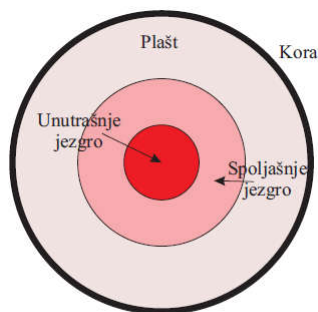


## Физика земљишта

1

1

## Литосфера



Slika 5.1: Struktura Zemlje

- Унутрашње језгро, полупречник 1200 км (Fe, Ni), због притиска је чврсто
- Спољашње језгро дебљине 2300 км (Fe, Ni), течно стање
- Плашт, дебљине 2800 км, чврсте силикатне стене
- Кора, 6-40 км, силикатне стене

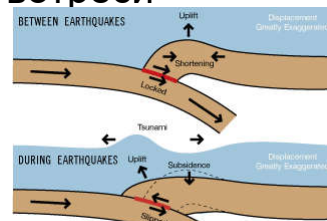
2

2

## Сеизмички таласи и структура Земље

### ■ Структура Земље и земљотреси

- Урвински
  - локални
- Вулкански
  - локални
- Тектонски
  - Набирање Земљине коре доводи до напрезања
  - Гомила се потенцијална енергија
  - Савладава силу трења између делова коре и изазива **механички талас**



3

3

## Сеизмички таласи и структура Земље

- Два типа таласа
  - Запремински
  - Површински
- Промене брзине таласа указују на нехомогеност унутрашњости
- Начин осциловања?
  - Трансверзални (у чврстом стању)
  - Лонгитудинални (у свим стањима)

4

4

## Сеизмички таласи и структура Земље

- Запремински таласи - сложени из
  - Лонгитудиналног
    - Бржи, 7-8 км/с, P-талас (primus/push)
    - Изазива потресе у правцу простирања и први се региструје
  - Трансверзалног
    - Спорији, 4-5 км/с, S-талас, secundus/shake
- Из измерене брзине таласа се закључује о особинама средине кроз коју је талас прошао

$$u_T = \sqrt{\frac{E_s}{\rho}}, \quad u_L = \sqrt{\frac{E_Y}{\rho}}$$

5

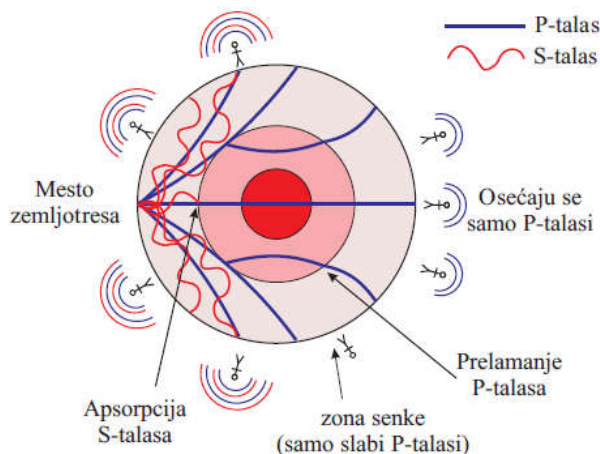
5

## Сеизмички таласи и структура Земље

$$u_L = \sqrt{\frac{E_Y}{\rho}}$$

$$u_T = \sqrt{\frac{E_s}{\rho}}$$

- Преламање при преласку из слоја у слој
- Мањи број фронтова одговара смањењу интензитета таласа



Slika 5.2: Prolazak S i P talasa kroz Zemlju nakon zemljotresa

6

## Земљиште

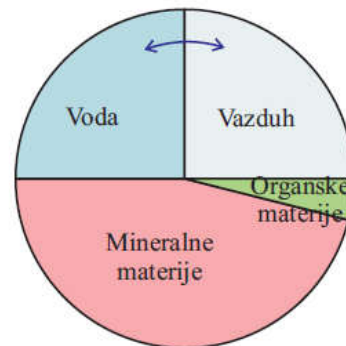
- Површински део планете настао интераговањем атмосфере и литосфере
- Услед протока енергије између њих
- Некомпактан површински слој Земље састављен од органског и минералног материјала
- Служи као природна средина за раст и развој биљака
- Агрегатно стање – полифазног је састава – све три фазе

