# Prilagodbe sisavaca na ekstremne životne uvjete

**Čorak, Luka**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2009**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, Faculty of Science / Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet**

*Permanent link / Trajna poveznica:* https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:217:912932

*Rights / Prava:* In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-03-28**




*Repository / Repozitorij:*

Repository of the Faculty of Science - University of Zagreb









**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU**

**Pridoslovno - matematički fakultet**

**Biološki odsjek, Rooseveltov trg 6**

# Prilagodbe sisavaca na ekstremne životne uvjete

# (Mammal adaptations on extreme living conditions)

SEMINARSKI

RAD

Luka Čorak, smjer:prediplomski studij biologije

(course: undergraduate study of biology)

Mentori: prof. dr. Milorad Mrakovčić

dr. Marko Ćaleta

Zagreb 2009.

SADRŽAJ

1. UVOD.....3

1.1 Osnovne značajke skupine.....3

1.2 Termoregulacija i problematika vezna uz terminologiju.....3

1.3 Prijenos topline između sisavca i okoline.....4

1.4 Termoregulacija sisavaca.....4

2. PRILAGODBE NA EKSTREMNU HLADNOĆU.....5

2.1 Izbjegavanje i otpornost na hladnoću.....6

2.2 Izbjegavanje hladnoće.....7

2.2.1 Izolacija i krzno.....8

2.2.2 Tjelesni ekstremiteti i regionalna heterotermija.....9

2.2.3 Pigmentiranost.....11

2.2.4 Behavioralna termoregulacija.....12

2.2.5 Zone sakupljanja.....13

2.2.6 Smanjenje tjelesne mase.....14

2.2.7 Hibernacija – torpor.....14

2.3 Otpornost na stres uzrokovan hladnoćom.....16

2.3.1 Mišićne kontrakcije - drhtanje.....16

2.3.2 Termogeneza koju ne uzrokuje drhtanje.....16

3. PRILAGODBE NA VRUĆINU I SUŠU.....17

3.1 Otpornost na stres uzrokovan vrućinom i sušom.....18

3.1.1 Voda i bubrezi.....18

3.1.2 Urin i izmet.....19

3.1.3 Prehrana.....20

3.1.4 Regulacija temperature.....21

3.1.5 Izmjena topline i očuvanje vode kroz dišni sustav.....23

3.1.6 Izolacija i krzno.....23

3.1.7 Tjelesni ekstremiteti.....23

3.1.8 Estivacija.....24

3.2 Izbjegavanje vrućine.....25

4. LITERATURA.....26

5. SAŽETAK.....27

6. SUMMARY.....27

# 1. UVOD

## 1.1 OSNOVNE ZNAČAJKE SKUPINE

Razred sisavaca (Mammalia) spada u podkoljeno kralješnjaka (Chordata) i smatra ih se jednom od najnaprednijih karika u evoluciji. Dijele se na dvije veće skupine. Podrazred Prototheria sa rodom Monotremata (jednootvori) koji su najstariji, te Theria gdje nalazimo starije Marsupialia (tobolčari) te mlađe i odvedenije Eutheria (plodvaši). Osnovne su im odlike sljedeće. Postoji briga za mlade gdje oni dobivaju prednost u daljnjem opstanku. Kod njih se prvi put javlja i heterodontno zubalo što im omogućuje vrlo raznoliku ishranu. Njihovi sustavi za cirkulaciju su visokotlačni, a njihova metabolička rata je i do osam puta veća nego ostalih životinja, što im omogućava veliku okretnost, preciznost pokreta i brzinu obrade podražaja koje primaju iz okoline. Kao jedna od najvažnijih osobina nameće se mogućnost održanja tjelesne temperature relativno konstantnom i stalnom. Zbog toga su i uspjeli zavladati planetom nakon izumiranja dinosaura. Energetski je vrlo skupo održavati tjelesnu temperaturu konstantnom, ali to im je omogućilo naseljavanje nekih od najnegostoljubivijih mjesta na Zemlji i podnošenje raspona temperatura koje se ponekad penju skoro do 100°C. Način na koji se sisavci prilagođavaju tim ekstremnim uvjetima tema je ovoga seminara.

## 1.2 TERMOREGULACIJA I PROBLEMATIKA VEZNA UZ TERMINOLOGIJU

U prošlosti su se koristila dva pojma za objašnjavanje načina regulacije temperature kod životinja. Jedne se svrstavalo u hladnokrvne, a druge u toplokrvne. Laički je to opravdano, ali ako želimo istu stvar gledati sa stručne i znanstvene strane**,** ti pojmovi postaju netočni i nejasni. Trebamo ih napustiti i bolje definirati pojam termoregulacije. Pojam koji bolje objašnjava termoregulaciju u sisavaca je endotermija. To je održanje relativno konstantne tjelesne temperature produkcijom topline u samom tijelu. Nijedna životinja ne održava temperaturu konstantnom i jednakom u svim dijelovima tijela pa je preciznije ako se poslužimo terminom homeotermija, u smislu održavanja konstantne temperature putem raznih fizioloških procesa. Treba objasniti i pojmove kao što su ektotermija, poikilotermija i homeotermija. Ektotermiju možemo gledati kao suprotnost endotermiji kod koje izvor tjelesne temperature ne dolazi iz samog tijela nego iz okoline. Treba napomenuti da to nije pasivan proces. Veliki broj životinja svojim ponašanjem u sprezi sa ektotermijom vrlo uspješno regulira temperaturu. Isto tako možemo objasniti i poikilotermiju, kao suprotnost homeotermiji. Ovakva prilagodba dopušta da se stanje u organizmu, a time i temperatura,

mijenja zajedno sa okolinom. Neke ptice i sisavci imaju mogućnost dormancije (estivacija - hibernacija - torpor) pa su prema tome heterotermne. Heterotermija može biti regionalna ( javlja se u određenim dijelovima tijela) i sezonska (određeno doba u godini). Smatra se da se endotermija (homeotermija) razvila nekoliko puta u mezozoiku, najvjerojatnije u kasnom trijasu. Oko razvoja endotermije u sisavaca postoje podijeljena mišljenja stručnjaka (Feldhamer et al.1999).

## 1.3 PRIJENOS TOPLINE IZMEĐU SISAVCA I OKOLINE

Većina sisavaca svoju tjelesnu temperaturu drži između 36°C i 38°C, jednootvori i tobolčari su niže temperature (30°C-33°C) ali ih i dalje svrstavamo pod endotermne životinje. Da bi održali tjelesnu temperaturu sisavci moraju održavati delikatni balans između gubitka energije i proizvodnje („dobitka“) energije. To se naziva termodinamički equilibrium i prijeko je potreban za preživljavanje sisavaca. Osobine sisavaca koje direktno utječu na razmjenu topline su: veličina, tjelesna masa i način na koji je ona raspoređena, dodatna izolacija (npr. krzno), metabolička rata i prisutnost te količina i vrsta adipoznog tkiva... Faktori okoliša koji direktno utječu na istu stvar su: količina insolacije, zemljopisna dužina, prisutnost i jačina vjetra, tlak, vlažnost zraka... Prijenos topline se odvija kroz četiri procesa: radijacija, kondukcija, konvekcija i evaporacija. Radijacija je prijenos topline putem zračenja. Kondukcija je prijenos topline u čvrstim tijelima, konvekcija između plinova. Jedino se evaporacijom isključivo gubi toplina.

## 1.4 TERMOREGULACIJA SISAVACA

Kao što je već rečeno sisavci su ektotermne, homeotermne životinje. Neki imaju zanimljive sposobnosti pa ih ubrajamo u heterotermne. Da bi mogli održavati konstantnu temperaturu moraju imati dobro razvijena osjetila koja će im ukazati na trenutačno stanje okoline i njihovog tijela. To se događa na dva mjesta. Prvo je koža gdje se nalaze brojni receptori za toplo i hladno koji konstantno odašilju informacije mozgu. Drugo je hipotalamus, on se još naziva „tjelesni termostat“, stalno provjerava kakve su temperature izvan tijela i u tijelu i usklađuje ih sa osnovnom vrijednošću oko koje je baždaren. Njegova zadaća je ne dopustiti da vrijednosti temperatura unutar organizma prijeđu u kritiče,a tada nastupa smrt. Za svaku vrstu postoji drugačija osnovna vrijednost, a određena je ponašanjem, metabolizmom, klimom (mikro i makro), aktivnošću organizma, tjelesnom izolacijom. Izvori topline kod placentalnih sisavaca su: drhtanje mišića, smeđe adipozno tkivo, aktivnost tireoidne (štitne)

žlijezde, točnije tiroksina. Kod jednootvora i tobolčara ne postoji drhtanje mišića nego se toplina proizvodi aktivnošću mišića (kretanje).

