomere – molekule glukoze. Te po krvi pripotujejo do celic, ki glukozo potrebujejo.

Zanimivost

V človekovem prebavilu se škrob razgradi, celuloza pa ne

Škrob je ena od najpomembnejših sestavin človekove prehrane. Veliko ga vsebujejo gomolji krompirja, semena žit, iz katerih pripravljamo moko, in banane. V človekovem prebavilu se škrob razgradi na monosaharide, ki iz prebavila potujejo v kri, po krvi pa do vseh celic.

Človek s hrano rastlinskega izvora (na primer sadje in zelenjava) poje tudi veliko celuloze, ki pa se v človekovem prebavilu ne razgradi na glukozne monomere. Celulozo neprebavljeno iztrebimo. Celulozo in nekatere druge neprebavljive polimere v rastlinski hrani imenujemo vlaknine ali balastne snovi.

Zakaj se v človekovem prebavilu škrob razgradi, celuloza pa ne, saj sta vendar oba polimera glukoze? Monomeri se v organizmu ne sestavljajo v polimere in razgrajujejo nazaj v monomere kar sami od sebe. Pri teh reakcijah sodelujejo posebne beljakovine – encimi (glej poglavje 3.4), ki kot majhni »strojčki« sestavljajo monomere v daljše verige ali odcepljajo monomere iz polimerov. Tako imamo poseben encim – amilazo, ki razstavlja škrob na monomere, in drug encim - celulazo, ki razgrajuje na monomere celulozo. V človekovem prebavilu najdemo samo amilazo, celulaze pa ne. Amilaza ne more razcepiti molekule celuloze, saj je ta kemijsko različna od molekule škroba in ima zato drugačno prostorsko obliko (**slika 2.13**). Lahko si predstavljamo, da »strojček« amilaza molekule celuloze ne more prijeti na pravi način, da bi z nje lahko odcepil glukozo.

Zanimivo je, da prežvekovalci (govedo, ovce, koze, kamele, jelenjad) celulozo lahko prebavijo, čeprav njihove celice tako kot človekove ne izdelujejo celulaze. V njihovem vampu namreč živijo posebni prokarioti, ki proizvajajo encime za razgradnjo celuloze. Zato se celuloza razgradi na glukozne monomere, ki nato po krvi potujejo do vseh celic. Podobno imajo v prebavilu simbiotske mikroorganizme, ki lahko razgradijo celulozo, tudi nekatere druge živali, recimo termiti. Ti v nekaterih toplejših predelih Zemlje dodobra načnejo lesene zgradbe, saj se prehranjujejo z lesom, katerega glavna sestavina je celuloza.

Preveri, kaj znaš

1. Monosaharida glukoza in fruktoza imata enako molekulsko formulo ($C_6H_{12}O_6$). Kako je mogoče, da imata ti spojini različne kemijske in fiziološke lastnosti? Fruktoza je na primer za človekov okus dosti bolj sladka kot glukoza.
2. Na primeru polisaharidov razloži povezavo med monomeri in polimeri.
3. Kaj bi se zgodilo, če bi kravi dali antibiotik, ki bi pobil vse prokariote v njenem prebavilu?

2.5 Lipidi so raznolika skupina hidrofobnih snovi

Druga skupina organskih snovi, ki jih najdemo v celicah, so **lipidi**. To so na primer maščobe, ki so v maslu in slanini v trdni obliki, v oljih pa v tekoči. Med lipide spadajo tudi različni voski, ki jih najdemo kot voščen poprh na površini mnogih rastlinskih plodov (na primer srebrnkasta plast na plodu slive).

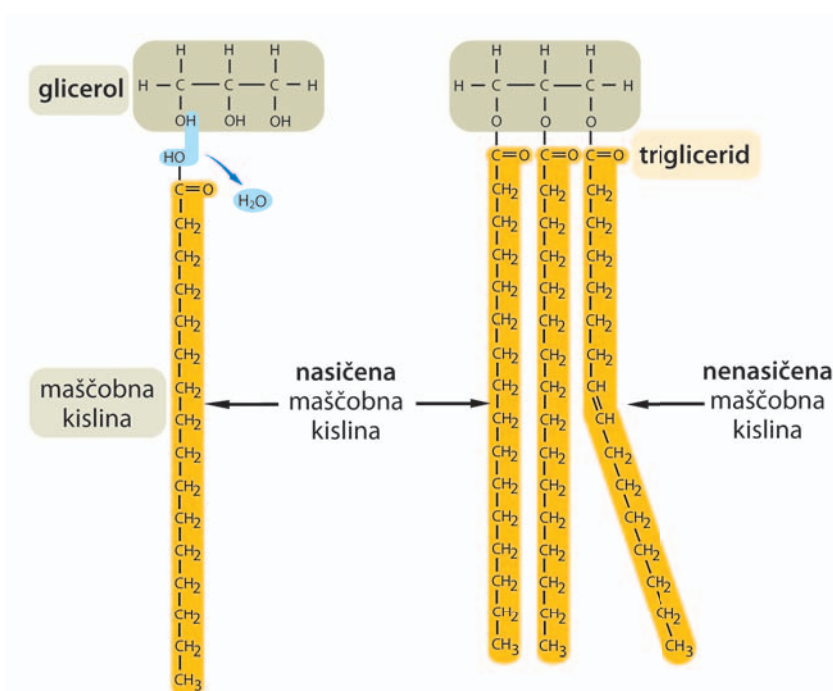
Lipidi so izredno raznolika skupina organskih snovi. Njihova skupna lastnost je, da so **hidrofobni** – razmeroma slabo se topijo v vodi, večinoma pa sploh ne. Kot ste spoznali v poglavju o vodi, je vodotopnost odvisna predvsem od polarosti molekul (glej sliko 2.3B). Nekateri lipidi so torej rahlo polarni, večina pa jih je nepolarnih.

Lipidi so tudi edina od štirih skupin organskih molekul, v kateri ne najdemo polimerov. Zato med lipidi ne najdemo makromolekul. Kot bomo spoznali, pa tudi nekateri lipidi nastajajo z združevanjem manjših molekul v večje.

Od raznolikih lipidov si bomo ogledali skupine, ki so za razumevanje biologije najpomembnejše – maščobe, fosfolipide in steroide.

Maščobe so dolgoročna zaloga energije

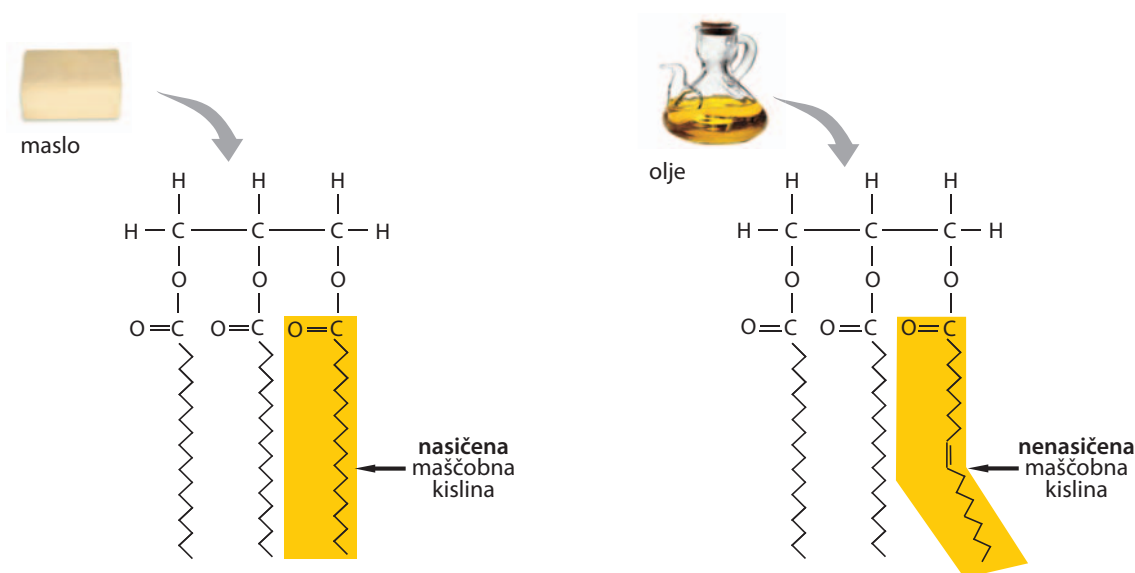
Maščobe v človekovi prehrani vsebujejo predvsem **trigliceride**. Vsaka molekula triglicerida je sestavljena iz alkohola glicerola, na katerega se z odcepom vode vežejo tri molekule maščobnih kislin (**slika 2.15**). Maščobna kislina je zgrajena iz dolgega nerazvejanega ogljikovega ogrodja, na katerega so vezani samo vodikovi atomi. Na koncu ogljikovega ogrodja je nameščena karboksilna skupina ($-COOH$), ki je značilna za organske kisline.



Slika 2.15: Nastanek in zgradba maščobe – triglicerida. Triglicerid nastane z vezavo treh maščobnih kislin na glicerol. Pri vezavi vsake maščobne kisline se odcepi molekula vode – gre za reakcijo dehidracije (na sliki je prikazana samo vezava prve maščobne kisline). Triglicerid ima »glavo«, ki vsebuje glicerol, in tri dolge hidrofobne »repe« iz maščobnih kislin.

Maščobna kislina je lahko **nasičena**, kar pomeni, da vsebuje samo enojne vezi med ogljikovimi atomi. Njeno ogljikovo ogrodje je ravno. **Nenasičena** maščobna kislina pa vsebuje v ogljikovem ogrodju poleg enojnih tudi dvojne vezi. Na mestu dvojne vezi je ogljikovo ogrodje upognjeno (**slika 2.15**). Triglicerid, ki vsebuje tri nasičene maščobne kisline, je **nasičena maščoba**. Triglicerid, ki vsebuje vsaj eno nenasičeno maščobno kislino, pa je **nenasičena maščoba**.

Večina maščob živalskega izvora, kot sta maslo in loj, vsebuje velik delež nasičenih maščobnih kislin. Zaradi ravne oblike nasičenih maščobnih kislin se lahko molekule teh maščob naložijo tesno skupaj, zato so te maščobe pri sobni temperaturi trdne. Maščobe iz rib in rastlin pa vsebujejo veliko nenasičenih maščobnih kislin. Zaradi upognjene oblike nenasičenih maščobnih kislin se molekule ne morejo naložiti tako tesno skupaj, zato so nenasičene maščobe pri sobni temperaturi večinoma tekoče (**slika 2.16**). Primeri nenasičenih maščob so ribje olje in različna rastlinska olja, kot so sončnično, oljčno in koruzno.



Slika 2.16: Nasičene in nenasičene maščobe. Pri sobni temperaturi se molekule nasičenih maščob, na primer v maslu, lahko zložijo tesno skupaj, zato so te maščobe trdne. Molekule nenasičenih maščob, na primer v oljčnem olju, pa se ne morejo naložiti tako tesno skupaj, zato so te maščobe tekoče. Na prikazu zgradbe molekule vsako oglišče v cik-cakasti črti predstavlja en ogljikov atom, črtice med njimi pa kemijske vezi.

V kemijskih vezeh maščob, predvsem v maščobnih kislinah, je shranjene veliko energije. Kilogram maščobe vsebuje kar dvakrat več energije kot kilogram ogljikovih hidratov, na primer škroba ali glikogena. Zato so pri večini organizmov to najpomembnejše molekule za **dolgoročno shranjevanje energije**.

Ker so maščobe hidrofobne in se v vodi ne topijo, se v celici maščobne molekule zbirajo v majhne kapljice. Ta pojav poznamo tudi iz vsakdanjega življenja. Če v vodo dodamo olje in mešanico močno pretresemo, se olja samodejno zberejo v oljne kapljice, ki so obdane z vodo.

Zanimivost

Tekoče olje in trdna margarina

Včasih želijo živilski tehnologi pri proizvodnji prehranskih izdelkov uporabiti kot surovino tekoče rastlinsko olje in iz njega narediti trden izdelek. Primer je proizvodnja margarine in arašidovega masla. Pri proizvodnji teh izdelkov se nenasičene maščobne kisline v olju pretvorijo v nasičene z dodajanjem vodika, ki se veže na ogljikove atome z dvojnimi vezmi. Z nasičenjem maščobnih kislin olje pretvorijo iz tekočega v trdno stanje.

Zanimivost**Maščobe in glikogen kot zaloga energije**

Maščobe na kilogram mase vsebujejo več energije kot ogljikovi hidrati. Zato mnoge gibljive živali, vključno s človekom, za dolgoročno skladiščenje energije uporabljajo predvsem maščobe. Založno tkivo, ki vsebuje v organskih snoveh vezano določeno količino energije, je namreč dosti lažje, če je založna snov maščoba in ne glikogen.

Tako ptiči, ki se selijo v daljne kraje in potrebujejo za en sam let veliko energije, to shranjujejo v obliki maščob. Drugače bi bili pretežki. Živali, ki se ne premikajo prav dosti, na primer školjke, pa shranjujejo energijo v obliki glikogena, saj jim teža telesa ne pomeni ovire. Shranjevanje glikogena pa ima tudi prednost – organizmi lahko iz njega zelo hitro sprostijo veliko energije. Proces sproščanja energije iz maščob je namreč bolj zapleten in dolgotrajen.