7

7

## Земљиште

- Чврста фаза, 50% запремине
  - 45% неорганско
  - 5% органско
  - (чврста фаза- крута порозна структура=матрица у којој су друге две фазе)
- Гасовита фаза - ваздух
- Течна фаза – водени раствор са физичким особинама воде



Slika 5.3: Zemljište optimalnog sastava za biljke

8

8

## Физика чврсте фазе

Механички састав земљишта (текстура), 4. мај. 2017

- Механички састав – квантитативан однос појединих категорија честица у делу тла
- Класификација заснована на крупноћи честица
- Најкрупнији камен и шљунак- настају физичким трошењем стена
  - екстремно пропусна за воду,
  - имају доста ваздуха,
  - хемијски неактивна

Prečnik [mm]	Naziv čestice
> 20	kamen
20 – 2	šljunak
2 – 0,2	krupni pesak
0,2 – 0,02	sitni pesak
0,02 – 0,002	prah
< 0,002	glina

9

9

## Физика чврсте фазе

Механички састав земљишта (текстура)

- Песак – настаје на исти начин
  - Има велику пропустљивост за воду,
  - Прозрачно је
- Прах
  - Између песка и глине
  - Не бубри
  - Слабо се лепи
  - Добро задржава воду
  - Слабо је пропушта
  - Адсорбује јоне
  - Лако се збија и ствара покорицу
- Глина
  - Најактивнији састојак
  - Везује велике количине воде,
  - Бубри и лепљива је
  - Када је сува контрахује се и тврда је
  - адсорбује

Prečnik [mm]	Naziv čestice
> 20	kamen
20 – 2	šljunak
2 – 0,2	krupni pesak
0,2 – 0,02	sitni pesak
0,02 – 0,002	prah
< 0,002	glina

10

10

## Физика чврсте фазе

### Структура земљишта

- Структура земљишта – начин расподеле механичких елемената који га чине и њихов однос у порам тла
- Три типа
  - Агрегатна
    - 3-дим структуре .- агрегати
  - Кохерентна
    - У сувом стању компактно, тврдо и склоно пуцању
  - Без изражене структуре
    - Обилује крупним врстама честица (шљунак и песак)

11

11

## Физика чврсте фазе

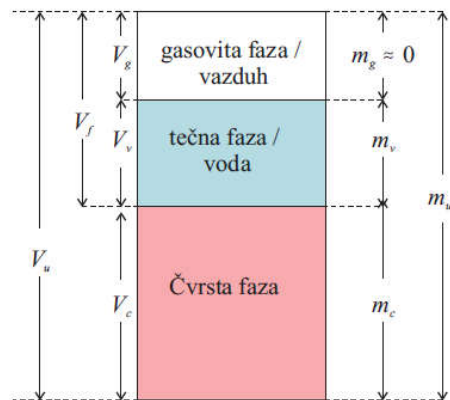
### Густина земљишта и његова порозност

- Просечна густина земљишта се дефинише за суво земљиште

$$\rho_{sr} = \frac{m_c}{V_u} = \frac{m_c}{V_g + V_v + V_c}$$

- Густина чврстог дела

$$\rho_c = \frac{m_c}{V_c}$$



Slika 5.4: Zapreminski i maseni odnosi tri faze zemljišta

12

12

## Физика чврсте фазе

Густина земљишта и његова порозност

- Однос запремина пора и чврсте фазе није 1:1 (као на сликама) – квантитативна мера је коефицијент порозности

$$\varepsilon = \frac{V_f}{V_u} = \frac{V_v + V_g}{V_c + V_v + V_g}$$

- Износ је око 0,3 до 0,6
- Земљишта крупније структуре су мање порозна иако је просечна величина пора већа
- Други запис овог коефицијента

$$\varepsilon = \frac{V_v + V_g + V_c - V_c}{V_c + V_v + V_g} = \frac{V_u}{V_u} - \frac{V_c}{V_u} = 1 - \frac{\rho_{sr}}{\rho_c}$$