Prilagodbe vezane uz termolegulaciju u sisavaca možemo podijeliti u dvije velike skupine. To su: prilagodbe na život u hladnim područjima i prilagodbe na vruća i suha područja.

## 2. PRILAGODBE NA EKSTREMNU HLADNOĆU

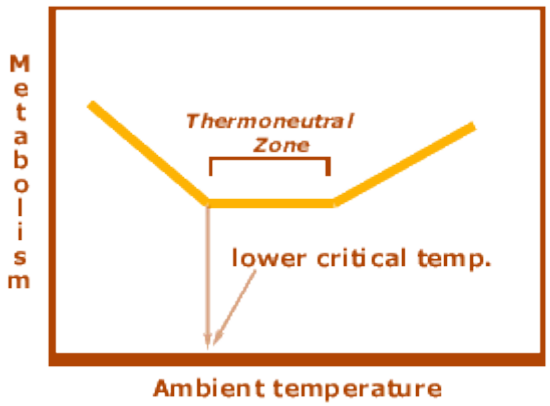
Većina placentalnih sisavaca ima tjelesnu temperaturu negdje oko 38ºC, dok su kod jednootvora i tobolčara temperature nešto niže (28°-33°C). Za svaku vrstu postoji termoneutralna zona (sl. 1). To je raspon temperatura u kojem životinja treba minimalnu metaboličku ratu za održavanje homeostaze, tj. eutermije. Krajnje granice tog raspona zovu se gornje i donje kritične točke. Sa smanjenjem temperature životinja mora u određenom trenutku povećati svoju metaboličku ratu da bi održala endotermiju, tj. da se održi na životu. Temperatura kod koje se to događa zove se donja kritična temperatura. Ona varira od vrste do vrste, a ovisi o: staništu, klimi, insolaciji, zemljopisnoj širini, izolaciji same životinje, ponašanju i sudjelovanju (integraciji) hipotalamusa u regulaciji. Kako temperatura pada javljaju se promjene u toplinskoj vodljivosti kože sisavaca. Više topline se gubi prema okolini, a formula prema kojoj se to izražava je:

C=MR/Tb-Ta

gdje je C – termovodljivost, koja se izražava preko MR – metabolička cijena koju izračunavamo preko potrošnje kisika u milimetrima po gramu tjelesne mase u vremenskom intervalu po razlici tjelesne temperature (Tb) i temperature okoline (Ta). Treba napomenuti kako krzno igra veliku ulogu u samom sprječavanju gubitka topline zbog svojih svojstava. Naime, krzno je jako loš vodič topline i time znatno umanjuje njen gubitak preko površine tijela. Ako se životinja nije u stanju uspješno prilagoditi takvim prilikama onda nastupa smrt uslijed hipotermije. Da bi to izbjegli, sisavci su razvili niz prilagodbi: dobru izolaciju, krzno, veličinu i masu tijela te razne protustrujne mehanizme koji otežavaju gubitak topline, prilagođeno ponašanje (sakupljanje u grupe, grupna jazbine i sl.)... Kao primjer izuzetne izoalcije krznom izdvajaju se sisavci polarnih regija. Oni imaju toliko dobru termoizolaciju da mogu podnijeti temperature koje se spuštaju i do -70°C, s time da aktivnosti svedu na minimum pa im je tada metbabolička rata niža (Feldhamer et al. 1999).

Energetski balans je bitan za preživljavanje u hladnim krajevima. Životinja mora pažljivo i proračunato koristiti svoje energetske zalihe ili će nastupiti smrt zbog nemogućnosti

održavanja homeostaze, tj. hipotermije. Načini na koje se sisavci prilagođavaju hladnoći su vrlo zanimljivi, a ovise o dva glavna faktora: njihovoj okolini, i aktivnostima samog sisavca (ponašanje, veličina, broj mladunaca...) Za sisavce je neizmjerno važno biti u energetski povoljnom položaju, tj. njihovi uloženi napori moraju pokriti potrebe organizma za osnovnim funkcijama, kako bi mogli vršiti uspješnu termoregulaciju (toplokrvnost). Kako bi u tome uspijeli moraju se hraniti, a za to im trebaju izvori hrane. Sisavci neće preživjeti u hladnim područjima samo ako imaju dovoljne količine hrane. Moraju imati povoljan „turnover" kapacitet, tj. mogućnost da iz hrane „izvuku" više topline nego što je zapravo gube.



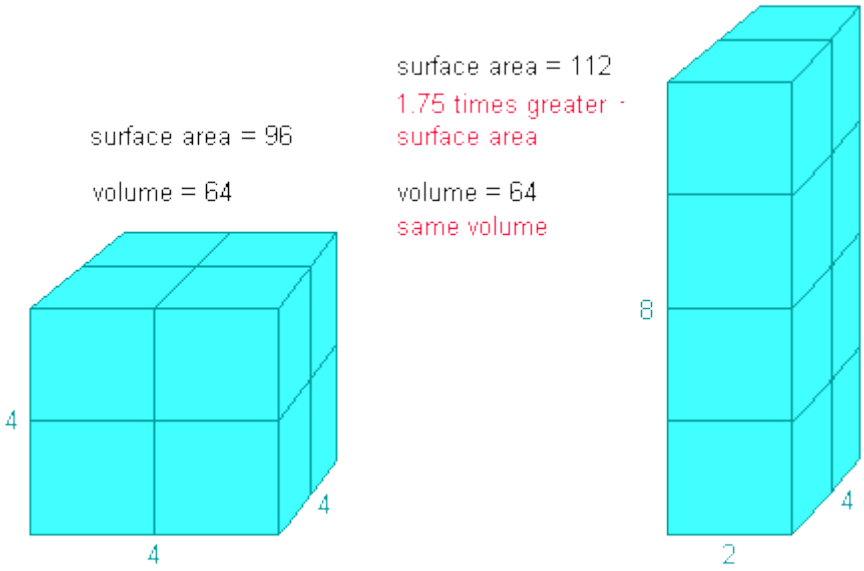

Slika 1. Termoneutranla zona
(http://www.und.ac.za)

## 2.1 IZBJEGAVANJE I OTPORNOST NA HLADNOĆU

Većina sisavaca nije u mogućnosti vršiti migracije ovisno o sezonskim promjenama klime (godišnja doba) kao npr. ptice te moraju ostati i preživjeti ekstremne uvjete koji vladaju na njihovim staništima. Da bi uspjeli preživjeti, razvili su širok spektar prilagodbi koje možemo sumirati u dvije velike kategorije termoregulacijskih mehanizama: 1.) otpornost prema hladnoći i 2.) izbjegavanje hladnoće. Treba napomenuti da sisavci nikad ne koriste isključivo jedan od ova dva mehanizma, nego ih kombiniraju kako bi što bolje iskoristili njihove prednosti i pokrili nedostatke. Koji će mehanizam prevagnuti kao većinski ovisi o: veličini same životinje, njenom staništu, načinu prehrane i različitim behavioralnim navikama i odlikama.