Molekule fosfolipidov se v vodi samodejno uredijo v dvosloj

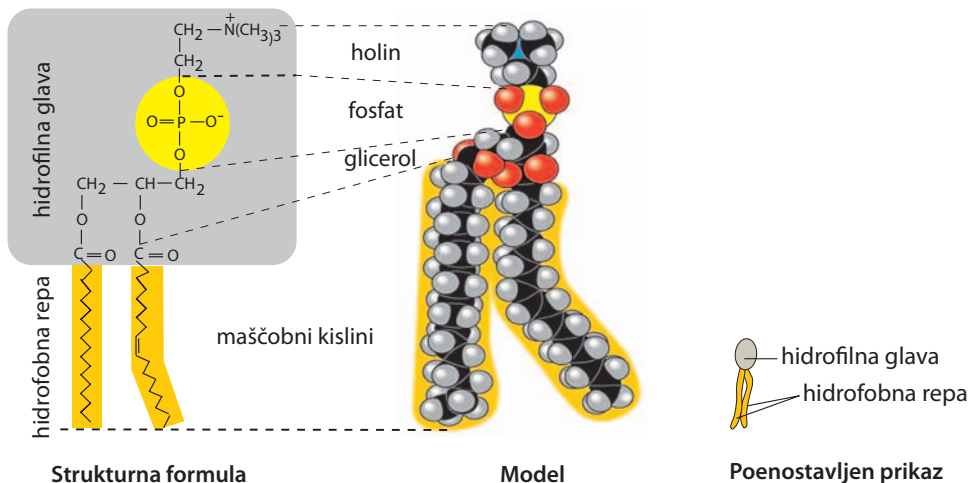
Za obstoj celice je pomembna še ena skupina lipidov – **fosfolipidi**. Kot bomo spoznali v nadaljevanju, so fosfolipidi **pomembna sestavina celičnih membran** (glej poglavje 3.5). Po zgradbi so zelo podobni trigliceridom, le da imajo na glicerol namesto ene maščobne kisline vezano **fosfatno skupino**, ki ima negativni naboj (**slika 2.17**). Na fosfatno skupino se lahko vežejo različne skupine, ki so nabite ali polarne. Različni fosfolipidi vsebujejo različne skupine, vezane na fosfatno skupino, in različne maščobne kisline. Vendar pa je njihova osnovna zgradba zelo podobna in imajo zato tudi zelo podobne fizikalne in kemijske lastnosti.

Dve maščobni kislini kot nekakšna »repa« molita iz preostalega dela molekule fosfolipida, fosfatna skupina pa štrli v nasprotno smer in nas tako spominja na »glavo«. To daje celotni molekuli posebne lastnosti, saj je glava električno nabita, medtem ko nepolarna repa nimata električnega naboja. Zato ima takšna molekula v vodi dvojno naravo. Glava privlači nasprotno nabite dele vodnih molekul, zato se v vodi topi. **Glava** je torej **hidrofilna**. Nepolarna **repa** pa nimata naboja, zato sta **hidrofobna** – v vodi se ne topita in molekule vode se nanju ne vežejo (**slika 2.17**).

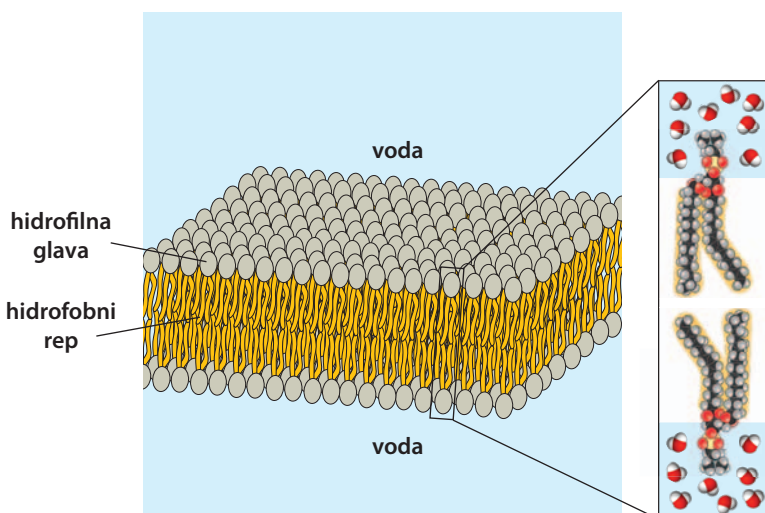
Kaj se zgodi, če damo fosfolipide v vodo? **V vodnem okolju** se molekule fosfolipidov **samodejno uredijo v fosfolipidni dvosloj** (**slika 2.18**). Molekule se uredijo na poseben način. Hidrofobne glave fosfolipidov so v obeh slojih obrnjene proti vodi, hidrofobni repi obeh slojev pa tičijo skupaj v sredici dvosloja – torej so nameščeni tako, da niso izpostavljeni vodi, saj se v njej ne topijo.

Zgradba fosfolipidnega dvosloja je pravzaprav podobna sendviču, ki ga naredimo iz dveh kosov kruha, vmes pa na debelo premažemo z maslom. Kruh predstavlja hidrofilne glave, maslo pa hidrofobne repe. Če tak sendvič vržemo v vodo, se oba kosa kruha omočita – na molekule škroba v kruhu se z vodikovimi vezmi vežejo molekule vode. Maslo med kosoma kruha pa ostane neomočeno – maščobe v njem so nepolarne, zato se nanje molekule vode ne vežejo. Podobno so v fosfolipidnem dvosloju hidrofilne glave obdane z molekulami vode, ki jih privlači naboj glave, v območju hidrofobnih repov pa molekul vode ni.

Fosfolipidni dvosloj je sestavina celične membrane. V celični membrani so v fosfolipidni dvosloj vrinjene beljakovine, ki imajo v membrani posebne vloge. Kakšno vlogo imajo fosfolipidni dvosloj in beljakovine pri delovanju membrane, pa si bomo ogledali v nadaljevanju (glej poglavje 3.5).



Slika 2.17: Zgradba fosfolipida. Kemijska zgradba fosfolipidne molekule je prikazana na tri načine. Fosfolipid ima na glicerol vezani dve maščobni kislini, namesto tretje maščobne kisline pa negativno nabito fosfatno skupino. Skupina, ki je vezana na fosfatno skupino (kot primer je prikazan holin), pogosto vsebuje pozitivno nabit dušik. Zaradi takšne zgradbe ima molekula fosfolipida posebne lastnosti – vsebuje hidrofilno glavo in hidrofobni rep.



Slika 2.18: V vodnem okolju se fosfolipidi samodejno uredijo v dvosloj. Fosfolipidne molekule se uredijo tako, da so hidrofilne glave v obeh slojih obrnjene proti vodi, hidrofobni repi pa tičijo skupaj v sredici dvosloja.

Povezava z evolucijo

E 2.2 Samodejno urejanje fosfolipidov v dvosloj je bilo pomembno za nastanek življenja

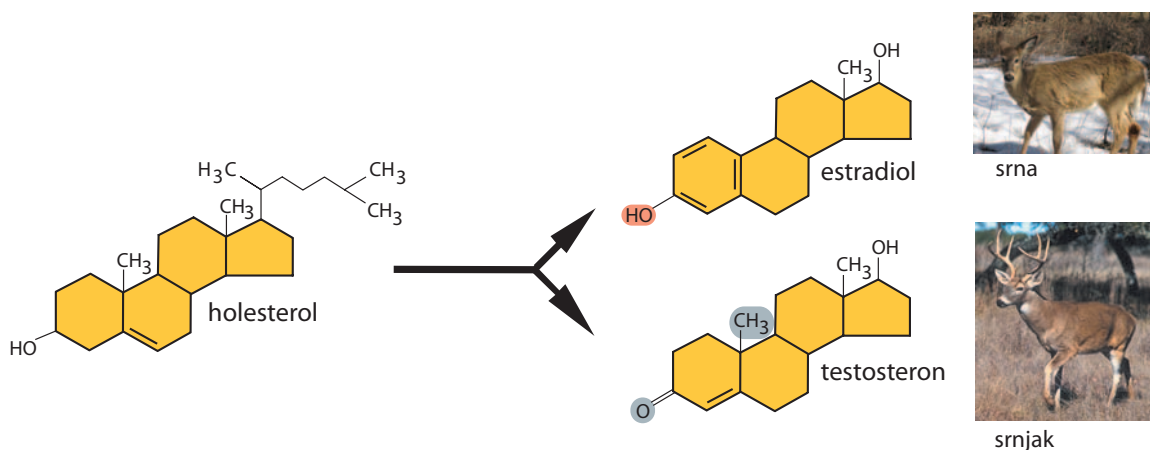
Fosfolipidni dvosloj je sestavina membran v celicah vseh danes živečih organizmov. Sklepamo lahko, da je zadnji skupni prednik vseh danes živečih organizmov v celici vseboval fosfolipidni dvosloj. Najverjetneje je bila sposobnost fosfolipidov, da se v vodnem okolju samodejno uredijo v dvosloj, pomembna za nastanek življenja. Fosfolipidi so bili namreč verjetno med organskimi molekulami, ki so na Zemlji nastajale v kemijskih reakcijah v neživi naravi še pred nastankom življenja.

Znanstveniki so s poskusi dokazali, da po mešanju fosfolipidov z vodo v epruveti samodejno nastanejo mehurčki, ki vsebujejo vodo in so obdani s fosfolipidnim dvoslojem. Verjetno je bilo takšno samodejno nastajanje fosfolipidnih mehurčkov pomemben korak v evoluciji prvih preprostih celic. Za samodejno urejanje fosfolipidov ni potrebna informacija – proces poteče sam od sebe, ne da bi za to potrebovali informacijo, zapisano v molekuli DNA. Fosfolipidni dvosloj ima tudi lastnost, da izbirno prepušča snovi – skozi dvosloj lahko prehajajo majhne nepolarne molekule, polarne, nabite in velike molekule pa ne (glej sliko 3.22). Izbirna izmenjava snovi med celico in okoljem pa je pomembna lastnost življenja, saj celica v notranjosti vzdržuje drugačno kemijsko sestavo snovi kot je v njenem okolju.

Steroidi vsebujejo štiri ogljikove obroč

Steroide uvrščamo med lipide, ker so **hidrofobni**. Njihova zgradba in vloga v celici pa je precej drugačna od lipidov, ki smo jih spoznali doslej.

Vsi steroidi vsebujejo štiri ogljikove obroč (slika 2.19). Eden od pomembnih steroidov je holesterol, ki je pri živalih, tudi pri človeku, sestavina celične membrane. Holesterol je tudi izhodna spojina, iz katere v telesu vretenčarjev, tudi človeka, nastajajo spolni hormoni, kot sta estradiol in testosteron.



Slika 2.19: Primeri steroidov. Vsi steroidi vsebujejo štiri ogljikove obroč, ki so prikazani poenostavljeno. Različni steroidi imajo na te štiri obroč vezane različne stranske skupine. Steroidi imajo v organizmih različne vloge. Holesterol je denimo sestavina celične membrane, iz njega pa organizmi izdelajo tudi druge stereoide, recimo ženski spolni hormon estradiol in moški spolni hormon testosteron.

Zanimivost

Steroidi in doping

Snovi, ki jih imenujemo anabolični steroidi, so sintetične različice moškega spolnega hormona testosterona. Testosteron pri moških povzroči povečanje mišične in kostne mase v puberteti in vzdržuje moške telesne značilnosti celo življenje. Anabolični steroidi posnemajo učinke naravnega testosterona, zato jih nekateri športniki uporabljajo kot sredstvo za povečanje velikosti mišic prek meje, ki jo omogoča zgolj trd trening. Leta 2003 je tako športni svet vznemirila novica, da mnogi športniki kot sredstvo za doping uporabljajo nov anabolični steroid, imenovan THG.

Jemanje anaboličnih steroidov pa ima lahko tudi hude telesne in psihološke posledice, kot so napadi nasilja, depresija, poškodbe jeter, zmanjšana moda, zmanjšan spolni nagon in neplodnost. Zadnji trije simptomi se pojavijo, ker jemanje anaboličnih steroidov pogosto povzroči, da se v telesu zmanjša normalna proizvodnja spolnih hormonov.

Preveri, kaj znaš

1. Na nalepkah na živilih, ki opisujejo njihovo sestavo, lahko najdemo tudi oznako »nenasičene maščobe«. Kaj to pomeni?
2. Primerjaj zgradbo maščobe (triglicerida) z zgradbo fosfolipida.
3. Kakšna je povezava med kemijsko zgradbo fosfolipidov in njihovo sposobnostjo, da se v vodnem okolju samodejno uredijo v dvosloj?

2.6 Beljakovine opravljajo večino nalog, pomembnih za vzdrževanje življenja

Tretja skupina organskih snovi, značilnih za organizme, so **beljakovine** ali **proteini**. V človekovem telesu najdemo desetisoče različnih beljakovin. Vsaka ima drugačno prostorsko obliko, ki ustreza posebni vlogi, ki jo ima ta beljakovina v celici. Kako je mogoče, da obstaja tako veliko število različnih beljakovin?

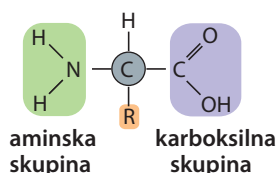
Beljakovine so polimeri aminokislin

Beljakovine so polimeri, sestavljeni iz monomerov – **aminokislin**. Vse beljakovine so zgrajene iz 20 različnih aminokislin, ki se v različnih zaporedjih povezujejo v dolge verige. Običajno beljakovine vsebujejo od 50 do 2000 aminokislin.