13

13

## Физика чврсте фазе

Густина земљишта и његова порозност

- Друга процена порозности преко коефицијента који представља однос запремине пора и запремине чврсте фазе

$$\epsilon = \frac{V_f}{V_c} = \frac{V_v + V_g}{V_c} = \frac{V_v + V_g}{V_u - V_f}$$

14

14

## Водени потенцијал земљишта

- Није довољно знати количину воде
- Две врсте земљишта са честицама различитих величина које садрже исту количину доведемо у контакт
- Вода из земљишта крупније структуре прелази у оно ситније
- Обајшњење?

15

15

## Енергијско стање воде у земљишту

- Поседује различите форме енергије (кинетичку и потенцијалну)
- Креће се малом брзином - занемарује се кинетичка
- Потенцијална – у вези са положајем делића ...
- Разлика у потенцијалној енергији између две тачке земљишта изазива кретање воде
- Сви системи теже да буду у стању што мање потенцијалне енергије
- Проток воде – у смеру смањења потенцијалне енергије
- Престанак кретања – када енергија буде једнака у свим тачкама

16

16



## Енергијско стање воде у земљишту

- Интензитет силе која изазива кретање воде

$$F = \frac{\Delta E_p}{\Delta l}.$$

- Из енергијског стања воде се види колики рад мора биљка да изврши да би из земљишта извукла воду
- Потенцијална енергија - нема апсолутну вредност
- Увек се рачуна у односу на неку изабрану тачку.
- Уместо енергије користи се **потенцијал**

17

17

## Енергијско стање воде у земљишту

- **Потенцијал** = потенцијална енергија јединице масе
- Енергијско стање у односу на које се рачуна: хипотетички резервоар чисте, слободне, воде (на коју не утиче чврста фаза), на атмосферском притиску и на истој температури на којој је вода у земљишту (и на истој висини).
- Потенцијал такве воде је нулти.

18

18

## Енергијско стање воде у земљишту

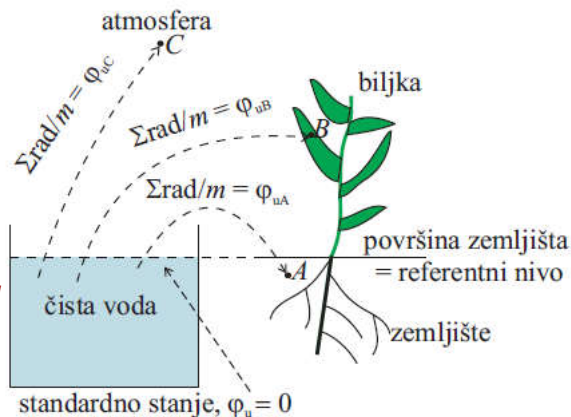
- Укупни потенцијал = *износ рада који треба извршити по јединици масе чисте и слободне воде у циљу преноса, на реверзибилан и изотерман начин, инфинитезималне количине воде из базена са чистом водом, који се налази на одређеној висини и на атмосферском притиску, у земљишну воду у некој тачки земљишта.*
- (Инфинитезимална количина ?
- Количина која неће битно променити референтно стање базена)

19

19

## Енергијско стање воде у земљишту

- Укупни потенцијал = *износ рада који треба извршити по јединици масе чисте и слободне воде у циљу преноса, на реверзибилан и изотерман начин, инфинитезималне количине воде из базена са чистом водом, који се налази на одређеној висини и на атмосферском притиску, у земљишну воду у некој тачки земљишта.*



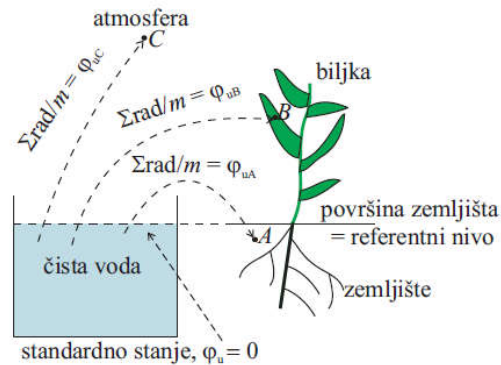
Slika 5.5: Потенцијали воде у земљишту, у ћелијама билјке и у атмосфери