## 2.2. IZBJEGAVANJE HLADNOĆE

Izbjegavanje hladnoće usko je vezano sa veličinom same životinje. A da bi to bolje razumjeli moramo se pozabaviti sa pojmom bazalnog metabolizma i odnosom masa-metabolička rata. Bazalni metabolizam (BMR) je volumen kisika potrošen u nekoj vremenskoj jedinici i na temelju toga logično je pretpostaviti da veće životinje trebaju više hrane za svoje potrebe održavanja tjelesne topline, tj. njihova metabolička rata je veća. Gledajući s te strane to je točno. Veće životinje troše više kisika (više jedu) od manjih i tada je njihova ukupna metabolička rata viša od njihovih manjih srodnika. Ali tek kada uvedemo odnos masa - metabolička rata tada možemo vidjeti prednosti veličine. Ako izrazimo potrošnju kisika (konzumacija hrane) pomoću specifične masene metaboličke rate onda možemo ravnopravno usporediti velike i male sisavce. Naime kada se gleda preko masene specifične metabolične rate onda uspoređujemo potrošnju kisika po gramu mase i jasno se vidi kako se specifična masena metabolička rata smanjuje s povećanjem mase, tj. veličine. Ove činjenice dovele su do postavljanja Bergmanovog pravila (sl. 2) koje govori o tome da su vrste koje žive na hladnijim područjima u pravilu veće od svojih bliskih srodnika u toplijim područjima. Ako gledamo sisavca kao kocku vidjeti ćemo da što više povećavamo volumen kocke, odnos površina - volumen pokazuje manju površinu u odnosu na volumen. To jest, veći sisavac ima manju površinu u odnosu na volumen i teže gubi toplinu od manjeg. To je velika prednost, ali ima i svoje mane. Veliki sisavac jede više hrane, a to u hladnim krajevima može itekako predstavljati probleme, mali sisavci manje jedu, a neke rovke u zimskim mjesecima i gube na težini, samo da bi smanjile potrebe za energijom. Rodovi *Mustela* i *Neotoma*, tj. kune, lasice i miševi se susreću sa velikim problemima u hladnim klimama. Zbog jako izduženog valjkastog tijela imaju vrlo nepovoljan odnos tjelesne površine i volumena. Zbog toga moraju biti pojačano aktivne tokom hladnih perioda, odnosno moraju više jesti. Lasice izložene hladnom stresu imaju 50% - 100% višu metaboličku ratu nego sisavci slične veličine.




Slika 2. Bergmanovo pravilo
(http://www.mun.ca)

### 2.2.1 IZOLACIJA I KRZNO

Za većinu sisavaca u hladnim područjima najjednostavnija metoda očuvanja i smanjenja gubitka topline jest povećati efektivnost toplinske izolacije. To postižu pomoću masnih naslaga i debelog krznenog omotača. Vrijednosti izolacije se povećavaju sa debljinom krzna, a životinje poput, arktičke lisice (*Alopex lagopus*) (sl. 3), vukova (*Canis lupus*) i mošusnih goveda(*Ovibos moschatus*) (sl. 4) su pravi prvaci u tome. Prednosti koje životinja dobiva povećanjem izolacije najlakše se mogu zamisliti ako na to gledamo u smislu snižavanja donje kritične temperature. Tako na primjer arktička lisica ima donju kritičnu temperaturu -40°C zbog debelog krznenog omotača, zbog toga joj se na -70°C metabolička rata poveća za samo 50%. Posebno je zanimljivo mošusno govedo, čije pokrovne dlake - osje dosežu i do 30 cm, a ispod njih se nalaze nježnije dlake - malje koje čine gusti sloj vune oko životinje. Dlake su tako oblikovane da im je vrh širi od korijena i na taj način zadržavaju zrak koji je dobar izolator. U kombinaciji sa masnim naslagama i veličinom mošusmo govedo je toliko dobro zaštićeno od hladnoće da može bez velikih ulaganja energije preživjeti arktičke temperature koje se kreću oko -40°C (Feldhamer et al. 1999).



Slika 3. Arktička lisica
(www.greglasley.net)



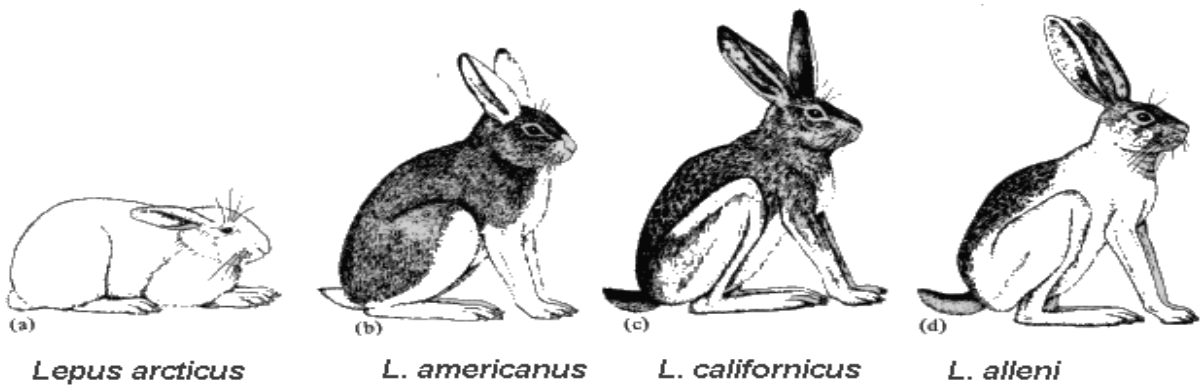
Slika 4. Mošusno govedo
(http://www.wildlifenorthamerica.com)

Posebno oblikovano krzno imaju sisavci koji se kreću u vodi. Tako npr. bizamski štakor (*Ondatra zibenthicus*), europski dabar (*Castor fiber*) i porodica tuljana ušana (Otariidae) imaju posebno modificirano krzno koje zadržava sloj zraka kada su u vodi. Na taj način im je koža zaštićena i toplinski izolirana. Osim što im pomaže da zadrže toplinu, zrak im je bitan i kod plovnosti (buoyancy). Postoje i životinje koje žive u vodi, a nemaju krzno. Kitovi (Cetacea), morževi (Odobenidae) i pravi tuljani (Phocidae) imaju posebnu vrstu adipoznog tkiva zvanu „blubber“ koja im omogućava preživljavanje u ekstremno hladnim uvjetima. Osim što ih „grije“, pomaže im kod plovnosti, hidrodinamike i služi kao rezerva. Debljina mu varira, od 5cm kod manjih tuljana do 60cm kod grenlandskog kita (*Balena mysticetus*). Zbog tako dobrog izolacijskog sustava sisavci koji žive u moru, kod viših temperatura, suočavaju se s problemom pregrijavanja. To rješavaju ostajanjem u vodi, zaranjanjem u dubine, spavanjem, ili jednostavno prošire brojne žile kojima je blubber ispunjen. Pomoću tih posebnih žila koje direktno spajaju arteriole i venule vrlo se efektivno hlade.

### 2.2.2 TJELESNI EKSTREMITETI I REGIONALNA HETEROTERMIJA

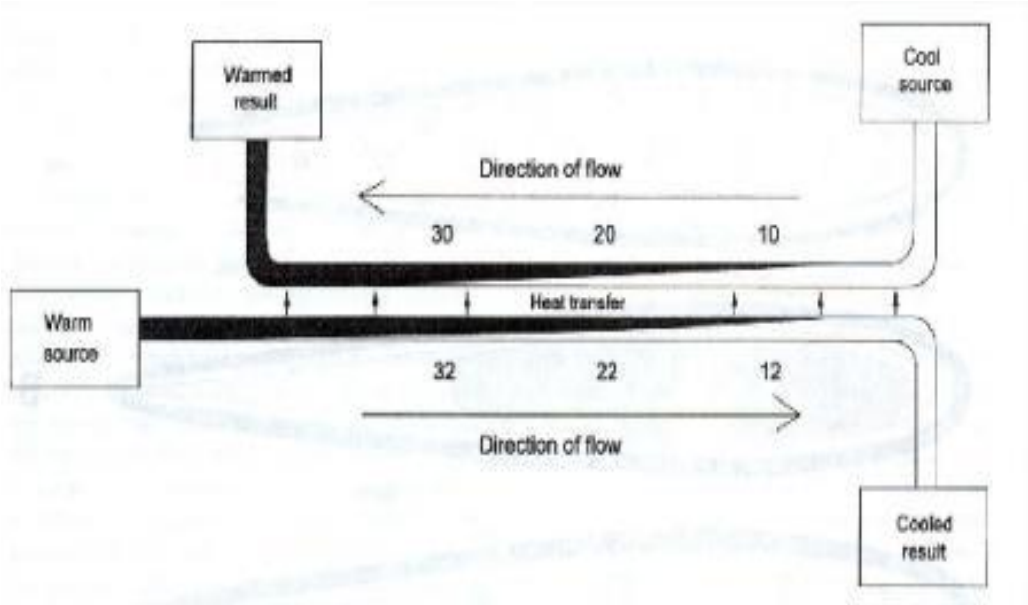
U hladnim područjima dugi tjelesni ekstremiteti poput repa, ušiju, nogu mogu predstavljati veliki problem u smislu gubitka topline. Naime, sve što je udaljeno od glavne mase tijela povećano gubi toplinu jer ima jako nepovoljan omjer volumena i površine. Taj su problem sisavci riješili na dva načina. Jedan je smanjivanje ekstremiteta, a drugi regionalna heterotermija. Kod prvog treba spomenuti Allenovo pravilo (sl. 5). Ono govori o tome da, što

su životni uvjeti hladniji ekstremiteti se, u pravilu, smanjuju. To se lijepo može vidjeti na primjeru roda *Lepus*. Arktički zec (*Lepus articus*) ima najmanje ekstremitete, dok zec koji obitava u pustinjskim i polupustinjskim područjima (*Lepus alleni*) ima vidljivo veće ekstremitete. Treba napomenuti da kod Allenovog pravila postoje iznimke pa tako rod kunića (*Sylvagus*) uopće ne slijedi pravilo.