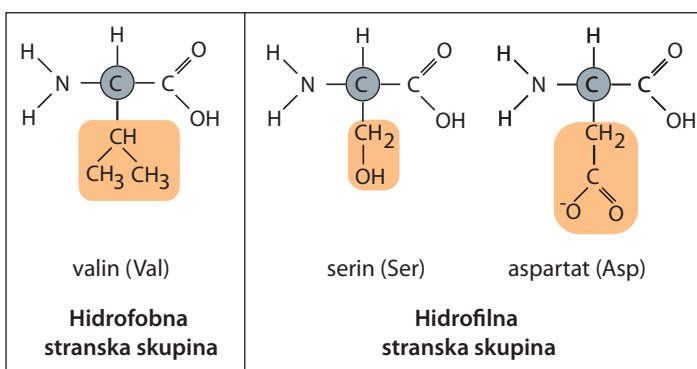
V vseh aminokislinah so na osrednji ogljikov atom vezane štiri skupine (**slika 2.20A**). Prva od teh skupin je **aminska skupina** ($-\text{NH}_2$), ki štrli na en konec molekule, druga pa **karboksilna skupina** ($-\text{COOH}$), ki je značilna za organske kisline. Na tretjo vez osrednjega ogljikovega atoma je vedno vezan vodik. Na četrto mesto pa je vezana tako imenovana **stranska skupina**, ki je **različna v različnih aminokislinah**. Stranska skupina daje različnim aminokislinam različne fizikalne in kemijske lastnosti. Vseh 20 aminokislin bomo spoznali kasneje (glej sliko 3.34), primeri različnih aminokislin pa so prikazani na sliki 2.20B.

V celici se aminokislina lahko povežejo v dolge **nerazvejane verige**. Pri tem se aminska skupina ene aminokislina veže s karboksilno skupino druge, odcepi pa se voda (dehidracija; **slika 2.21**). Vez, ki nastane med aminokislinama, imenujemo **peptidna vez**. Beljakovina se v celici lahko tudi razgradi na posamezne aminokislina. Pri razcepu peptidne vezi med dvema aminokislinama se veže molekula vode (hidroliza).

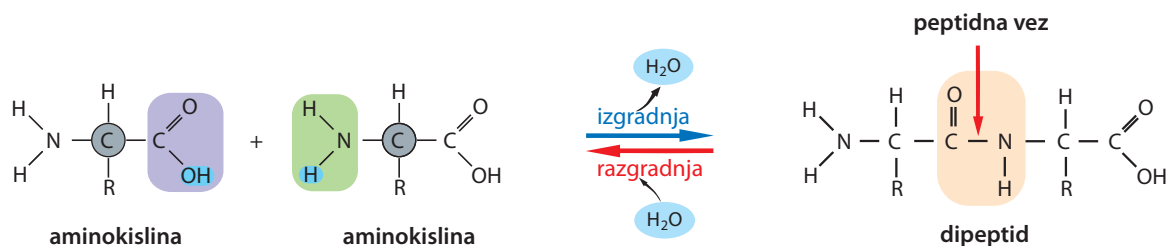
A. Zgradba aminokislina



B. Primeri različnih aminokislin



Slika 2.20: Zgradba aminokislina. A: Na osrednji ogljikov atom, ki ima štiri proste vezi, je na eno mesto vezana aminska skupina, na drugo karboksilna skupina, na tretje vodik in na četrto različne stranske skupine, ki jih označujemo z R (okrajšava za radikal). **B:** Prikazane so tri od 20 različnih aminokislin. Različne aminokislina se med seboj razlikujejo po stranski skupini (oranžno polje). Stranska skupina pomembno določa kemijske lastnosti aminokislina. Vsaka od 20 aminokislin ima svoje ime (na primer valin) in mednarodno oznako iz treh črk (na primer Val).



Slika 2.21: Nastanek peptidne vezi. Prikazana je vezava dveh aminokislin v enotno molekulo. Iz karboksilne skupine ene aminokislina se odcepi OH, iz aminske skupine druge aminokislina pa H, skupaj H_2O (dehidracija). Vez, ki nastane med obema aminokislinama, je peptidna vez. Na nastalo verigo aminokislin se lahko veže nova aminokislina – z zaporednimi vezavami posameznih aminokislin nastajajo dolge nerazvejane verige aminokislin. Z verige aminokislin se lahko tudi odcepi posamezna aminokislina, pri čemer se veže molekula vode (hidroliza).

Zanimivost

Rastline same izgradijo vseh dvajset aminokislin, živali pa ne

Rastline izdelajo vseh 20 aminokislin, ki jih potrebujejo za sestavljanje različnih beljakovin, same. Kot surovino za izdelavo aminokislin uporabijo sladkorje, ki jih proizvedejo med fotosintezo. Oglikovo ogrodje sladkorjev najprej ustrezno predelajo, nato pa nanj vežejo še dušikov atom kot sestavni del aminske skupine (glej sliko 7.26). Dušikove atome privzamejo iz prsti, vezane v anorganske ione (mineralne snovi).

Živali pa nimajo ustreznih encimov, da bi lahko vseh 20 aminokislin izdelale same iz drugih organskih molekul. V človekovem telesu se na primer iz drugih organskih molekul lahko izgradi le 11 aminokislin. Preostalih devet aminokislin mora človek zaužiti s hrano. Te imenujemo nujno potrebne ali **esencialne aminokislinae**.

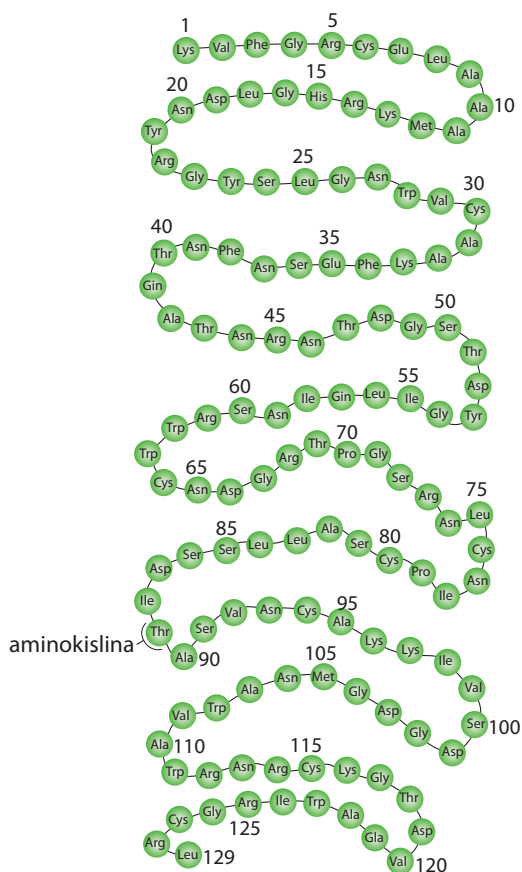
Za delovanje beljakovine je pomembna njena prostorska oblika in lastnosti njene površine

Beljakovine v celici se med seboj razlikujejo po številu in zaporedju aminokislin, ki so med seboj povezane v verigo. Takoj ko veriga aminokislin nastane, se v vodnem okolju zvije v značilno prostorsko obliko. Pravzaprav je **prostorska oblika beljakovine** tista, ki je pomembna za to, da posamezna beljakovina lahko v celici opravlja posebne naloge.

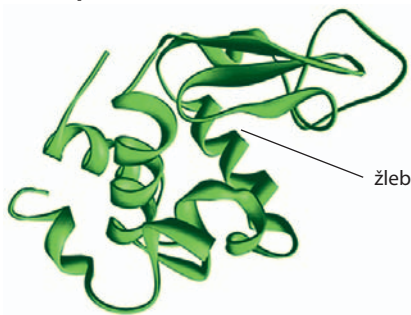
Kot primer beljakovine si oglejmo molekulo lizocima, ki smo ga že spoznali kot vodotopno beljakovino v človeških solzah in slini (**slika 2.6**). Lizocim lahko uniči bakterijsko celico, vendar se mora najprej vezati na njeno površino. Zgrajen je iz verige 129 aminokislin (**slika 2.22A**), ki se v vodnem okolju zvije na poseben način (**slika 2.22B**). Cela molekula lizocima je grobo kroglaste oblike (**slika 2.22C**), na površini pa ima tudi poseben žleb. Oblika žleba se natančno prilega posebni molekuli na površini bakterijske celice (polisaharidu v celični steni bakterije). Tako prostorska oblika molekule lizocima omogoča, da ta »prepozna« tarčno molekulo na površini bakterije in se nanjo veže.

Poleg prostorske oblike beljakovine so za njeno delovanje pomembne tudi **lastnosti njene površine**. Tako so v lizocimu na površini aminokislinae s polarnimi in nabitimi aminokislinami, kar omogoča, da je lizocim topen v vodi. Lastnosti stranskih skupin aminokislin, ki so na površini žleba, pa omogočajo, da se žleb in tarčni polisaharid na površini bakterije privlačita, tako da se lizocim veže na bakterijo.

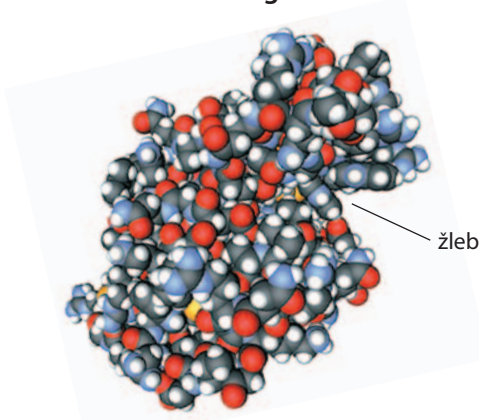
A. Zaporedje aminokislin



B. Veriga aminokislin, prikazana kot trak



C. Atomi, prikazani kot kroglice



Slika 2.22: Prostorska (tridimenzionalna) zgradba lizocima. **A:** Lizocim je zgrajen iz verige 129 aminokislin. Veriga aminokislin je prikazana kot vijuga zato, da slika ni prevelika. Oznake in zgradbe različnih aminokislin so prikazane na sliki 3.34. **B:** V vodnem okolju se lizocim zvije v specifično obliko. Zvito verigo aminokislin lahko v treh dimenzijah prikažemo kot trak. **C:** Če vse atome, ki so v zviti verigi aminokislin, prikažemo kot kroglice, ugotovimo, da je lizocim grobo kroglasta molekula. Na površini ima žleb, ki se po obliki prilega tarčni molekuli na površini bakterijske celice, na katero se lizocim veže. Za prikazovanje tridimenzionalnih oblik beljakovinskih in drugih zapletenih organskih molekul znanstveniki uporabljajo posebne računalniške programe.

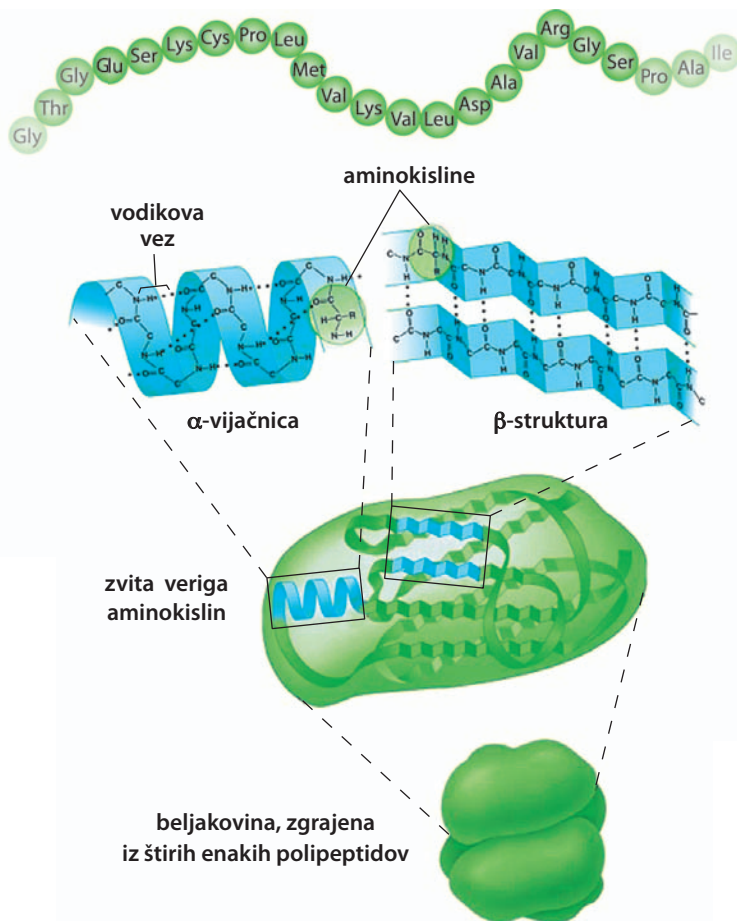
Da beljakovina lahko opravlja svoje naloge v celici, se mora torej veriga aminokislin ustrezno zviti. Za primerjavo si lahko predstavljamo razliko med dolgo volneno nitjo, ki predstavlja verigo aminokislin, in puloverjem določene velikosti in oblike, ki ga lahko iz nje spletemo. Pulover v tem primeru predstavlja beljakovino. Šele ko je volnena nit zvita in prepletena v pulover, lahko opravlja svojo nalogo – da nas pozimi greje.