20

20

## Енергијско стање воде у земљишту

- Конвенција:
  - Уколико је потребно извршити рад за пренос - потенцијал је позитиван
    - Земљиште незасићено водом
  - Ако се вода креће спонтано – потенцијал је негативан
    - Када је земљиште засићено водом

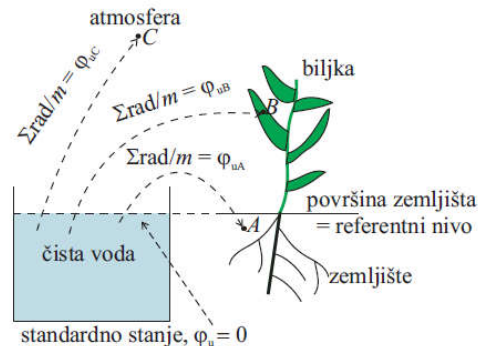


Slika 5.5: Potencijali vode u zemljištu, u ćelijama biljke i u atmosferi

21

## Енергијско стање воде у земљишту

- Више сила делује на воду у земљишту
- Потенцијал има више сабирака
  - Гравитациони потенцијал
  - Осмотски
  - Матрични
  - Потенцијал спољњег притиска, ...



Slika 5.5: Potencijali vode u zemljištu, u ćelijama biljke i u atmosferi

$$\varphi_u = \varphi_g + \varphi_o + \varphi_m + \varphi_{sp} + \dots$$

22

22

## Енергијско стање воде у земљишту

### Гравитациони потенцијал

- Тело на малој висини,  $F_g=mg$ ,  $g=9,81 \text{ m/s}^2$
- Потенцијал = енергија за подизање тела јединичне масе на неку висину

$$\varphi_g = \frac{E_p}{m} = \frac{mgh}{m} = gh.$$

- Аналогно је за воду у земљишту
- Уколико је тачка изнад референтне потенцијал је позитиван и супротно
- За воду на дубини  $z$  испод референтног нивоа је

$$E_p = -mgz.$$

$$\varphi_g = \frac{E_p}{m} = -gz.$$

23

23

## Енергијско стање воде у земљишту

### Осмотски потенцијал

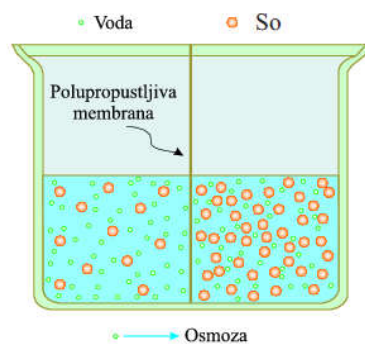
- Последица тога што вода у земљишту није чиста већ је раствор
- Растворене супстанце снижавају њен потенцијал
- Ако чисту воду од раствора раздваја селективно пропустљива мембрана (пропусна за воду) настаје осмоза

24

24

## Осмоза и дијализа

- **Осмоза** је транспорт **воде** кроз полупропустљиву мембрану из области веће у област мање концентрације .
- **Дијализа** је пренос молекула неке друге врсте кроз полупропустљиву мембрану услед разлике у концентрацији тих молекула.
- И једна и друга врста процеса се дешавају у бубрезима приликом пречишћавања крви.