Slika 5. Allenovo pravilo
(http://scienceblogs.com)

Kod regionalne heterotermije ne govorimo o smanjenu ekstemiteta, mada i ono može biti prisutno. Tu se gubitak temperature u ekstremitetima postiže pomoću protustrujnog mehanizma (sl 6.) (Randall et al. 1997). To je mehanizam u kojem topla arterijska krv struji kroz sredinu ekstremiteta, dok se venska krv vraća natrag u tijelo uz rubove. Kako topla arterijska krv u centru prolazi pored hladne venske krvi koja se vraća u trup, gubitak topline je znatno smanjen jer topla arterijska krv velik dio svoje topline prenosi venskoj krvi. Na taj način, sisavac koji obitava u ekstremno hladnim uvjetima može imati temperaturu u ekstremitetima znatno nižu nego u samom trupu. To se jasno može vidjeti na primjer kod američkih dabrova (*Castor canadensis*). Takav sistem se kod njih nalazi u prednjim i stražnjim ekstremitetima i repu. (Vaughan et al. 2000).




Slika 6. Protustrujni mehanizam
(http://scienceblogs.com)

Protustrujni mehanizam bitan je i za gubitak topline disanjem. Za razliku od onog u ekstremitetima gdje se izmjena topline događa istovremeno između dva suprotna „kanala“, u dišnom sustavu se izmjena topline odvija u istom kanalu ali u različitim vremenskim intervalima. Tipičan primjer je sob (*Rangifer tarandus*). Kada je pojačano aktivan, proizvodi više topline nego što mu je potrebno, a taj višak se djelomično gubi kroz dišni sustav. Kada sob spava, metabolička rata je znatno niža i stvara se manje topline. Da bi se spriječio prekomjeran gubitak topline kroz dišni sustav protustrujnim mehanizmom, postoje posebni preklopi kože na nosnicama koji smanjuju nosne otvore (Feldhamer et al. 1999).

### 2.2.3 PIGMENTIRANOST

Jedna od najuočljivijih osobina sisavaca u hladnim područjima jest boja njihova krzna. Tu je poznato Glogerovo pravilo (sl. 7) koje nam govori da pigmentiranost životinja biva sve svjetlija što se približavamo polovima. Obojenost može biti konstantna tokom cijele godine, npr. polarni medvjed (*Ursus maritimus*) ili periodična gdje sisavac ima bijelu boju krzna samo u zimskom periodu kao primjerice lasica (*Mustela nivalis*) i arktička lisica (*Alopex lagopus*). Da li će životinja promijeniti boju krzna ovisi o energetskoj isplativosti. Na primjer, arktički zečevi (*Lepus arcticus*) su toliko dobro prilagođeni na zimske uvjete da im se tokom ljeta ne isplati mijenjati boju krzna (Feldhamer et al. 1999).



Slika 7.Glogerovo pravilo
(www.royalalbertamuseum.ca)

### 2.2.4 BEHAVIORALNA TERMOREGULACIJA

Sisavci se najviše oslanjaju na fiziološke mehanizme pri regulaciji tjelesne temperature, ali isto tako jednim manjim dijelom koriste i ponašanje. Behavioralna termoregulacija ponekad igra ključnu ulogu u umanjivanju stresa uzrokovanog hladnoćom. Mnogi mali sisavci se smotaju u klupko da bi poboljšali odnos površina - volumen, te na taj način smanjili gubitak topline, rade gnijezda i u njima prezimljavaju u grupama, stisnuti jedno uz drugo i tako minimaliziraju gubitak topline. Tipičan primjer su krtice (*Nicrotus xanthognathus*) koje prezimljavaju u grupama i do deset jedinki. U njihovim gnijezdima se uvijek nalazi nekoliko jedinki čija je uloga „grijanje gnijezda“. (Vaughan et al. 2000) Jelenji miševi (deer mouse), rod *Peromyscus* također prezimljavaju u grupama i pokazuju zanimljivo svojstvo da se jedinke, zbijene u grupi, konstantno premještaju tako da svaka jedinka barem jednom u toku dana dođe u centar grupe čuvajući tako toplinu. (Feldhamer et al.1999).

Očuvanje topline je najbolje kada je jazbina dobro izolirana. To se najbolje uočava kod američkih dabrova (*Castor canadensis*). Osim što prezimljavaju u grupama („obitelji“), griju gnijezdo svojom tjelesnom toplinom, oni ga još dodatno toplinski izoliraju (sl. 8). Na taj način je temperatura uvijek znatno viša od vanjske i nikad ne prelazi ispod ništice.



Slika 8. Unutrašnjost dabrove jazbine
(http://www.scotsbeavers.org)

### 2.2.5 ZONE SAKUPLJANJA

Mnogi mali sisavci, na primjer rovke i krtice, u hladnim zimskim periodima ovise o zonama sakupljanja. To su dobro „utabane“ staze koje se nalaze nadomak površini tla ili neznatno ispod nje. Primijećeno je da mali sisavci unutar tih zona sakupljanja ponekad ostavljaju zalihe hrane koje će koristiti u zimskom periodu, kada je sakupljanje hrane otežano ili nemoguće. Najuspješniji u tome su glodavci i neki pripadnici malenih zvijeri. U zimskom su periodu staze prekrivene snijegom i predstavljaju relativno termostabilnu zonu koju sisavci koriste dok su u potrazi za hranom. Temperature izvan te zone znaju doseći i do -29°C, dok su unutar nje “ugodnih“ -4°C do 1°C. Snijeg je dakle vrlo bitan jer predstavlja izolator koji štiti površinu tla od fluktuirajućih vanjskih uvjeta. Kritična debljina snježnog pokrova koja se mora postići da bi on imao zaštitnu funkciju zove se „heimal treshold“ i istraživanja su pokazala da je smrtnost rovki znatno povećana kada „heimal treshold“ nije postignut.

Kao što je već navedeno, sakupljanje hrane tokom zime je otežano te tako zahtijeva veću potrošnju energije. Mali sisavci se zbog toga oslanjaju na već spomenute zone sakupljanja i smanjuju svoje aktivnosti. Na primjer vodeni štakor (*Peromyscus leucopus*) ljeti provodi 72% vremena u aktivnom stanju, a zimi samo 28% vremena. U prethodno navedeni primjer termoregulacije uključen je i torpor, skupljanje u grupe, korištenje zajedničke jazbine i njezina izolacija.

### 2.2.6 SMANJENJE TJELESNE MASE

Maleni sisavci u hladnim područjima generalno pokazuju smanjenje tjelesne mase u zimskom periodu. Taj fenomen nazivamo Dehnelov fenomen. Naime, sisavci male mase imaju manju potrebu za hranom, veću učinkovitost asimilacije hranjivih tvari, troše manje energije i vremena za traženje hrane unutar zone sakupljanja. Gubitak tjelesne mase može iznositi i do 45% kod šumske rovke (*Sorex araneus*) i do 53% kod sjevernoameričke rovke (*Sorex cinereus*). Uz očite prednosti smanjenja tjelesne mase javljaju se i nedostaci. Smanjuje se tolerancija životinje na hladnoću zbog nedostatka rezervnih tvari u organizmu. Iz tih razloga životinja mora ostati konstantno aktivna i tražiti hranu, što joj nije u interesu jer time troši velike količine energije. Zbog toga veliki broj sisavaca koji u zimskom periodu gube na masi prolaze neki oblik dormancije, o kojoj će biti više rečeno u sljedećem poglavlju.

### 2.2.7 HIBERNACIJA - TORPOR

Male životinje poput glodavaca i šišmiša teško se nose sa hladnim uvjetima, te zbog toga pribjegavaju posebnoj strategiji u kojoj djelomično napuštaju endotermiju. Dormanciju definiramo kao smanjenje metaboličke rate i tjelesne temperature. Torpor je oblik dormancije u kojem smanjenje temperature i metaboličke rate nije toliko drastično. Drastičniji oblici su hibernacija zimi i estivacija ljeti.