Vsaka beljakovina ima več ravni zgradbe. Kot primer si oglejmo beljakovino transtiretin, ki v človekovem telesu po krvi prenaša enega od hormonov žleze ščitnice in vitamin A (**slika 2.23**). Vsaka beljakovina ima najmanj tri ravni zgradbe: **primarno, sekundarno in terciarno zgradbo** (na primer lizocim – **slika 2.22**; glej tudi *Raziskovanje življenja R 2.2: Linus Pauling in tridimenzionalna zgradba beljakovin*). Samo nekatere beljakovine, ki so sestavljene iz več podenot, pa imajo tudi **kvartarno zgradbo** (na primer transtiretin).

Vrnimo se k primerjavi beljakovine s puloverjem. Pulover pletemo v štirih delih – posebej sprednji in zadnji del ter dva rokava. Volnena nit v vsakem delu puloverja predstavlja verigo aminokislin, torej primarno zgradbo. Vzorec pletenja je podoben sekundarni zgradbi – gre za posebne načine zvijanja niti, ki se ponavljajo na različnih mestih v puloverju. Terciarna zgradba so do konca spleteni vsi štirje deli. Vendar pa pulover ni uporaben, dokler vseh štirih delov ne sešijemo skupaj, kar predstavlja kvartarno zgradbo.

O načinu zvijanja volnene niti zavestno odloča tisti, ki plete. Ko celica izdelava verigo aminokislin, pa se ta v vodnem okolju običajno *samodejno* zvije v specifično prostorsko obliko. Način zvijanja določajo privlačne sile med aminokislinami v verigi (na primer vodikove vezi) in interakcije stranskih skupin aminokislin z molekulami vode, ki obdajajo verigo aminokislin. Privlačne sile verigo aminokislin zvijejo in upognejo na specifičen način.

Po zvijanju v prostorsko obliko so na površini beljakovine nameščene določene aminokisljine. Njihove stranske skupine so pomembne za lastnosti beljakovine. Tako so recimo beljakovine, ki imajo na površini veliko polarnih in nabitih stranskih skupin, topne v vodi, saj lahko z vodnimi molekulami tvorijo vodikove vezi (glej **slika 2.6**).



A. Primarna zgradba

Primarna zgradba je **zaporedje aminokislin**, ki jih beljakovina vsebuje.

B. Sekundarna zgradba

Nekateri odseki verige aminokislin tvorijo posebne **lokalne gradbene vzorce**, za katere je značilno povezovanje med aminokislinami z vodikovimi vezmi (črtkano). Poznamo dva tipa sekundarne zgradbe: **α -vijačnico** in **β -strukturo**. Zaradi jasnosti prikaza na sliki niso označene stranske skupine aminokislin (R).

C. Terciarna zgradba

Splošna **tridimenzionalna oblika beljakovine** se imenuje terciarna zgradba. Utrjujejo jo vodikove vezi med stranskimi skupinami aminokislin v različnih območjih verige aminokislin. Vodikove vezi na sliki niso prikazane.

D. Kvartarna zgradba

Nekateri beljakovine vsebujejo dve ali več verig aminokislin – vsako verigo imenujemo **podenota**. Takšne beljakovine imajo kvartarno strukturo. Podenote so med seboj povezane s šibkimi vezmi. Beljakovina na sliki ima štiri podenote.

Slika 2.23: Ravni zgradbe beljakovine. Kot primer je prikazana beljakovina transtiretin, ki v človekovem telesu po krvi prenaša enega od hormonov žleze ščitnice in vitamin A. Vsaka od štirih podenot vsebuje 127 aminokislin (na sliki A je prikazan le del zaporedja aminokislin).

Beljakovine v organizmu **opravljajo večino nalog, potrebnih za vzdrževanje življenja** (slika 2.24). Večina so beljakovine grobo kroglaste oblike. Encimi so posebne beljakovine, ki pospešujejo kemijske reakcije. Prenašalne beljakovine omogočajo izbirno izmenjavo snovi med celico in okoljem, prenašajo pa tudi snovi znotraj večceličnih organizmov. Tako na primer hemoglobin prenaša kisik po človekovem telesu. Založne beljakovine, ki jih najdemo v jajcih in semenih, so zaloga aminokislin za razvijajoče se živali in rastline. Motorične beljakovine omogočajo krčenje mišičnih celic. Nekatere beljakovine sodelujejo pri prenašanju sporocil med celicami, druge pa sodelujejo pri obrambi telesa pred tujki, na primer protitelesa v človekovi krvi. Gradbene beljakovine, ki so običajno nitaste oblike, najdemo v laseh, dlaki, rogovih, peresih, kitah in v pajkovih mrežah.

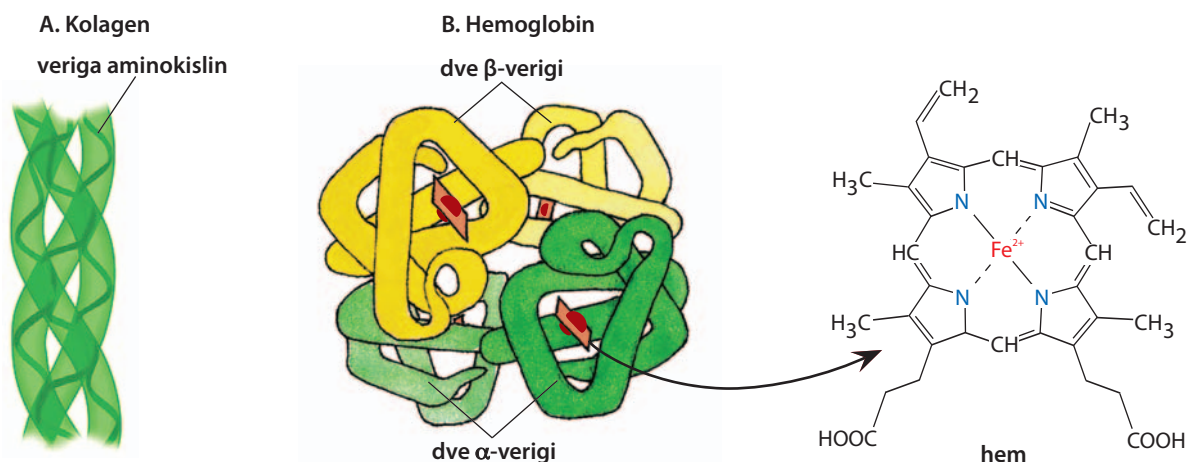


Slika 2.24: Beljakovine v človekovem telesu opravljajo različne naloge.

Za boljšo predstavo o raznolikosti beljakovin in o pomenu njihove prostorske oblike za naloge, ki jih v organizmu opravljajo, si oglejmo še dve človeški beljakovini: kolagen in hemoglobin. Kolagen je pomembna gradbena beljakovina, ki jo najdemo v koži, hrustancu, kosteh, kitah in drugih delih telesa. Predstavlja okoli 30 % mase vseh beljakovin v človekovem telesu. Gradbena vloga kolagena je povezana z njegovo prostorsko obliko – tri dolge, nitaste molekule so prepletene med seboj v še močnejšo nit (**slika 2.25A**).

Hemoglobin je beljakovina v rdečih krvnih celicah (eritrocitih), ki veže kisik in ga s krvjo prenaša do vseh celic v telesu. Hemoglobin je kroglaste oblike in je sestavljen iz štirih podenot, ki pa niso vse enake tako kot pri trans-tiretinu. Hemoglobin vsebuje dve enaki podenoti, ki ju imenujemo α -verigi, drugi dve enaki podenoti pa sta β -verigi (**slika 2.25B**). Hemoglobin ima še eno posebnost, ki je doslej nismo srečali – na vsako verigo aminokisljin je vezana dodatna organska molekula – hem, ki poleg ogljika, vodika in kisika vsebuje še dušik in železo. In prav na železov atom se veže molekula kisika.

Hemoglobin ni izjema. Mnogo beljakovin, ki jih najdemo v različnih organizmih, veže dodatne molekule, ki so ključnega pomena za njihovo delovanje.



Slika 2.25: Primeri kvartarne zgradbe beljakovin. **A:** Kolagen je gradbena beljakovina, ki ima tri verige aminokislin zvite eno okoli druge v močno, dolgo strukturo. Vsaka veriga aminokislin vsebuje 1050 aminokislin. **B:** Hemoglobin je prenašalna beljakovina, ki vsebuje štiri poudenote (verige aminokislin): dve enaki α -verigi (vsaka 141 aminokislin) in dve enaki β -verigi (vsaka 146 aminokislin). (Opomba: α in β se tu ne nanaša na sekundarno zgradbo, temveč sta tako poimenovani verigi aminokislin v smislu prva in druga veriga). Hemoglobin je kroglaste oblike. Vsaka veriga aminokislin vsebuje predvsem α -vijačnice. Na vsako verigo aminokislin je vezana dodatna molekula – hem (desno). Kisik se veže na železo v hemu.

Beljakovine so nedvomno najbolj raznolika skupina organskih molekul v organizmih. Kombinacije povezovanja med 20 aminokislinami so tako številne, da tudi dva organizma nimata povsem enakega nabora beljakovin. Vprašamo se lahko, kako je sploh mogoče, da vsak organizem izdela tako veliko število različnih molekul beljakovin. Znanstveniki so dolgo reševali to vprašanje. Končno so sredi 20. stoletja ugotovili, da ključ za rešitev te uganke leži v skupini za življenje značilnih molekul – v nukleinskih kislinah. V posebnem tipu nukleinskih kislin, v molekulah DNA, je namreč zapisan načrt za zaporedje aminokislin v beljakovinah.

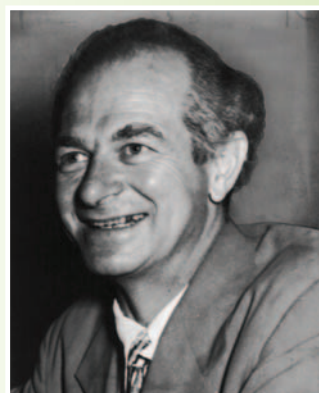
Raziskovanje življenja

R 2.2 Linus Pauling in tridimenzionalna zgradba beljakovin

Ameriški znanstvenik Linus Pauling je bil eden od velikanov 20. stoletja. Svojo raziskovalno pot je začel na področju kemije in fizike – predvsem so ga zanimale kemijske vezi. Kmalu pa je začel raziskovati tudi zgradbo bioloških molekul. Med drugim je odkril, kako hemoglobin veže kisik. Odkril pa je tudi tridimenzionalno zgradbo obeh temeljnih vzorcev v sekundarni zgradbi beljakovin, α -vijačnice in β -strukture (**slika 2.23**). Leta 1954 je Pauling za svoje dosežke pri raziskovanju kemijskih vezi in zgradbe kompleksnih spojin prejel Nobelovo nagrado.

O svojem raziskovanju zgradbe beljakovin je povedal naslednje:

»Z razreševanjem zgradbe beljakovin sem se začel ukvarjati leta 1937, vendar mi ni uspelo. Zato sem s sodelavci začel delati na tridimenzionalni zgradbi aminokislin in preprostih kratkih verig aminokislin. Leta 1937 še nihče ni raziskal tovrstnih struktur. In potem sem leta 1948 odkril α -vijačnico in β -strukturo v beljakovinah. Presenečen sem, da v vmesnem obdobju enajstih let tega ni naredil kdo drug. Pravzaprav sem presenečen, da jaz sam tega nisem naredil že leta 1937, ko sem imel pravilne zamisli. Preprosto nisem dovolj trdo delal.«



Linus Pauling (1901–1994)



Nobelova nagrada 1954



Nobelova nagrada 1963

Linus Pauling se je odkrivanja tridimenzionalne zgradbe beljakovin lotil na precej nenavaden način. Medtem ko je tovrstno delo drugih znanstvenikov temeljilo predvsem na opravljanju meritev z različnimi metodami ter interpretiranju dobljenih rezultatov, je Pauling gradil tridimenzionalne modele molekul. Preden je znanstvena skupnost sprejela Paulingov model tridimenzionalne zgradbe beljakovin kot pravilno razlago za zgradbo beljakovin, so drugi znanstveniki opravili ustrezne meritve – *rezultati meritev* so bili skladni s Paulingovim *hipotetičnim modelom*. V znanosti je namreč le **rezultat opazovanj in poskusov dokaz za veljavnost neke hipoteze**, v našem primeru Paulingove hipoteze o tridimenzionalni zgradbi beljakovin.