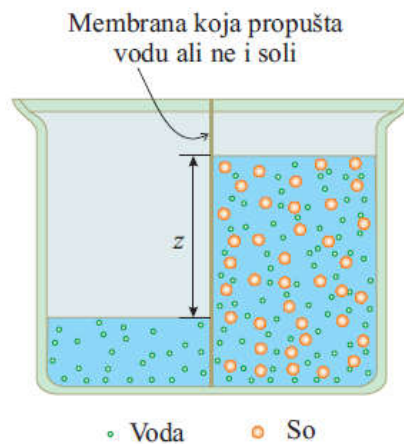
25

25

## Енергијско стање воде у земљишту

### Осмотски потенцијал

- У стању равнотеже вода пролази кроз мембрану и нивоу течности више нису једнаки
- Разлика у висинама доводи до осмотског притиска који је у вези са осмотским потенцијалом (чиста вода се креће ка месту нижег потенцијала!)
- Разлика у осмотском потенцијалу изазива кретање воде кроз мембране (у корен биљака и даље кретање кроз биљке)



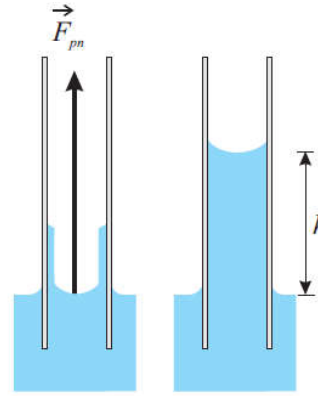
26

26

## Енергијско стање воде у земљишту

### Матрични потенцијал

- Резултат деловања сила које су повезане са матрицом чврсте фазе
  - Силе адсорпције
  - капиларни ефекти
  - Изазивају привлачење и везивање воде и тиме снижавају њене потенцијалне енергије у односу на слободну воду.
- Капиларне појаве
  - Последица површинског напона и сила адхезије



Slika 5.7: Postepeno podizanje nivoa vode u kapilari

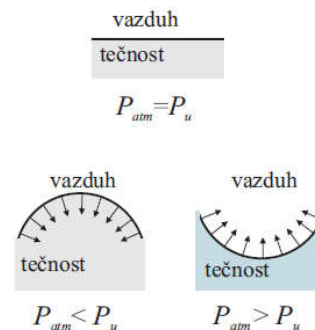
27

27

## Енергијско стање воде у земљишту

### Матрични потенцијал

- Увек постоји баланс сила које делују на слободну површину
- Свака крива површина течности врши допунски притисак у односу на онај који постоји када је површина течности равна; у случају испупчене површи тај допунски притисак је позитиван, у случају удубљене је негативан.



28

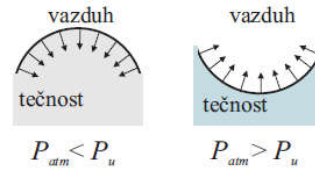
28

## Енергијско стање воде у земљишту

### Матрични потенцијал

- Разлика у притисцима може да објасни подизање течности у капиларама
- Менискуси у порама земљишта су удубљене површине
- Разлика притисака изнад и испод дата је Лапласовом формулом

$$\frac{\text{vazduh}}{\text{tečnost}} \\ P_{atm} = P_u$$



$$P_{atm} - P_u = \frac{2\sigma}{R}$$

29

29

## Енергијско стање воде у земљишту

### Матрични потенцијал

- Успоставља се равнотежа између разлике притисака око менискуса и хидростатичког притиска
- Земљиште као скуп капилара – матрични потенцијал

$$R = r / \cos \theta.$$

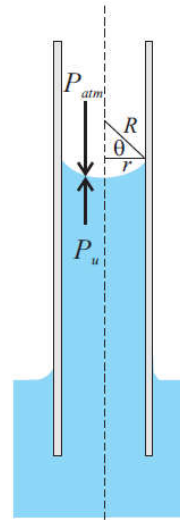
$$R \approx r.$$

$$\Delta P = P_u - P_{atm}$$

$$\Delta P = -\frac{2\sigma}{r}$$

$$\Delta P = -\rho gh$$

$$\varphi_m = -\frac{2\sigma}{r\rho}$$



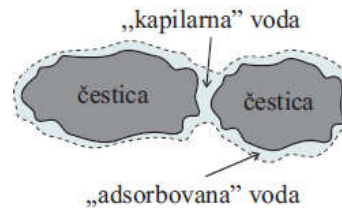
30

30

## Енергијско стање воде у земљишту

Матрични потенцијал, 16.5.2019.