Ponekad se koristi grupni naziv adaptivna hipotermija. Ona govori o kontinuumu u kojem životinja reagira na temperaturni stres u smislu reakcija napuštanja homeotermije. Na jednom kraju se nalazi blaži oblik hipotermije u kojem se temperatura regulira na 10°C od normalne, a na drugom je torpor ili ekstremna hipotermija koja zahtijeva mnogo ozbiljnije mjere (Vaughan et al. 2000). Zbog terminoloških nejasnoća, među znanstvenicima postoje nesuglasice. Granice između dormancije, torpora i hibernacije ne mogu se uvijek jasno povući i kao takve ih treba uzeti u obzir.

Torpor je stanje u kojem smanjenje metaboličke rate, otkucaja srca i respiracije nije toliko drastično kao kod hibernacije. Tjelesna temperatura se osjetno smanjuje ali većinom ne pada ispod 15°C, a kreće se u rasponu od 10°C do 22°C. Vremenski raspon u kojem se životinja nalazi u torporu može varirati od nekoliko sati do nekoliko dana. To je poprilično plastično stanje koje životinja koristi u kombinaciji s ostalim prethodno navedenim mehanizmima. Sisavci koji se služe ovom strategijom su glodavci, kukcojedi, razni tobolčari,

neki primati, ali miševi (Muriidae) i šišmiši (Chiroptera) prednjače. Zanimljivo je da rovke i krtice nikad ne ulaze u stanje torpora.

Šišmiši su posebno zanimljiva skupina što se torpora tiče. Kada temperatura počne padati šišmiši prvo počinju drhtati, što zbog njihovih malenih energetskih zaliha ne traje dugo. Ako temperatura i dalje pada onda, kao i mnogi drugi mali sisavci, ulaze u stanje torpora. Ulazak u stanje diurnalne letargije ili torpora ne ovisi samo o temperaturi nego i o dostupnosti hrane. Zbog toga u mnogim kolonijama možemo istovremeno naći aktivne i torpidne jedinke. Na primjer, u koloniji šišmiša vrste *Eptesicus fuscus* (sl. 9) je opaženo da su pri 11°C sve muške jedinke bile torpidne, dok su ženke bile zbijene i koristile su svoju tjelesnu temperaturu da zagriju jedna drugu. Kada se temperatura spustila na 9°C tada su i ženke postale torpidne. U tropskim krajevima primjećeno je da, zbog nestašice hrane, vrsta *Nyctophilus gouldi* ulazi u stanje torpora već pri temperaturama od 30°C, a kada je hrane bilo dovoljno jedinke nisu ulazile u torpor (Neuweiler 2000).



Silka 9. Eptesicus fuscus
(http://www.discoverlife.org)

Hibernaciju je najlakše definirati kao „duboki“ torpor. Tada životinja maksimalno uspori svoj metabolizam, a temperatura tijela joj pada na oko 2°C do 5C°. Hibernacija je vremenski mnogo duža i radi se o tjednima tijekom zimskog perioda. Životinje koje hiberniraju su vjeverice (Sciuridae), svizci (*Marmota*) i ježevi (Erinaceidae). Nijedan sisavac ne ostaje konstantno u takvom stanju nego se povremeno „budi“. Sam period hibernacije ovisi o veličini životinje, temperaturi okoliša i vrsti koja hibernira. Najveći sisavci koji hiberniraju

su svizci (rod *Marmota*), a teže oko 5 kilograma. Kod većih sisavca hibernacija nije isplativa iz nekoliko razloga. Naime, potrebna je ogromna količina energije za „buđenje“. Nadalje, veliki sisavci mogu sakupiti dovoljne količine rezervi u obliku adipoznog tkiva da im traje cijeli zimski period. Na primjer, kod američkog grizlija (*Ursus horibilis*) koji teži skoro 400 kilograma, količina energije potrebna da mu se tjelesna temperatura podigne za 1°C iznosi 347000 cal. Pretpostavimo da medvjed treba podignuti svoju tjelesnu temperaturu od 5°C pa sve do 37°C, energija potrebna za njegovo „buđenje“, iznosi vrtoglavih 11.116,800 cal. Iz ovoga je vidljivo da bi medvjed, ako hibernira, doslovno „pojeo“ sam sebe. Velike životinje poput medvjeda umjesto hibernacije, ulaze u period zimske letargije gdje im se temperatura smanjuje za oko 5°C.

## 2.3 OTPORNOST NA STRES UZROKOVAN HLADNOĆOM

Osim načina na koji će izbjeći hladnoću, sisavci se moraju i suočiti s njom. Naime, ako stres uzrokovan hladnoćom traje dovoljno dugo, sisavci mu se moraju oduprijeti procesima generiranja energije. S obzirom da ti procesi stvaraju energiju, za njih su potrebne i veće količine hrane, bilo konzumirane iz okoline ili iz masnih rezervi. Glavni procesi su pojačana mišićna aktivnost u obliku kretanja, mišićne kontrakcije - drhtanje te nedrhtajuća termogeneza.

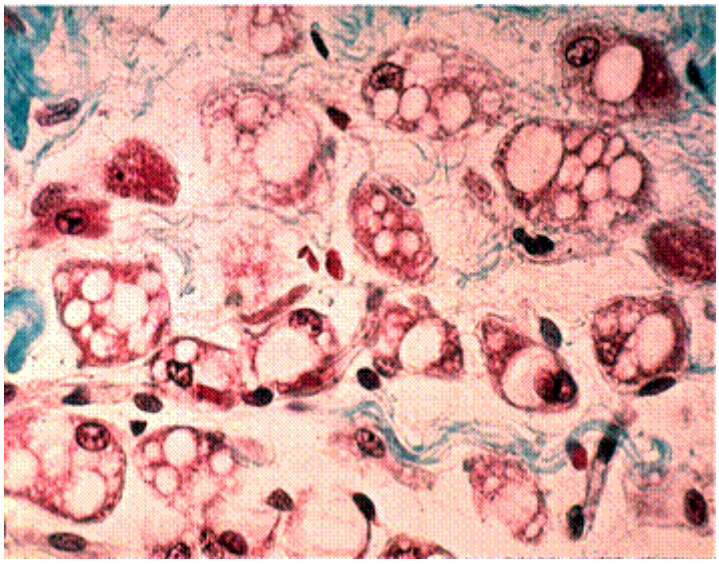
### 2.3.1 MIŠIĆNE KONTRAKCIJE - DRHTANJE

Kada temperatura padne ispod kritične točke termoneutralne zone, sisavci generiraju toplinu podizanjem svoje metaboličke rate održavajući tjelesnu temperaturu konstantnom. Veliki dio energije za očuvanje tjelesne energije dolazi od drhtanja. Kada je temperatura okoliša niska mišićni tonus se povećava, električni impulsi iz živaca dolaze sa najvećom frekvencijom i mišić počinje drhtati. Skeletni mišići drhte ritmički, ali asinkrono što uzrokuje generiranje topline bez samog čina kretanja. Količina vremena drhtanja ovisi prvenstveno o veličini životinje te količini rezervnog masnog tkiva (Neuweiler 2000).

### 2.3.2 TERMOGENEZA KOJU NE UZROKUJE DRHTANJE

U ovom slučaju energija za očuvanje tjelesne topline ne dolazi iz mišićnih kontrakcija nego joj je izvor smeđe adipozno tkivo (sl. 10). To tkivo nalazimo kod svih hibernirajućih sisavaca, pogotovo malih. Za razliku od bijelog adipoznog tkiva koje se pod mikroskopom

vidi kao velika kapljica sa malom jezgrom na rubu, smeđe tkivo ima mnogo sitnih kapljica između kojih se nalaze brojni mitohondriji. Zbog velike količine mitohondrija u stanicama smeđeg adipoznog tkiva ,za razliku od bijelog, ono je sposobno za mnogo veću ratu staničnog disanja, tj. potrošnje kisika. Tim procesom se generira energija čiji velik dio se ispoljava kao toplina. Najbitniji za aktivaciju smeđeg adipoznog tkiva je hormon norepinefrin. Treba napomenuti da bijelo adipozno tkivo služi primarno kao izolacija i nalazi se podjednako raspoređeno po cijelom tijelu životinje, dok se smeđe adipozno tkivo nalazi u nakupinama koje su u neposrednoj blizini vitalnih organa i dobro je prokrvljeno.(Feldhamer et al.1999).