O Paulingovi metodi dela je James Watson, eden od odkriteljev zgradbe DNA, napisal (odlomek iz knjige *DNK – skrivnost življenja*, ki je prevedena tudi v slovenščino):

»Članek, v katerem je Pauling opisal α -vijačnico, sem prebral takoj po vrnitvi v København. Na moje precejšnje presenečenje njegov model sploh ni nastal na temelju podatkov, dobljenih z meritvami. Namesto tega je Pauling uporabil svoje bogate izkušnje strukturnega kemika in na tej podlagi sklepal, katera vrsta vijačne oblike bi bila najbolj združljiva s kemijsko zgradbo verige aminokislin. Izdelal je modele različnih delov beljakovinske molekule in jih sestavljal v razne možne oblike. Na način, ki je bil po eni strani silno preprost, po drugi pa naravnost genialen, je odkrivanje oblike molekule spremenil v reševanje nekakšne tridimenzionalne sestavljanke.«

Pauling pa ni bil dejaven le v znanosti, ampak je postal tudi vodja skupnosti znanstvenikov, ki so po 2. svetovni vojni zahtevali ustavitev preizkušanja jedrskega orožja. Zaradi tega so ga v ZDA obtožili, da je komunist, in mu leta 1952 celo odvzeli potni list. Vrnili so mu ga leta 1954, tik preden je moral odpotovati na podelitev Nobelove nagrade v Stockholm. Leta 1963 je Linus Pauling za svoj prispevek k prepovedi testiranja jedrskega orožja prejel Nobelovo nagrado za mir.

Pauling je raziskoval tudi tridimenzionalno zgradbo DNA, vendar so James Watson, Francis Crick, Rosalind Franklin in Maurice Wilkins pred njim odkrili in objavili pravilno zgradbo DNA (glej rubriko *Raziskovanje življenja R 2.3: Zgradba molekule DNA – veliko odkritje biologije 20. stoletja*).

Zanimivost

Beljakovine v pajkovi mreži

Pajkova mreža je zgrajena iz nitastih gradbenih beljakovin (**slika 2.25**). Beljakovine, ki jih pajek izloča iz zadka, vsebujejo predvsem β -strukture, ki imajo veliko vodikovih vezi med vodikovim atomom v eni aminokislini in kisikovim atomom v drugi aminokislini. Čeprav je posamezna vodikova vez šibka, pa je zaradi seštevka privlačnih sil mnogih vodikovih vezi nit pajčevine izjemno močna – močnejša od enako debele niti jekla.



Žleze na pajkovem zadku izločajo niti pajčevine, zgrajene iz gradbene beljakovine, ki vsebuje predvsem β -strukture.

Niti pajčevine, ki potekajo od središča mreže proti obodu, vzdržujejo obliko mreže.

Krožne niti so pomembne za lovljenje plena. So elastične in se raztezajo pod vplivom vetra, dežja in dotika žuželk.

Slika 2.26: Pajkova mreža je zgrajena iz beljakovin.

Preveri, kaj znaš

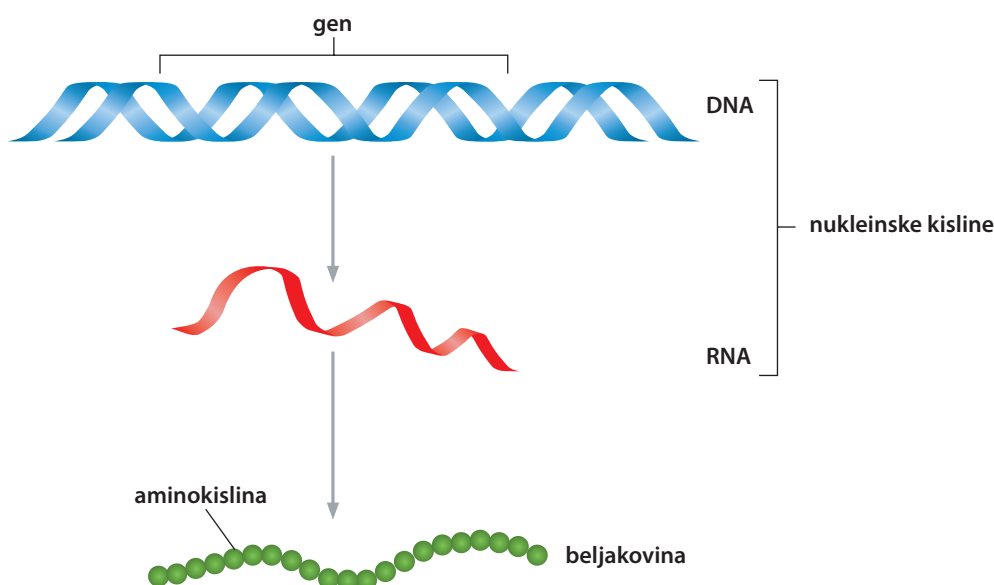
1. Opiši, kakšna je povezava med zaporedjem aminokislin v verigi aminokislin in prostorsko obliko beljakovine.
2. Navedi primere nalog, ki jih v človekovem telesu opravljajo beljakovine.

2.7 Nukleinske kisline vsebujejo informacijo

Četrta, zadnja skupina organskih snovi, ki so značilne za živo naravo, so **nukleinske kisline**. Nukleinske kisline sodelujejo pri izgradnji različnih beljakovin v celici – v zgradbi njihovih molekul je zapisana informacija o zaporedju aminokislin v posameznih beljakovinah. Nukleinske kisline so torej **nosilci informacije**.

V prejšnjem poglavju smo ugotovili, da je od zaporedja aminokislin odvisna prostorska oblika beljakovine in s tem njena vloga v celici. Razložili smo tudi, da beljakovine opravljajo večino nalog, pomembnih za vzdrževanje življenja vseh organizmov. Torej je informacija o zaporedju aminokislin v beljakovinah, ki jo nosijo nukleinske kisline, ključnega pomena za vzdrževanje in nadaljevanje življenja skozi generacije.

V vsaki celici najdemo dva tipa nukleinskih kislin: molekule **DNA** in molekule **RNA** (glej rubriko *Izvor besede*). Dedni material, ki ga človek in drugi organizmi podedujejo od staršev, so zelo dolge molekule DNA. Krajši odseki molekule DNA so **geni**. V vsakem genu je zapisan načrt za zaporedje aminokislin v eni beljakovini. Ta načrt je zapisan v nekakšnih kemijskih šifrah, ki jih je treba prevesti iz »jezika nukleinskih kislin« v »jezik beljakovin«. Molekule RNA pomagajo pri tem prevajanju (**slika 2.27**). Več o tem, kako delujejo molekule DNA in RNA, bomo izvedeli v poglavju 3.6.



Slika 2.27: Beljakovina se izgradi na temelju informacije, ki je zapisana v molekuli DNA. V celici je načrt za zaporedje aminokislin zapisan v genu – odseku molekule DNA. Informacija, ki je zapisana v DNA, se najprej prepiše v molekulo RNA in nato prevede v beljakovino.

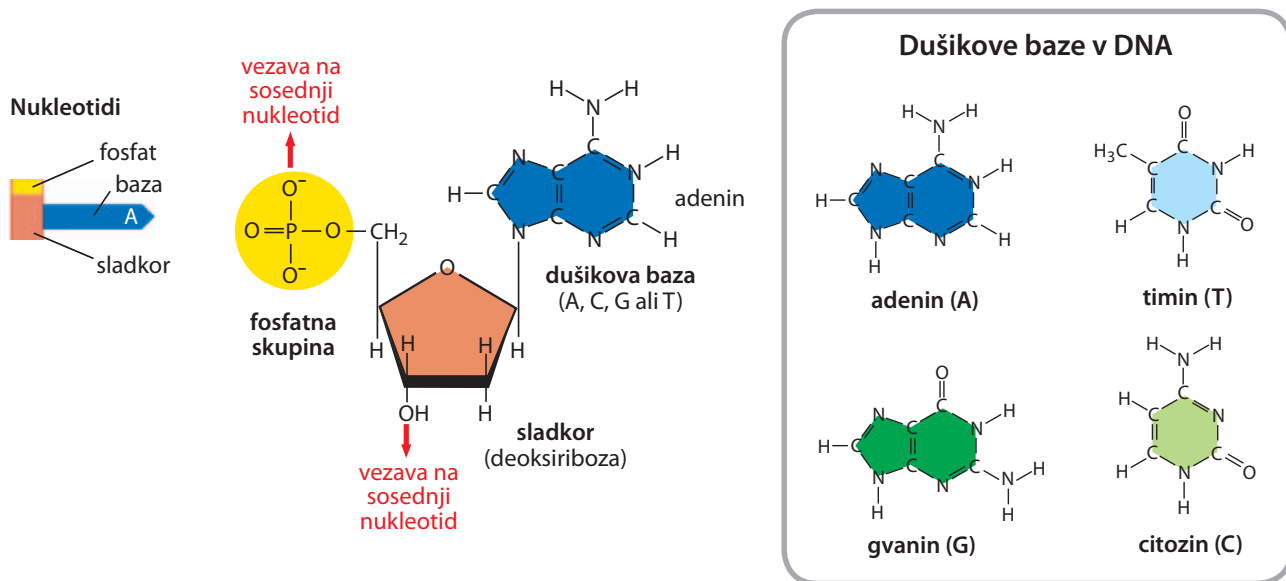
V nukleinskih kislinah je dedna informacija zapisana s kombinacijami štirih nukleotidov

Oba tipa nukleinskih kislin, DNA in RNA, sta polimera – vsebujeta v **nerazvejano verigo** vezane monomere, ki jih imenujemo **nukleotidi**.

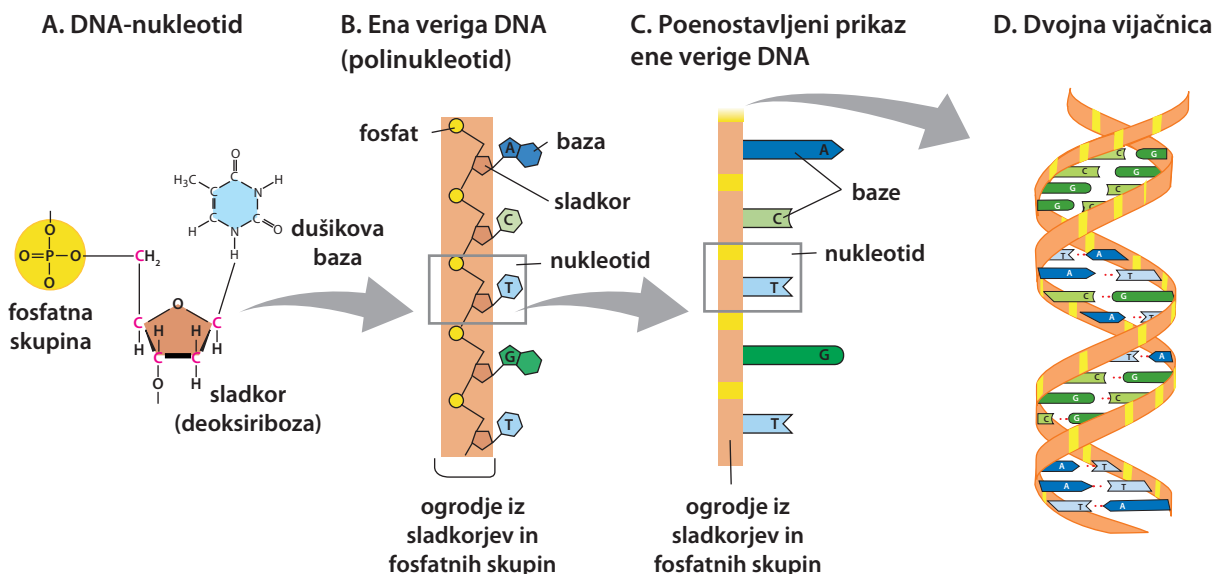
Nukleotidi so nekoliko drugačni monomeri, kot smo jih spoznali do sedaj, saj so sami sestavljeni iz treh manjših molekul. Vsak nukleotid vsebuje **sladkor**, **fosfatno skupino** in **dušikovo bazo**. Nukleotidi v molekulah DNA in RNA se nekoliko razlikujejo. Zato si najprej oglejmo zgradbo molekule DNA.

Monomer v molekuli DNA je DNA-nukleotid (**slika 2.28**). Sladkor v DNA-nukleotidu vsebuje pet ogljikovih atomov in se imenuje deoksiriboza. Na deoksiribozo je na eni strani vezana negativno nabita fosfatna skupina, na drugi strani pa dušikova baza.

Obstajajo štiri različni DNA-nukleotidi. Vsi vsebujejo deoksiribozo in fosfatno skupino, razlikujejo pa se po dušikovih bazah. Dušikove baze so zgrajene iz enega ali dveh obročev (**slika 2.28**). Vsak DNA-nukleotid vsebuje eno od štirih dušikovih baz: adenin (okrajšano A), citozin (C), gvanin (G) ali timin (T). Tako je vsa dedna, genetska informacija zapisana z različnimi kombinacijami štirih nukleotidov. Lahko bi rekli, da ima jezik genov štiri črke.



Slika 2.28: Zgradba nukleotida v molekuli DNA. DNA-nukleotid je zgrajen iz treh delov: sladkorja (deoksiriboze), fosfatne skupine in dušikove baze. V sivem polju je zgradba nukleotida prikazana poenostavljeno. Veriga DNA vsebuje štiri različne nukleotide, ki vsebujejo različne dušikove baze. Adenin (A) in gvanin (G) vsebujeta dva obroča, timin (T) in citozin (C) pa enega.



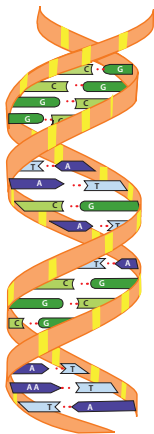
Slika 2.29: Zgradba verige DNA. **A:** Osnovna enota (monomer) je DNA-nukleotid, ki vsebuje eno od štirih različnih dušikovih baz (A, T, C in G). **B, C:** Veriga DNA je polimer nukleotidov. Sladkorji in fosfatne skupine nukleotidov gradijo ogrodje, iz katerega štrlijo baze. **D:** Dve enojni verigi DNA sta povezani v dvojno vijačnico (glej sliko 2.30).