- У реалним условима јавља се и адсорпција
  - На чврстим честицама ствара се и опнасти омотач воде
- Заступљен у глиновитом земљишту
  - Има ниски потенцијал (негативан па је велики по апсолутној вредности – велика способност усисавања воде)
- Песковито земљиште – адсорпција занемарљива – доминирају капиларни ефекти
- Матрични потенцијала – комбинација ова два ефекта



Slika 5.10: Kapilarna i adsorbovana voda

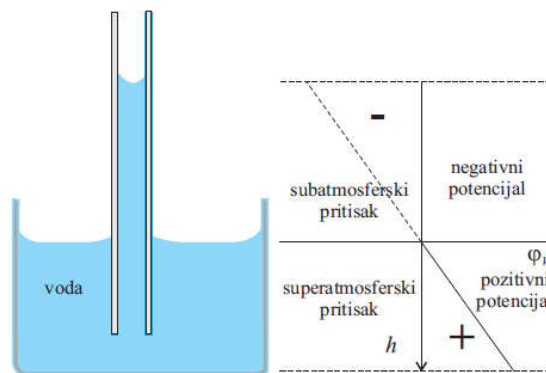
31

31

## Алтернативни начин приказивања потенцијала воде у земљишту

- Уместо преко потенцијалне енергије јединице масе преко потенцијалне енергије јединице запремине
- Гравитациони запремински потенцијал=хидростатички притисак
- Засићено земљиште, притисак већи од атмосферског па је позитиван
- У капиларама је притисак негативан ...

$$\varphi_V = \frac{mgh}{V} = \rho gh,$$



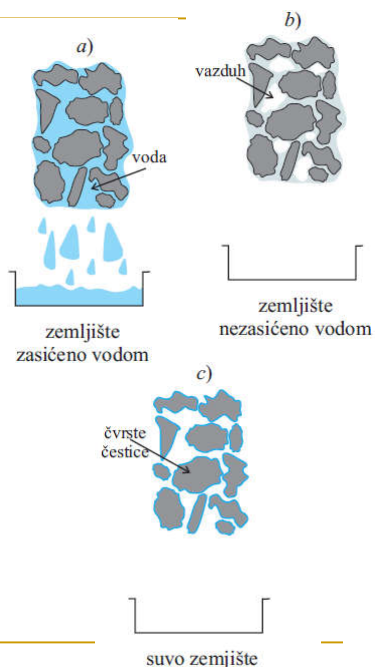
Slika 5.11: Matrični potencijal jedinice zapremine

32



## Типови воде у земљишту

- Вода у земљишту:
  - Гравитациона
    - Све поре попуњене - Засићено земљиште
  - Капиларна
    - Нису све поре попуњене - незасићено
  - Хигроскопна
    - Суво земљиште
- Биљке могу да узимају преко корена капиларну воду
- Место увенућа – дубина земљишта на којој престаје да постоји капиларна вода

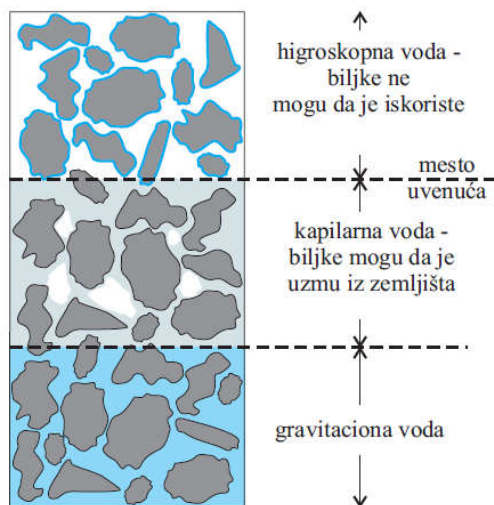


33

33

## Типови воде у земљишту

- Биљке могу да узимају преко корена капиларну воду
- Место увенућа – дубина земљишта на којој престаје да постоји капиларна вода