Slika 10. Smeđe adipozno tkivo
(http://www.weightlossforall.com)

## 3. PRILAGODBE NA VRUĆINU I SUŠU

Za razliku od sisavaca u hladnim područjima, sisavci koji žive u ekstremno toplim uvjetima moraju se nositi sa suprotnim problemima. Ako uzmemo u obzir da je 35% zemljine površine pokriveno pustinjama onda nam postaje jasno koliko su važne prilagodbe sisavaca na takve uvjete. Kada pogledamo kakvi uvjeti vladaju u pustinjskim i polupustinjskim područjima vidimo da su oni kudikamo teži nego oni u polarnim područjima. Životinje se susreću s nestašicom hrane i vode, temperaturna regulacija je sada suprotna. Tijelo životinje treba rashladiti, a to je kod ekstremno visokih temperatura puno teže nego ga održati toplim kada temperatura padne. Sisavci se moraju nositi sa temperaturama koje dosežu do 55°C u zraku i do 70°C uz samo tlo. Zbog toga su izuzetno važni mehanizmi koji će tijelo životinje spriječiti od pregrijavanja i gubitka vode.

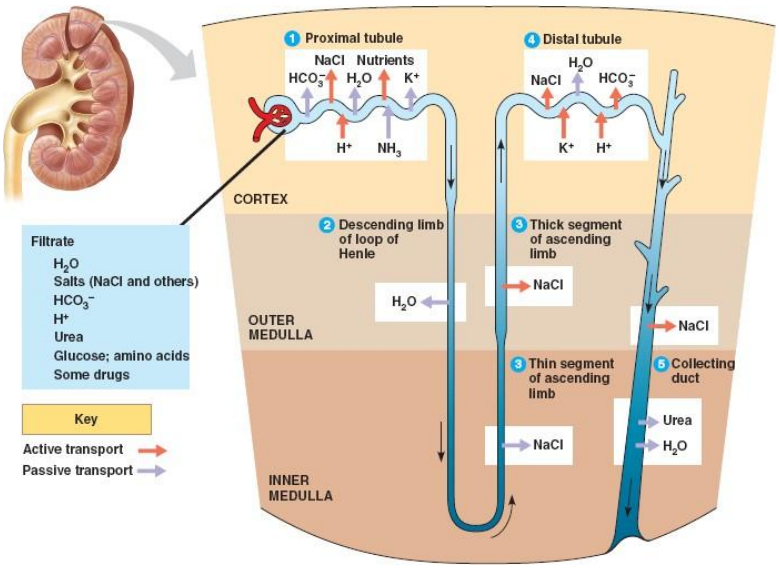
## 3.1 OTPORNOST NA STRES UZROKOVAN VRUĆINOM I SUŠOM

Isto kao što su sisavci hladnih područja razvili prilagodbe koje im omogućuju izbjegavanje i otpor prema hladnoći tako su sisavci u pustinjskim i polupustinjskim područjima razvili prilagodbe koje im omogućuju otpor i izbjegavanje vrućine i suše. Cilj im je u biti isti samo se neki fiziološki i anatomski mehanizmi razlikuju. Mehanizmi otpora i izbjegavanja nisu razdvojeni nego se koriste zajedno u različitim omjerima. U sljedećim poglavljima ćemo se pozabaviti s otpornošću na vrućine i sušu.

### 3.1.1 VODA I BUBREZI

Voda je najbitnija za homeostazu i preživljavanje organizma uopće. Naše tijelo se sastoji od 70% vode i ona igra veliku ulogu kod osmoregulacije, tj. delikatnog balansa koncentracija soli i vode u organizmu. Organ koji to regulira je bubreg, vrlo važan organ u tijelu sisavca jer, osim osmoregulacije, koncentrira urin.

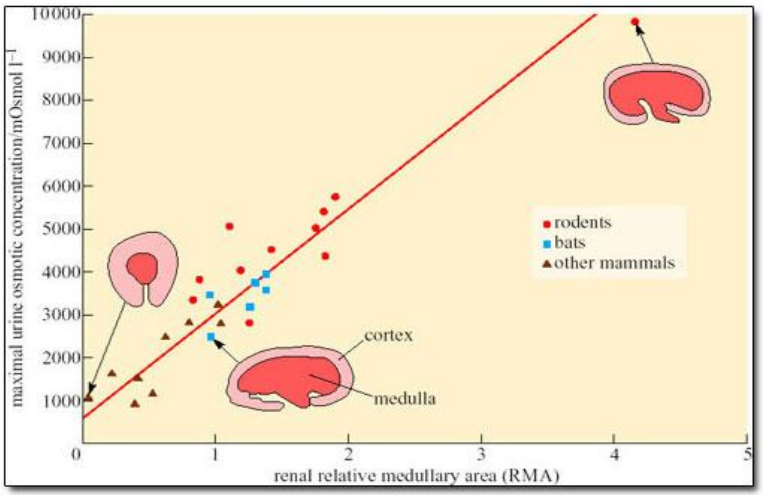
Većina izlučivanja vode, uričnе kiseline, uree, kreatinina i sulfata odvija se preko bubrega. To su parni organi koji se sastoje od korteksa i medule. Osnovna građevna jedinica je nefron (sl.11) koji se sastoji od glomerula, proksimalnog kanalića, henleove petlje, distalnog kanalića i sabirne cijevi. Tu se vrše mnoge zadaće - glomerularna filtracija, koja se odvija zbog razlike u tlakovima te tubularna reapsorpcija i sekrecija koje se odvijaju u proksimalnom i distalnom kanaliću te henleovoj petlji, putem osmoze i aktivnog transporta. Bubreg je bitan za sisavce koji žive u jako vrućim i suhim životnim uvjetima, jer im omogućava da proizvode izuzetno koncentriran urin, do 25 puta veće koncentracije nego krvna plazma. To im omogućavaju vrlo duge henleove petlje i kanalići koji se nalaze u meduli. Naime, što su henleova petlja i kanalići duži njihova moć reapsorpcije vode će biti veća, a time i moć koncentriranja urina. Njihova dužina ovisi o debljini same medule, što je medula deblja moć koncentriranja urina će biti veća. Debljinu medule još nazivamo RMT (renal medullary thickness). Logično je da sisavci sa najdebljim medulama (najveći RMT) dolaze iz pustinjskih i polupustinjskih staništa. Posebno veliki RMT imaju pustnjski glodavci.




Slika 11. Građa nefrona
(http://bio1152.nicerweb.com)

### 3.1.2 URIN I IZMET

Kao što je prethodno rečeno, sposobnost izlučivanja koncentriranog urina je usko povezana s građom samog bubrega. Dakle, sisavci, posebice skupine glodavaca (Muriidae, Heteromyidae, Sciuridae), krezubice (Xenarthra) i šišmisi (Chiroptera) imaju posebno prilagođene bubrege sa visokim RMT-om (sl. 12). Primjerice, sposobnost koncentriranja urina pustinjskih glodavaca iznosi od 3 000 do 6 000 miliosmola po litri, dok kod australijskih skočimiševa (*Notomys alexis i N. cervinus*) ta koncentacija doseže visokih 9 000 miliosmola po litri. Kod sisavaca u toplim i suhim uvjetima i izmet biva lišen vode. To je jako bitno jer na taj način životinja dodatno čuva dragocjenu vodu. Na primjer, kod vrste *Dipodomys merriami* omjer je samo 834 mg vode/g izmeta, za razliku od običnog laboratorijskog štakora koji ima omjer 2246 mg vode/g izmeta.




Slika 12. RMT (renal medullary thickness)
(http://openlearn.open.ac.uk)

Uočeno je da maleni glodavci čuvaju vodu proizvodeći visoko koncentrirano mlijeko. Tako npr. kod vrste *D. merriami* samo 50,4% sastava mlijeka čini voda. Takva koncentracija se može vidjeti još jedino u kitova.

### 3.1.3 PREHRANA

Zbog nemogućnosti nalaženja vode u dovoljnim količinama, pustinjski i polupustinjski se sisavci moraju snaći na druge načine. Osim koncentriranja mokraće tu veliku ulogu igra i sama prehrana. Do vode se dolazi npr. iz sukulenata, tj. ona se ne pije direktno. To znači da životinja mora preživjeti samo uz pomoć metaboličke vode, a ona se dobiva u procesu stanične oksidacije. Kao što je već rečeno, sukulentne biljke kao što su kaktusi jedan su od izvora vode. Vidljivo je da sukulenti kod određenih vrsta čine bazu njihove prehrane. Vrsta *Neotoma lepida* se hrani gotovo isključivo kaktusima roda *Opuntia* iz kojih dobiva i hranu i vodu.