DNA-nukleotidi se povezujejo v **dolgo nerazvejano verigo DNA (slika 2.29B in C)**. Pri tem se sladkor enega nukleotida poveže s fosfatno skupino drugega nukleotida, pri čemer se odcepi voda (dehidracija). Nastane močna kovalentna vez med nukleotidoma. Iz ogrodja, ki je zgrajeno iz sladkorjev in fosfatnih skupin, štrlijo dušikove baze.

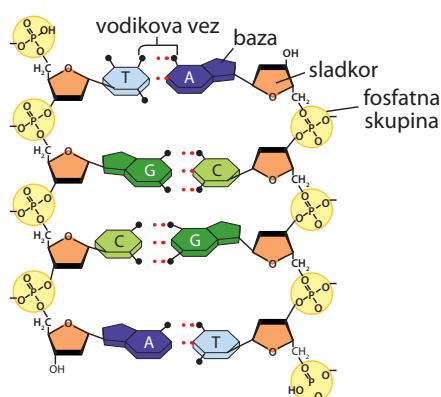
Molekula DNA v celici vsebuje **dve verigi nukleotidov**, ki sta oviti druga okrog druge v **dvojno vijačnico (slika 2.30A)**. Baze štrlijo v notranjost dvojne vijačnice. Baze v eni verigi DNA so s šibkimi **vodikovimi vezmi** povezane z bazami v drugi verigi. Pri tem je povezovanje med bazami specifično: A se lahko pari samo s T in C samo z G (**slika 2.30B**). Specifično parjenje (povezovanje) med bazami v nasprotnih, **komplementarnih** verigah temelji na različni obliki in kemijskih lastnostih baz. Če poznamo zaporedje nukleotidov v eni verigi, poznamo tudi zaporedje nukleotidov v nasprotni, komplementarni verigi. Kot bomo spoznali v poglavju 5.1, je ta posebna zgradba molekule DNA povezana z njeno sposobnostjo, da deluje kot nosilec dedne informacije.

Molekule DNA so zelo dolge in tanke. Premer dvojne vijačnice je okrog 2 nm ($1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$), 1 nukleotidni par pa zaseda 0,34 nm vzdolž osi vijačnice. Molekula DNA v bakteriji *Escherichia coli* vsebuje 4,6 milijonov nukleotidnih parov, torej je dolga 1,6 mm, kar je za molekulo zelo velika dolžina. V jedru vsake človekove telesne celice je 46 molekul DNA. Ena molekula DNA je namreč glavna sestavina kromosoma, človekove telesne celice pa vsebujejo 46 kromosomov. Molekula DNA v največjem človekovem kromosomu 1 vsebuje 250 milijonov nukleotidnih parov, torej je ta molekula dolga kar 8,5 cm, kar je pravi molekulski velikan!

A. Zgradba molekule DNA



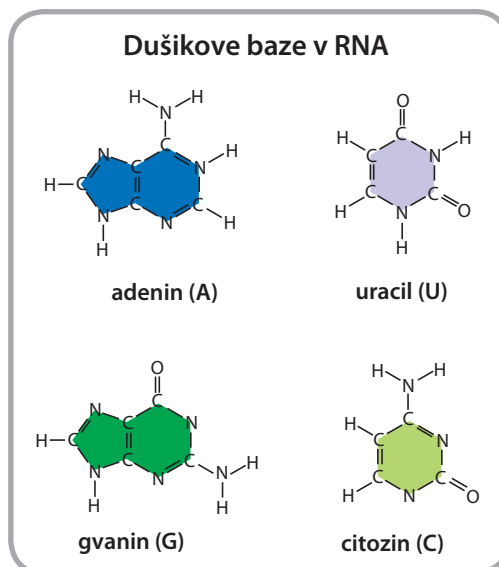
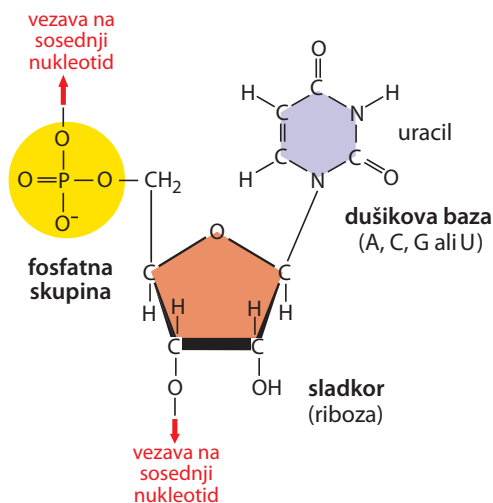
B. Specifično parjenje dušikovih baz v dvojni vijačnici



Slika 2.30: Zgradba molekule DNA. A: Dvojno vijačnico gradita dve verigi nukleotidov, oviti druga okrog druge. Verigi sta povezani z vodikovimi vezmi med bazami (črtkano). Čeprav je posamezna vodikova vez šibka, je vodikovih vezi med dvema verigama DNA v dvojni vijačnici zelo veliko. Zaradi seštevka privlaka vseh vodikovih vezi je dvojna vijačnica zelo stabilna molekula. **B:** Povezovanje med bazami na komplementarnih verigah je specifično: A se vedno veže s T in G vedno s C. Specifičnost vezave določajo oblike molekul in nastajanje vodikovih vezi med njimi. Komplementarni par baz imenujemo nukleotidni par.

Kaj pa molekule RNA? Tudi te so polimeri štirih različnih nukleotidov. Vendar pa se RNA nekoliko razlikuje od DNA. RNA-nukleotidi namesto deoksiriboze vsebujejo ribozo (**slika 2.31**). Ribozna ima eno skupino $-\text{OH}$ več od deoksiriboze (*deoksi* pomeni brez kisika). Druga razlika med RNA in DNA je, da vsebuje RNA namesto baze timina (T) podobno bazo uracil (U). Sicer pa sta si verigi DNA in RNA po zgradbi zelo podobni. Omeniti moramo še to, da so v celici molekule DNA običajno v obliki dvojne vijačnice, molekule RNA pa običajno vsebujejo samo eno verigo. Molekule RNA so tudi krajše od molekul DNA, saj nosijo informacijo iz genov, torej kratkih odsekov na dolgi molekuli DNA (**slika 2.27**). Po dolžini se zelo razlikujejo, večinoma pa so dolge od nekaj sto do nekaj tisoč nukleotidov.

V tem poglavju smo si ogledali le osnovno kemijsko zgradbo nukleinskih kislin. Na vprašanje, kako je mogoče, da organizmi lahko izdelajo tako različne beljakovine, in kakšno vlogo imajo pri tem nukleinske kisline, bomo odgovorili kasneje (glej poglavje 3.6), ko bomo boljše razumeli, kako je celica zgrajena in kako deluje.

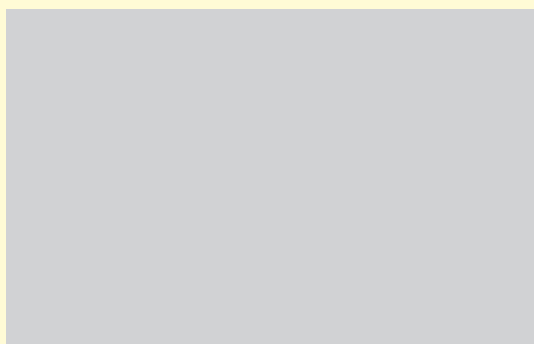
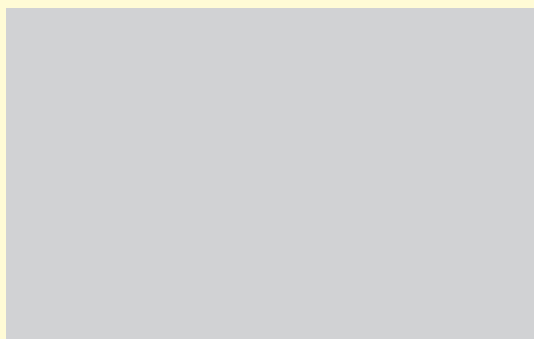
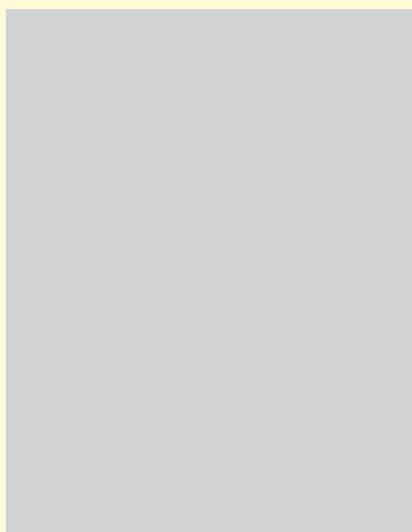


Slika 2.31: Zgradba nukleotida v molekuli RNA. RNA-nukleotid se razlikuje od DNA-nukleotida, ki je prikazan na sliki 2.28, samo po dveh značilnostih. V RNA-nukleotidu je sladkor riboza in ne deoksiriboza. RNA-nukleotidi namesto timina (T) vsebujejo uracil (U). Štiri dušikove baze v RNA-nukleotidih so torej A, U, G in C.

Zanimivost

Dvojna vijačnica – ikona 20. stoletja

Znanstveniki so sredi 20. stoletja odkrili, da zgradba molekule DNA ustreza dvojni vijačnici. To odkritje je bilo temelj za izjemno hiter napredek genetike in biotehnologije. Vendar pa dvojna vijačnica ni očarala le znanstvenikov, ampak tudi širšo javnost. Ljudje jo tako dobro poznajo, da jo najdemo celo v reklamah. Elegantna struktura molekule DNA pa je bila tudi navdih za mnoga umetniška dela (**slika 2.32**). Dvojna vijačnica tako nedvomno sodi med pomembne ikone 20. stoletja.



Slika 2.32: Dvojna vijačnica DNA kot navdih za umetnike. Prikazana sta dva kipa, ki stojita v Evropskem centru za molekularno biologijo v Heidelbergu v Nemčiji in novoletna okrasitev Ljubljane leta 2009.

Raziskovanje življenja

R 2.3 Zgradba molekule DNA – veliko odkritje biologije
20. stoletjaNobelova
nagrada 1962Francis Crick
(1916–2004)James D. Watson
(1928)Maurice Wilkins
(1916–2004)Rosalind Franklin
(1920–1958)

Pred sredino 20. stoletja so mnogi znanstveniki menili, da je informacija zapisana v beljakovinah. Okrog leta 1950 pa je postalo jasno, da je dedna informacija zapisana v molekulah DNA. To so dokazali rezultati določenih poskusov. Ključ za rešitev uganke o mehanizmu dedovanja je tako postala tridimenzionalna zgradba DNA.

Do tega časa so znanstveniki že odkrili, da molekula DNA vsebuje različne nukleotide in da so ti vezani v verige s sladkorno-fosfatnim ogrodjem. Ni pa bilo jasno, kako so verige v DNA urejene v treh dimenzijah in koliko jih je v eni molekuli.

Za raziskovanje tridimenzionalne zgradbe molekule DNA so znanstveniki med drugim uporabljali metodo rentgenske kristalografije. S to metodo lahko raziskujemo atomsko zgradbo katerekoli snovi, ki je v kristalni obliki. Kristal obsevamo z rentgenskimi žarki, ki se odbijejo od atomov v kristalu in zato razpršijo oziroma uklonijo. Na drugi strani kristala detektor prestreza rentgenske žarke. Dobimo uklonski vzorec (**slika 2.33B**), iz katerega je mogoče ugotoviti nekatere gradbene lastnosti preiskovane snovi. Vendar postopek za pripravo kristala DNA ni preprost, postopek za ugotavljanje gradbenih lastnosti molekule iz dobljenega uklonskega vzorca pa je sploh zelo zapleten.

Leta 1951 je ameriški biolog James Watson, ki so ga zanimali molekularni mehanizmi dedovanja, na znanstveni konferenci v Neaplju spoznal britanskega fizika Mauricea Wilkinsa, ki je vodil raziskovalno skupino na King's Collegeu v Londonu. Wilkins je na konferenci predstavil zadnje rezultate svojih raziskav zgradbe DNA z rentgensko kristalografijo. Watsona je pritegnil Wilkinsov pristop k raziskovanju in si je želel z njim sodelovati, zato je uredil, da se je preselil v Veliko Britanijo – dobil je raziskovalno mesto na Univerzi v Cambridgeu. Tu si je prostor v laboratoriju delil z britanskim fizikom Francisom Crickom, ki je z rentgensko kristalografijo raziskoval tridimenzionalno zgradbo beljakovin. Watson je Cricka navdušil za reševanje problema zgradbe DNA, Crick pa je uredil, da sta navezala stike z Wilkinsom, saj je bil ta njegov prijatelj. V Wilkinsonovi raziskovalni skupini se je z analizo DNA s pomočjo rentgenske kristalografije ukvarjala britanska kemičarka Rosalind Franklin. Watson in Crick sta se lotila sestavljanja modela tridimenzionalne zgradbe molekule DNA, ki bi bil skladen tako z uklonskimi vzorci, ki jih je posnela Franklinova, kot tudi z vsemi znanimi kemijskimi lastnostmi DNA. Vendar jima sprva to ni uspelo.

Z vprašanjem zgradbe DNA se je v tem času ukvarjal tudi Linus Pauling, ki smo ga že spoznali kot odkritelja tridimenzionalne zgradbe beljakovin (glej *Raziskovanje življenja R 2.2: Linus Pauling in tridimenzionalna zgradba beljakovin*). Pauling je na začetku leta 1953 objavil znanstveni članek, v katerem je za zgradbo DNA predlagal model s tremi vijačnicami – s sladkorno-fosfatnimi verigami v sredini in navzven štrlečimi bazami. Watson, ki je Paulingov članek nestrpno prebral, takoj ko je ta izšel, je ugotovil, da bi Paulingova molekula DNA lahko obstajala le v zelo kislem okolju. Kot biolog je vedel, da v celici tako kislega okolja ni. Paulingov model torej ni bil v skladu z znanim podatkom in tako ni mogel biti pravilen. Paulingov model tudi ni bil skladen z meritvami, ki jih je nedavno objavil ameriški biokemik Erwin Chargaff in ki so dokazovale, da je v mole-

kuli DNA v različnih organizmih število baz A vedno enako številu baz T in število baz G enako številu baz C. Očitno Pauling ni bil seznanjen z rezultati teh meritev, ki jih je Watson poznal. O tem napetem trenutku v tekmi za razrešitev zgradbe DNA je Watson napisal: »Zgodilo se je nemogoče – najbolj znani, če ne celo kar najboljši kemik na svetu, se je motil.«

Ob ponovnem obisku pri Wilkinsu je Watson videl novi uklonski vzorec, ki ga je posnela Franklinova, in ta ga je prepričal, da ima DNA vijačno zgradbo (**slika 2.33B**). To je bil *ključni* podatek za njegovo nadaljnje delo. S Crickom sta se ponovno intenzivno lotila sestavljanja modela. Iz meritev gostote DNA, ki so jih opravili drugi raziskovalci, sta ugotovila, da vsebuje molekula DNA najverjetneje dve in ne tri verige. Vedela sta tudi za ugotovitev Rosalind Franklin, da je sladkorno-fosfatno ogrodje na zunanji in ne na notranji strani dvojne vijačnice. Iz Chargaffovih meritev sta sklepala, da se najverjetneje v molekuli DNA baze povezujejo na poseben način: A se vedno poveže s T, C pa z G. Končno jima je 28. februarja 1953 uspelo sestaviti model, ki je bil skladen z vsemi znanimi podatki – to je bila dvojna vijačnica DNA, ki jo danes vsi poznamo (**slika 2.33A**). Watson o tem pravi naslednje: »Bil je veličasten trenutek, saj sva bila takrat oba prepričana, da je to to. Nekaj tako preprostega in elegantnega pač mora biti prav.«

Watson in Crick sta s svojim odkritjem svetovno javnost seznanila aprila 1953, ko je v znanstveni reviji Nature izšel njun članek z opisom dvojne vijačnice DNA. V isti številki sta izšla tudi dva članka Franklinove in Wilkinsa o rezultatih analize zgradbe DNA z rentgensko kristalografijo.



Slika 2.33: Raziskovanje zgradbe DNA. A: James Watson (levo) in Francis Crick s svojim modelom dvojne vijačnice DNA. Fotografija je bila posnela leta 1953. **B:** Uklonski vzorec molekule DNA, ki ga je z rentgensko kristalografijo posnela Rosalind Franklin. Izrazit vzorec v obliki križa kaže, da je zgradba DNA vijačna. Ta uklonski vzorec je bil ključen za rešitev problema zgradbe molekule DNA.

Watson, Crick in Wilkins so leta 1962 za odkritje tridimenzionalne zgradbe DNA prejeli Nobelovo nagrado. Rosalind Franklin je pred tem umrla, stara komaj 37 let; pravila Nobelovega sklada ne dovoljujejo posmrtno podelitve nagrade.

Danes se zgodovinarji znanosti večinoma strinjajo, da je Rosalind Franklin odločilno prispevala k uspehu Watsona in Cricka v bitki s Paulingom za odkritje zgradbe DNA. Odnos do žensk je bil v okolju, v katerem je Rosalind Franklin znanstveno delovala, zelo šovinističen, zato v času življenja ni bila deležna ustreznega priznanja. Prispevek Franklinove k odkritju zgradbe DNA je bil ključen. Dejansko je Franklinova v tistem času pripravljala najboljše uklonske vzorce DNA na svetu in je bila tako med vodilnimi v razvoju te znanstvene metode. Tega se je zavedal tudi Linus Pauling, ki je, še preden je objavil članek o trojni vijačnici DNA, Wilkinsa prosil, da mu pošlje uklonske vzorce DNA, posnete v njegovem laboratoriju (ki jih je posnela Franklinova in ne Wilkins, ki je bil njen šef). To je Wilkins odklonil, saj je šlo za še neobjavljene rezultate znanstvenih raziskav. Tako sta pridobila Watson in Crick odločilno prednost, saj sta imela dostop do najbolj kakovostnih rezultatov meritev, povezanih z zgradbo DNA, ki jih je prispevala Rosalind Franklin. Po smrti Rosalind Franklin se je izkazalo, da je odlično analizirala rezultate svojih meritev z rentgensko kristalografijo. Iz zapiskov v njeni znanstveni zapuščini je razvidno, da je neodvisno od Watsona in Cricka prišla do sklepa, da je molekula DNA verjetno dvojna vi-

jačnica. Šovinistični odnos do žensk v znanosti v tem obdobju je morda manj presenetljiv, če na primer pomislimo, da so v Švici ženske dobile polno volilno pravico šele leta 1973.

Iz zgodbe o tekmi za odkritje zgradbe DNA smo spoznali, da je v znanstveni skupnosti neka **znanstvena razlaga sprejeta kot veljavna le, če je skladna z vsemi znanimi podatki**. Če je kateri od znanih podatkov v nasprotju z razlago, je razlaga zavrnjena in znanstveniki poskušajo oblikovati novo, ki upošteva vse podatke.

Zgodba razkriva še eno znanstveno načelo, ki ga je ameriški fizik Richard Feynman opisal z besedami: »*Znanost je prepričanje, da se tudi največji strokovnjaki lahko motijo.*« **Znanost torej ne priznava argumenta moči, ampak moč argumentov**. Vsakdo lahko kritično presodi, ali je znanstvena razlaga, ki jo nekdo predlaga, podprta z ustreznimi dokazi in v skladu z vsemi znanimi podatki. V času odkrivanja zgradbe DNA je bil Pauling svetovno znan znanstvenik, Watson pa komaj petindvajsetletni znanstveni začetnik. Pa vendar je Watson ugotovil, da so nekateri znani podatki v nasprotju s Paulingovim modelom DNA – da je ta torej napačen. To je hkrati primer še enega znanstvenega načela – **vsí objavljeni rezultati raziskav so ves čas podvrženi kritični presoji celotne znanstvene skupnosti**. To, da nekdo objavi znanstveni članek o rezultatih raziskave v neki znanstveni reviji, še ne pomeni, da so rezultati njegove raziskave verodostojni in da je razlaga o delovanju sveta, ki iz njih izhaja, pravilna – kljub temu da vsak znanstveni članek še pred objavo pregleda več priznanih strokovnjakov za ustreza področja znanosti. **Celotna svetovna znanstvena skupnost ves čas preverja verodostojnost javno objavljenih rezultatov preteklih raziskav in pravilnost ugotovitev, ki izhajajo iz teh raziskav.**

Svetovna znanstvena skupnost je na temelju dokazov, torej rezultatov poskusov in opazovanj, kot pravilno razlago o zgradbi DNA sprejela dvovijačni model Watsona in Cricka in ne Paulingovega trivijačnega modela.

Sâmo odkritje zgradbe DNA pravzaprav za tisto obdobje, ko so se znanstveniki veliko ukvarjali z raziskovanjem tridimenzionalne zgradbe različnih makromolekul, samo po sebi ni bilo nič posebnega. Vendar pa ima molekula DNA v živih sistemih poseben pomen – to je snov, ki nosi *dedno informacijo*. Odkritje zgradbe molekule DNA je bilo zato ključnega pomena za nadaljnje raziskave o tem, kako celice delujejo in kako organizmi dedujejo svoje lastnosti. In rezultati teh raziskav so omogočili tudi uporabo dedne informacije, shranjene v molekulah DNA, za razvoj različnih tehnologij. Odkritje zgradbe DNA je tako odprlo vrata v svet biotehnologije in genskega inženirstva, v katerem danes živimo.

Raziskovanje življenja

R 2.4 Frederick Sanger in odkrivanje skrivnosti polimerov

Pionirsko delo pri raziskovanju zaporedja aminokislin v beljakovinah je opravil britanski znanstvenik Frederick Sanger (r. 1918), ki je s svojimi kolegi na Univerzi v Cambridgeu na koncu 50. in v začetku 60. let 20. stoletja raziskoval zgradbo beljakovinskega hormona insulina. Uporabljal je posebne reagente, s katerimi je beljakovine na specifičnih mestih razcepil na manjše dele (fragmente). Nato je s kemijskimi metodami določil zaporedje aminokislin v teh majhnih fragmentih. Sanger in njegovi sodelavci so po letih trdega dela rekonstruirali celotno zaporedje aminokislin v molekuli človeškega insulina, ki vsebuje 51 aminokislin. Za raziskovanje zgradbe beljakovin, predvsem insulina, je Sanger leta 1958 prejel Nobelovo nagrado.

Sanger pa insulina ni odkril. Za odkritje insulina in njegovo izolacijo (prilago čistega insulina brez drugih primesi) sta že leta 1923 prejela Nobelovo nagrado kanadska znanstvenika Frederick Grant Banting in John James Richard Macleod. V obdobju med tem odkritjem in Sangerjevimi raziskavami so tudi drugi znanstveniki raziskovali tako kemijske



Frederick Sanger (r. 1918)



Nobelova nagrada 1958



Nobelova nagrada 1980

značilnosti kot fiziološko delovanje insulina. Sanger je torej s svojimi raziskavami pomembno dopolnil prejšnje znanstveno znanje, kar je v znanosti splošno načelo – **znanstveniki neprestano dopolnjujejo in nadgrajujejo obstoječe znanstveno znanje.**

Sanger je razvijal tudi nove metode za ugotavljanje zaporedja nukleotidov v molekulah DNA. Med drugim je raziskoval molekule DNA iz bakteriofagov – virusov, ki napadajo bakterije. Ugotovil je, da bakteriofag Φ X174 vsebuje eno samo, razmeroma kratko molekulo DNA, ki vsebuje 5386 nukleotidov. Leta 1977 je objavil celotno zaporedje nukleotidov v tej molekuli. Za razvoj metode za ugotavljanje zaporedja nukleotidov v molekulah DNA je Sanger leta 1980 prejel svojo drugo Nobelovo nagrado.

Danes je večina korakov v postopku za analizo zaporedja aminokislin v beljakovinah in zaporedja nukleotidov v DNA avtomatizirana, kar omogoča hitro zbiranje tovrstnih podatkov. Tako poznamo aminokislinska zaporedja za tisoče različnih beljakovin. Za človekovo DNA poznamo zaporedja skoraj 3 milijard nukleotidnih parov, poleg tega pa še zaporedja nukleotidnih parov v posameznih genih in celotnih genomih mnogih drugih vrst.

To množico podatkov o zaporedjih aminokislin in nukleotidov znanstveniki zbirajo v svetovnih podatkovnih zbirkah, ki so javno dostopne. S posebnimi računalniškimi programi lahko primerjajo med seboj zaporedja aminokislin in nukleotidov iz različnih vrst ali poiščejo, kateri od znanih genov vsebujejo neko specifično zaporedje nukleotidov (na primer AATGCCGATGGGGC). Tudi zaporedje aminokislin v lizocimu, ki je prikazano na sliki 2.22, in v β -hemoglobinu na sliki 8.16 je objavljeno v svetovni zbirki podatkov.

Preveri, kaj znaš

1. Opiši sestavne dele nukleotida.
2. Naštej tri podobnosti in tri razlike med molekulami DNA in RNA.
3. V dvojni vijačnici ima odsek v eni verigi DNA naslednje zaporedje dušikovih baz: TAAGCTT. Kakšno je na tem odseku zaporedje baz v drugi verigi dvojne vijačnice?

SLOVENSKE BESEDE IN TUJKE

beljakovina – *protein*

DNK in RNK – DNA in RNA: Ali naj v slovenskem strokovnem jeziku uporabljamo slovenski ali angleški kratici?