Dok jedni sisavci ovise o sukulentima kao izvoru vode, drugima osnovu prehrane čini „suha“ hrana kao što su različite sjemenke. Na taj način moraju preživljavati isključivo pomoću metaboličke vode, jer je drugačije ne unose u organizam. Kao primjer navodim *D. merriami* koji se isključivo hrani sjemenkama halofita i uopće ne treba vodu. S obzirom da su halofiti biljke slanih staništa, životinje s ovakvim prilagodbama moraju imati izuzetnu mogućnost koncentriranja mokraće i „sušenja“ vlastitog izmeta.

Kukcojedi i mesojedi koji žive na suhim i vrućim područjima oslanjaju se na hranu koja je bogata vodom, radije nego da je piju. Tako mogu preživjeti duge periode bez vode i

čekati kišu. Zanimljiva je vrsta miša *Onychomys torridus* koji se hrani skakavcima, škorpionima te raznim kornjašima i iz njih „uzima“ vodu. Sličnu taktiku imaju i sjevernoamerički jazavac (*Taxidea taxus*), kojot (*Canis latrans*) i pustinjski jež (*Hemiechinus auritus*), samo oni uglavnom biraju veći plijen.

Dobri primjeri vrsta koje mogu izdržati neograničeno bez pitke vode su eland (*Taurotragus oryx*) i oriks (*Oryx beisa*) (sl. 13). Te sjevernoafričke antilope se susreću s temperaturama do 40°C. Vodu uzimaju iz listova akacije čiji su listovi bogati vodom (58%), ali samo noću, dok danju taj postotak pada na 1%. Zato se antilope hrane isključivo noću kako bi što bolje iskoristile vodu. U kombinaciji s metaboličkom vodom i bubrezima koji imaju visoku moć koncentriranja mokraće, omogućena im je neovisnost o pitkim izvorima vode.




Slika 13. Oriks
(http://www.naturephoto-cz.eu)

### 3.1.4 REGULACIJA TEMPERATURE

Kada su temperature visoke ili je životinja pod stresom koji zahtijeva pojačanu aktivnost mišićja, temperatura u njenom tijelu raste. Ako se životinja ne ohladi, ubrzo dolazi do pregrijavanja i smrti. Jedan od najefikasnijih mehanizama kojima se sisavci hlade je evaporativno hlađenje. To je relativno jednostavan mehanizam kojim sisavci iskorištavaju fizikalno svojstvo vode da može preuzeti veliku količinu energije pri prelasku iz tekućeg u plinovito stanje i na taj način rashladiti životinju. Taj mehanizam funkcionira izvrsno, ali su za njega potrebne velike količine vode. Pošto toga u pustinjama i polupustinjama baš i nema, a vrućine su velike, sisavcima je evaporativno hlađenje vrlo ograničeno. Zbog gubitka velikih

količina vode taj mehanizam koriste samo u nuždi, kao odgovor na iznenadne temperaturne stresove. Treba imati na umu da maleni sisavci poput pustinjskih skočimiševa nemaju velike zalihe tekućine pa im evaporativno hlađenje nikako ne odgovara. Oni se protiv velikih vrućina bore na druge načine koji će kasnije biti navedeni.

Znojenje je evoluiralo kod životinja koje nemaju puno dlake ili im dlaka ne predstavlja barijeru za isparavanje vode, tj. za hlađenje. Postoje dvije vrste žlijezda znojnica: apokrine, koje se nalaze na dlanovima i stopalima i ne utječu previše na termoregulaciju i one koje su smještene po ostatku tijela i sudjeluju u termoregulaciji. Znojenje, kao odgovor na temperaturni stres, javlja se samo kod primata i nekoliko kopitara (Ungulates), a nikad se ne javlja kod glodavaca te kod skupine dvojezubaca (Lagomorpha).

Dahtanje je brzo i plitko disanje koje pojačava evaporaciju vode s površine respiratornog sustava. Ono je karakteristično za mnoge mesojede, prvenstveno zvijeri, a i neki biljojedi ga koriste kao npr. koze, ovce te male gazele. Sve životinje gube toplinu i vodu kroz respiratorni sustav,a dahtanje je samo jedna od prilagodbi koja se oslanja na to svojstvo i pojačava ga.

Zanimljiva prilagodba je kada uz pomoć sada već poznatog protustrujnog mehanizma sisavci poput tomsonove gazele (*Eudorcas thomsoni*) mogu držati mozak na nižoj temperaturi od tjelesne. Kroz poseban sinus koji se nalazi točno ispod mozga životinje prolazi splet arterija i vena. Venska krv je hladnija jer dolazi iz područja nosne šupljine i ona hladi toplu arterijsku krv koja zatim odlazi direktno u mozak. To je vrlo korisna prilagodba koja najviše pomaže kod iznenadnog toplinskog stresa, kada npr. antilopa mora pobjeći od grabežljivca. Temperatura mozga se na taj način drži oko 2°C nižom od tjelesne

Već je prije navedeno da se maleni sisavci poput glodavaca ne mogu znojiti niti dahtati. Oni svoju dlaku premazuju slinom da bi potaknuli evaporativno hlađenje. To nije efektivno kao znojenje ili dahtanje, ali u nuždi, tj. kada je temperaturni stres visok, može smanjiti tjelesnu temperaturu i pomoći životinji dok se ne skloni od vrućine. Treba napomenuti da, zbog svoje veličine, glodavci ovu strategiju ne upotrebljavaju često, niti kroz duži vremenski period zbog ograničenih zaliha vode. (Feldhamer et al. 1999).

### 3.1.5 IZMJENA TOPLINE I OČUVANJE VODE KROZ DIŠNI SUSTAV

Mnoge pustinjske životinje poput pustinjskih štakora imaju sposobnost hlađenja zraka kojeg izdišu i na taj način smanjuju gubitak vode. Zrak koji udišu prolazi kroz nosne sinuse gdje biva zasićen vodenom parom. Na taj način se tkiva hlade zato što voda isparava s njih i zagrijava zrak. Kod izdisaja se takav vlažan zrak vraća kroz nosne sinuse koji su hladniji i tamo „vraća“ vodu natrag na nosnu sluznicu. Tako, uz pomoć protustrujnog mehanizma, sisavci čuvaju i vodu i energiju. Pustinjski štakori (rod *Dipodomys*) su pravi umjetnici u tome. Oni mogu na taj način sačuvati 65% do 75% vode kod izdisaja, ovisno o uvjetima koji vladaju.

### 3.1.6 IZOLACIJA I KRZNO

Sisavci koji su prilagođeni ekstremno toplim uvjetima koriste svoje krzno suprotno od sisavaca koji se nalaze u hladnim područjima. Njima krzno služi da izbjegnu pregrijavanje. Postoji visoki gradijent temperature između okoline, koja može doseći do 70°C, i temperature sisavca koja iznosi oko 40°C, a životinje se s time moraju nositi. Krzno tu pomaže na više načina. Osim što pomaže u održavanju gradijenta topline između tijela i okoline, ono sprečava upijanje viška topline u obliku sunčevog zračenja. Tipičan primjer životinje koja koristi ovu strategiju je deva. Nadalje, većina životinja ima krzno koje je tako obojeno da reflektira veliki dio sunčevog zračenja. Kod sisavaca kao što je guanako (*Lama guanacoe*) krzno nije ravnomjerno raspoređeno na tijelu, već postoje dijelovi bez njega koji djeluju kao „toplinski ventili“. To su mjesta na kojima se višak topline kondukcijom i konvekcijom oslobađa natrag u okolinu. Ta mjesta su bogato prokrvljena što dodatno pospješuje izmjenu topline. Sličnu ulogu igraju rogovi, koji su također bogato prokrvljeni.