Terminološka komisija pri Slovenskem biokemijskem društvu, ki usklajuje uvajanje novih izrazov s področja molekulske biologije v slovenski jezik, priporoča uporabo kratic DNA in RNA v vseh slovenskih besedilih, z izjemo zelo poljudnih besedil, kjer lahko uporabljamo slovenski okrajšavi DNK in RNK. Poznamo namreč celo vrsto različnih tipov DNA in RNA. Vsi so najprej poimenovani v angleščini, saj je ta v sodobni znanosti jezik mednarodnega sporazumevanja, podobno kot nekdanja latinščina. Tudi mi bomo v nadaljevanju spoznali mRNA (angl. *messenger*), tRNA (*transfer*) in rRNA (*ribosomal*). Okrajšav je še več, na primer cDNA (*complementary*), mtDNA (*mitochondrial*), ctDNA (*chloroplast*), hnRNA (*heterogenous nuclear*), snRNA (*small nuclear*) in snoRNA (*small nucleolar*). Seznam je tako dolg (in se z novimi znanstvenimi odkritji nenehno podaljšuje), da bi slovenjenje teh okrajšav v strokovno sporazumevanje vnašalo zmedo, pojavljali pa bi se tudi problemi z zasedenostjo ustreznih črk ob slovenjenju imen za novo odkrite tipe molekul. Dejansko smo imeli v preteklosti že zmedo, saj so nekateri za mRNA uporabljali slovensko inačico sRNA (*sporočilna*), drugi oRNA (*obveščevalna*), tretji iRNA (*informacijska*), nekateri pa angleško-slovenskega križanca mRNK. Podobne težave s strokovnimi izrazi imajo tudi drugi neangleško govoreči narodi. Tako denimo v nemškem pravopisu priporočajo opustitev v preteklosti uporabljanih kratic DNS in RNS (*Säure* – kislina) in njuno nadomestitev z angleškima inačicama DNA in RNA.

IZVOR BESEDE

Saharid (monosaharid, disaharid, polisaharid): Najbolj značilna lastnost nekaterih enostavnih ogljikovih hidratov je sladkost, zato je celotna skupina ogljikovih hidratov dobila ime saharidi, kar pomeni sladkorji (iz latinske besede *sacharum* – sladkor). Mono-: eden; di-: dva; poli-: več

Glikogen: grško *glycos* – sladko, *gen* – nastati

Lipid: grško *lipos* – tolšča, maščoba

Beljakovine ali proteini: Slovenski izraz *beljakovine* poudarja prehrabeni pomen teh snovi, saj se nanaša na beljak v jajcih, ki pri cvrtju ali kuhanju zakrknje v belo maso. Tujka *proteini* pa bolj poudarja funkcionalni pomen teh snovi v celicah. Ta izraz namreč izvira iz grške besede *proteios*, ki pomeni glavni oziroma prvi v vrsti. Že ko so znanstveniki v prvi polovici 18. stoletja vpeljali besedo proteini, so pravilno napovedali osrednji pomen teh snovi za zgradbo in delovanje celice.

Nukleinska kislina: Leta 1869 je v Nemčiji delujoči švicarski kemik Friedrich Miescher (1844–1895) iz celic izoliral prej neznan snov. Kot vir celic je uporabil gnoj na povojih, uporabljenih za povijanje ran. Gnoj vsebuje predvsem veliko belih krvnih celic (levkocitov), iz katerih je Miescher najprej izoliral jedra. Nato je iz jeder izoliral snov, ki jo je poimenoval *nuklein* (iz latinske besede *nucleus* – jedro). Ker je bila snov topna v bazah, v kislinah pa ne, se je kasneje uveljavilo ime *nukleinska kislina*.

DNA in RNA: Kratici sta angleški okrajšavi za deoksiribonukleinsko kislino (*deoxyribonucleic acid*) in ribonukleinsko kislino (*ribonucleic acid*). Molekule DNA namreč vsebujejo sladkor deoksiriboza, molekule RNA pa ribozo (sliki 2.28 in 2.31).

DNK in RNK: Kratici izvirata iz slovenskih imen snovi *deoksiribonukleinska kislina* in *ribonukleinska kislina*.

Hidrofilen: grško *hydor* – voda, *philein* – ljubiti, imeti rad; vodoljuben

Hidrofoben: grško *hydor* – voda, *phobos* – strah; vodomrzen

Monomer: grško *monos* – en sam, enojen, *meros* – del, delež

Polimer: grško *polus* – mnogo, več, *meros* – del, delež

Hidroliza: grško *hydor* – voda, *lysis* – raztopiti, omehčati

Dehidracija: latinsko *de-* – ne-, raz-; predpona, ki v zloženkah zanikuje osnovni pomen ali pa pomeni upadanje + grško *hydor* – voda; odstraniti vodo iz česa, izgubiti vodo

Hidrat: grško *hydor* – voda; snov, ki nastane takrat, ko se voda spoji s kako drugo kemijsko snovjo; splošna formula ogljikovih hidratov: $C_n(H_2O)_n$

Makromolekula: grško *macros* – dolg, + latinsko *molecule* – izjemno majhen delec. Beseda izhaja iz latinske *moles* – gmota, kar pomeni, da je *molecule* pomanjševalnica iz novejše latiščine

Hemoglobin: grško *haima* – kri, latinsko *globus* – kroglja; krvno barvilo, ki veže dihalne pline

Povzetek glavnih konceptov

Organizmi so zgrajeni iz snovi. Deleži posameznih elementov v organizmih so drugačni kot v neživi naravi. Glavni elementi, ki jih najdemo v organizmih, so kisik, ogljik, vodik in dušik.

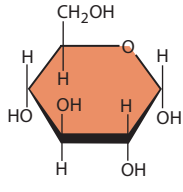
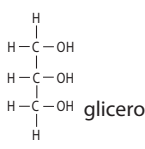
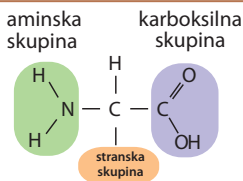
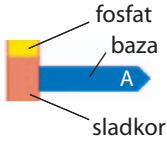
Voda je za življenje nujno potrebna snov. Molekula vode je polarna. Rahlo pozitivno nabiti vodikovi atomi privlačijo rahlo negativno nabite kisikove atome v sosednjih molekulah vode. Med sosednjimi molekulami vode zato nastajajo šibke vodikove vezi, ki pomembno vplivajo na fizikalne in kemijske lastnosti vode. Voda je odlično topilo – v njej se dobro topijo polarne in ionske snovi. Kemijske reakcije v celici potekajo v vodnem okolju. Molekule vode tudi neposredno sodelujejo v kemijskih reakcijah v celici (npr. hidroliza, dehidracija). Voda prispeva k uravnavanju globalnih podnebnih razmer. Led, ki plava na vodi, omogoča ohranjanje življenja v vodnih telesih pri temperaturah ozračja, nižjih od 0 °C.

Ogljikovi atomi lahko sestavljajo velike in raznolike organske molekule. Vsak ogljikov atom se namreč lahko veže s štirimi drugimi atomi – z drugimi ogljikovimi atomi, lahko pa tudi z atomi vodika, kisika, dušika in žvepla. Ogljikova ogrodja organskih spojin se razlikujejo po številu ogljikovih atomov, razvejanosti ter prisotnosti enojnih in dvojnih vezi, veriga ogljikovih atomov pa se lahko sklene tudi v obroč. Organske snovi se razlikujejo tudi po prisotnosti funkcionalnih skupin. Vloga, ki jo ima organska molekula v organizmu, je povezana z njenimi kemijskimi in fizikalnimi lastnostmi ter njeno velikostjo in prostorsko obliko.

► **V organizmih se manjše organske molekule vežejo med seboj v večje.** Tako na primer iz monomerov nastanejo polimeri. Pri vezavi monomera na polimer se odcepi molekula vode (dehidracija), pri odcepu monomera s polimera pa se molekula vode veže (hidroliza).

Beljakovine: Beljakovine so polimeri 20 različnih aminokislin. Vse aminokislino vsebujejo osrednji ogljikov atom, na katerega se vežejo aminska skupina, karboksilna skupina in vodikov atom. Aminokislino se razlikujejo po stranski skupini, ki je vezana na četrto mesto na osrednjem ogljikovem atomu. Aminokislino se med seboj povežejo s peptidno vezjo, ki nastane z reakcijo dehidracije med aaminsko skupino prve aminokislino in karboksilno skupino druge aminokislino. V vodnem okolju v celici se veriga aminokislin zvije v specifično prostorsko obliko, od katere je odvisna vloga beljakovine v organizmu. Beljakovine opravljajo večino dejavnosti, potrebnih za vzdrževanje življenja – pospešujejo kemijske reakcije, prenašajo snovi, omogočajo gibanje celic itd.

Nukleinske kisline: Med nukleinske kisline uvrščamo molekule DNA in RNA, ki so polimeri nukleotidov. Nukleotid je sestavljen iz sladkorja, fosfatne skupine in dušikove baze. V celici je DNA v obliki dvojne vijačnice, v kateri sta dve verigi povezani z vodikovimi vezmi med komplementarnimi dušikovimi bazami. Pri tem se dušikova baza adenin (A) vedno veže na timin (T), gvanin (G) pa na citozin (C). Takšno povezovanje med bazami omogoča, da je molekula DNA nosilec dedne informacije – v njej so zapisana navodila za zaporedja aminokislin v beljakovinah. Molekula RNA namesto T vsebuje uracil (U). Molekule RNA običajno vsebujejo samo eno verigo nukleotidov. Sodelujejo pri izgradnji beljakovin na temelju informacije, zapisane v DNA.

Skupina organskih spojin	Vloga v organizmih	Osnovni gradniki	Primeri
Ogljikovi hidrati	vir energije, zaloga snovi in energije, gradbeni element (rastline)	 <p>monosaharid</p>	<i>monosaharidi:</i> glukoza, fruktoza <i>disaharidi:</i> saharoza <i>polisaharidi:</i> škrob, glikogen, celuloza
Lipidi	<i>trigliceridi:</i> dolgoročno shranjevanje energije <i>fosfolipidi:</i> sestavina celične membrane <i>steroidi:</i> hormoni	$\text{HO}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-$ <p>maščobna kislina</p>  <p>glicerol</p> <p>gradniki triglicerida</p>	<i>trigliceridi:</i> maščobe in olja <i>steroidi:</i> testosteron
Beljakovine	nosilci večine dejavnosti v celicah in organizmih: pospeševanje kemijskih reakcij, prenos snovi, gibanje celic itd., tudi gradbeni elementi	 <p>aminokislina</p>	lizocim, hemoglobin
Nukleinske kisline	shranjevanje in prenos informacije o zgradbi beljakovin	 <p>nukleotid</p>	DNA, RNA

► **Ogljikovi hidrati:** enostavni sladkorji (monosaharidi) so za celice vir energije za opravljanje celičnega dela in ogljikovih ogrodij za izgradnjo drugih organskih snovi. Disaharidi so sestavljeni iz dveh monosaharidov. Polisaharidi so dolgi polimeri monosaharidov. Škrob je založna snov pri rastlinah, glikogen pa pri živalih. Celuloza, ki je pomembna sestavina celične stene pri rastlinah, je primer gradbenega polisaharida.

Lipidi: lipidi so raznolika skupina hidrofobnih snovi. V maščobah (trigliceridih) se pri živalih dolgoročno shranjuje energija. Triglicerid je sestavljen iz treh maščobnih kislin, vezanih na glicerol. V fosfolipidih je namesto ene maščobne kisline na glicerol vezana negativno nabita fosfatna skupina. Fosfolipid zato sestavlja polarna glava in dva nepolarna repa. V vodnem okolju se fosfolipidi samodejno uredijo v fosfolipidni dvosloj, pri čemer so polarne glave obrnjene proti vodi, nepolarni repi pa proti sredici dvosloja. Fosfolipidni dvosloj je pomembna sestavina celične membrane. Med lipide spadajo tudi steroidi, ki vsebujejo štiri ogljikove obročje. V organizmih imajo različne vloge; nekateri delujejo kot spolni hormoni.

Ponovi in poveži

1. Katere lastnosti ogljika so ključne za obstoj zelo raznolikih organskih snovi?
2. Naštet štiri skupine organskih molekul, ki jih najdemo v živih organizmih. Za vsako skupino navedi njene glavne kemijske značilnosti.
3. Za vsako od štirih skupin organskih molekul navedi vsaj eno vlogo, ki jo imajo te snovi v organizmih.
4. Razloži, zakaj so beljakovine polimeri, lipidi pa ne.
5. Primerjaj zgradbo maščob in glikogena in vlogo teh snovi v organizmih.
6. Na kakšen način je izgradnja beljakovine podobna izgradnji polisaharida?
7. Na primeru pojasni, kako je zgradba beljakovine povezana z njeno vlogo v celici.
8. Raznolikost organskih spojin med drugim omogoča sposobnost ogljika, da se veže z atomi različnih drugih elementov. Med spojinami, ki smo jih spoznali, poišči primere, za katere veljajo naslednje trditve:
Na ogljikove atome so vezani atomi vodika, kisika in/ali dušika.
Ogljikovo ogrodje je sklenjeno v obroč.
Ogljikovo ogrodje vsebuje dvojne vezi.
Na ogljikovo ogrodje je vezana hidroksilna, karbonilna, aminska in/ali karboksilna skupina.
9. Med primeri, ki smo jih spoznali, poišči tiste, za katere velja, da večje organske molekule nastajajo s povezovanjem manjših, pri čemer se odcepi voda (dehidracija).
10. Uporabi znanje o ravneh organizacije živih sistemov za razpravo o ravneh organizacije v makromolekulah. Svojo razlago začni z najmanjšo strukturo.

Modeli

11. Iz materialov, ki jih uporabljamo v vsakdanjem življenju, izdelaj model molekule DNA. Pri tem posveti posebno pozornost komplementarnim oblikam dušikovih baz (A in T, G in C). Na kakšen način lahko v modelu prikažeš vodikove vezi med komplementarnimi bazami? Po čem je tvoj model podoben resnični molekuli DNA in po čem se od nje razlikuje?