### 3.1.7 TJELESNI EKSTREMITETI

Kao i kod sisavaca prilagođenih na ekstrermnu hladnoću, tako i kod sisavaca koji žive u pustinjskim i polupustinjskim uvjetima postoji protustrujni mehanizam koji u ovom slučaju služi za hlađenje. Zbog posebnog rasporeda arterija i vena u prednjim i stražnjim udovima oni djeluju kao „hladnjaci“ za tijelo. Naime, arterijska krv prenosi svoju toplinu venskoj, a ona okolini. To je dodatno pospješeno međusobnom blizinom i dobrim kontakom žila te sporijim protokom krvi što je bitno za bolji prijenos topline. Na taj način je građen i krvožilni sustav ljudi, pogotovo domorodaca afričkih pustinja. I drugi ekstremiteti mogu služiti kao

„hladnjaci“, npr. uši kalifornijskog pustinjskog zeca (*Lepus californicus*) (sl. 14) imaju veliku površinu, dobro su prokrvljene te se širenjem njihovih žila zec oslobađa viška topline. Slična je situacija i sa pustinjskim lisicama. (Feldhamer et al. 1999)




Slika 14. Kalifornijski pustinjski zec
(http://www.californiadesert.gov)

### 3.1.8 ESTIVACIJA

Stanje u koje ulaze sisavci za vrijeme velikih vrućina i suša nazivamo estivacija. Tada životinja ulazi u stanje letargije koje je okarakterizirano smanjenjem tjelesne temperature. Skupine kod kojih nalazimo te prilagodbe su tobolčari i kukcojedi, a najviše je prisutno kod glodavaca. Estivacija nije tako drastična kao hibernacija, i ponekad se ne može niti zamijetiti ako se životinji ne izmjeri temperatura. Tipično za životinje koje estiviraju je uska termoneutralna zona koja se kreće između 28°C i 35°C i niska rata bazalnog metabolizma. To je zato da bi se što prije potaknuo ulazak u stanje estivacije . Kod sisavaca, posebno manjih glodavaca, zapažene su dvije vrste estivacije. Prva, u kojoj je životinja zapravo cijelo vrijeme aktivna i u potrazi za hranom, a samo povremeno pada u blagi oblik torpidnog stanja. Druga, gdje je oblik torpora u koji životinja pada malo dublji. Te životinje nisu cijelo vrijeme aktivne nego imaju periode kada estiviraju, a takvi periodi torpidnosti mogu potrajati i do 8 dana kao kod vrste glodavca *Perognathus parvus*. Treba naglasiti da estivacija nije toliko dobro proučena kao hibernacija.

## 3.2 IZBJEGAVANJE VRUĆINE

Osim raznih anatomskih, fizioloških i behavioralnih prilagodbi koje sisavci koriste kao otpor visokim temperaturama postoje i druge prilagodbe, čija se prednost zasniva na „izbjegavanju“ topline, bilo ponašanjem bilo fiziološki i anatomski.

Uz iznimke sjevenoamričkih vjeverica roda *Tamia* i zemne vjeverice (*Spermophilus beecheyi*) svi sjevernoamerički pustinjski glodavci, a i većina pustinjskih glodavaca diljem svijeta su fosorijalne i noćne životinje. Tokom dana se nalaze u svojim jazbinama, većinom u nekom obliku torpidnog ili letargičnog stanja, a noću izlaze van i hrane se. Njihove jazbine su vrlo važne jer je temperatura u njima niža nego vani i veća je zasićenost vodenom parom. Iz ta dva razloga sisavac koji je preko dana u jazbini gubi puno manje vode nego što bi bio slučaj da je vani. Jazbine su posebno bitne za malene glodavce koji se hrane sjemenkama. One u vlažnoj jazbini nakupljaju vodu te na taj način dodatno osiguravaju zalihe vode za sisavca.

Pustinjske vjeverice poput antilopske vjeverice (*Ammospermophilus leucurus*) (sl. 15) nisu nokturalne niti fosorijalne. One i njima slične vrste se moraju nositi sa temperaturama koje se penju preko 70°C. Zamijećena je zanimljiva prilagodba u ponašanju. Sakupljanje hrane vrše u jutarnjim i poslijepodnevnih satima, a dok se kreću po užarenom pijesku čine to što brže mogu. Zaustavljaju se u hladu kako bi sakupile hranu i obratile pozornost na grabežljivce. Na takvim temperaturama mogu biti aktivne samo 8 do 13 minutna zbog velikog rizika od pregrijavanja, nakon toga se žurno vraćaju u svoje jazbine. Kada se u vlažnoj i hladnoj jazbini ohlade vraćaju se natrag po još hrane. Istraživanja su pokazala da vjeverice pokazuju veliku varijabilnost u tjelesnoj temperaturi, koja se kreće između 36,1°C i 43,6°C. Vjeverice iskorištavaju mogućnost „skladištenja“ temperature u smislu izbjegavanja njenog štetnog utjecaja na životinju (Feldhamer et al. 1999). Slična se stvar događa i sa devama, samo što one zbog svoje veličine i mase mogu uskladištiti velike količine vode. Deve (*Camelus*) se polagano griju tokom dana i zatim se hlade tokom noći. Isto kao vjeverice koriste sposobnost „skladištenja“ topline da bi izbjegle njeno štetno djelovanje. Jedina razlika je da se deve ne mogu sakriti od vrućine i žege nego je moraju izdržati.




Slika 15. Antilopska vjeverica
(http://www.wildnatureimages.com)

## 4. LITERATURA

Feldhamer, George A. Drickamer, Lee C. Vessey, Stephen H. Merritt, Joseph F. *Mammalogy: Adaptation, Diversity, and Ecology.* Boston: WCB McGraw-Hill, 1999.

Vaughan, Terry A. Ryan, James M. Czaplewski, Nicholas J. *Mammalogy.* 4th ed. Philadelphia: Saunders College Publishing, 2000.

Neuweiler, Gerhard. *The biology of bats.* New York: Oxford university press, 2000.

Randall, David. Burggren, Warren. French, Kathleen. *Eckert animal physiology: mechanisims and adaptations.* 4th ed. New York: W. H. Freeman and Company, 1997.

http://www.und.ac.za/und/lesci/bird/thermoneutral_zone.htm

http://www.mun.ca/biology/scarr/Bergmann%27s_rule_in_Odocoileus.htm

www.greglasley.net/arcticfox.html

http://www.weightlossforall.com/fat-cells-structure-function_files/image004.gif

http://www.discoverlife.org/nh/tx/Vertebrata/Mammalia/Vespertilionidae/Eptesicus/fuscus/images/Eptesicus_fuscus.Smithsonian.240.jpg

http://www.scotsbeavers.org/images/inside%20lodge.jpg

http://www.wildnatureimages.com/images%202/040215-055..jpg

http://www.naturephoto-cz.eu/pic/sevcik/oryx-gazella--oryx-gazella.jpg

http://www.californiadesert.gov/imagefiles/animals/jackrabbit_small.jpg

http://openlearn.open.ac.uk/file.php/2815/S324_1_031i.jpg

http://scienceblogs.com/gregladen/Allens_Rule_Lepus_variation.jpg

http://www.wildlifenorthamerica.com/Mammal/Muskox/Ovibos/moschatus.html

http://scienceblogs.com/clock/upload/2006/09/counter%20current.jpg

http://www.royalalbertamuseum.ca/natural/birds/collects/_images/songsp.jpg

http://bio1152.nicerweb.com/Locked/media/ch44/44_14Nephron_L.jpg

## 5. SAŽETAK

Zbog svoje izuzetne sposobnosti da tijelo održe toplim kada je hladno ili da ga rashlade kada vladaju velike vrućine, u kombinaciji sa delikatnim procesima održavanja energetskog balansa energije i vode sisavci su se uspjeli prilagoditi i naseliti gotovo sva područja na zemlji. Održavanje tjelesne temperature konstantnom je energetski vrlo skup proces koji zahtjeva konstantnu potragu za hranom, tj. proizvodnjom energije. Iako energetski skupo, iz priloženog se vidi da je itekako isplativo. Od područja okovanih ledom do užarenih pustinja sisavci su, zahvaljujući svojoj prilagodljivosti, zagospodarili svijetom.

## 6. SUMMARY

Owing to their outstanding capability to keep their bodies warm in very cold weather or to cool themselves off in hot periods, combined with delicate processes of maintaining the ballance of energy and water, the mammals have succeeded in conforming to and colonizing amlost every part of the world. Keeping their body temperature constant is energetically very demanding process, which requires constant food provision, i. e. energy production. Although it is energetically very „expensive“ we can see that it's worth while. From the ice-shackled regions to the high-heated deserts the mammals have, due to their adaptability, mastered the world.