Slika 5.13: Raspored tipova vode u zemljištu

34

34

## Вода у земљишту као део хидролошког циклуса

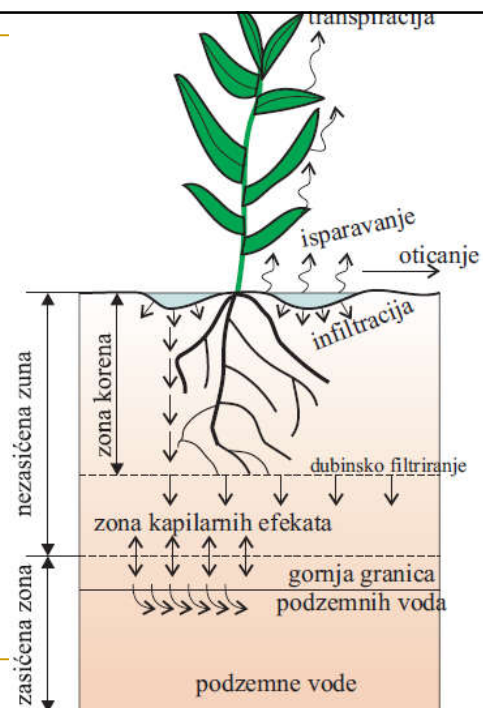
- За 1 кг масе биљке кроз њу прођу стотине кг воде
- Просечна биљка мало више од 90% воде коју је добила преко кореновог система ода у атмосферу
- Циклус
  - Вода из атмосфере падавинама дође на површину
  - Инфилтрација – улазак у земљиште
  - Део упија корен
  - Део пролази и постаје део подземних вода чијим кретањем управља гравитација
  - Изнад горње границе подземних вода налази се капиларна
  - У атмосферу одлази испаравањем из земљишта или биљака

35

35

## Вода у земљишту као део хидролошког циклуса

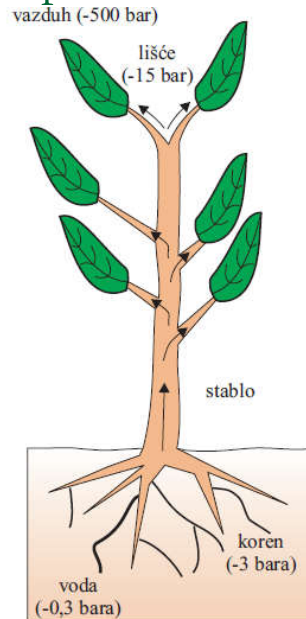
- Део хидролошког циклуса који се одвија у земљишту и биљкама



36

## Вода у земљишту као део хидролошког циклуса

- Карактеристичне вредности потенцијала у биљкама и њиховом окружењу
- Вода се из земљишта преко корена транспортује спонтано јер постоји разлика потенцијала
- Највећи градијент је између листова и атмосфере



37

## Протицање воде кроз засићено земљиште

- Ламинарно протицање кроз праву, глатку цев, неког полупречника и дужине изазвано разликом притисака – Поазејев закон

$$Q = \frac{\pi r^4 \Delta P}{8 \eta l},$$

- Да је земљиште унија правих и глатких цеви константног пречника, укупни проток би био збир оваквих израза

38

38

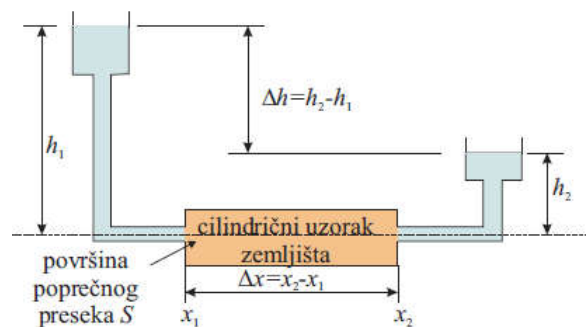
## Протицање воде кроз засићено земљиште

- Поре у земљишту
  - Нису униформне, глатке и цилиндричне
  - Нерегуларног су облика
  - Закривљене и на неуређен начин су повезане
- Реално – брзина варира
- Нема смисла тражити конкретан микроскопски израз већ само макроскопски – усредњен
- Занемарује се конкретна структура и узорак сматра хомогеним
- Сматра се да је засићено земљиште

39

39

## Протицање воде кроз засићено земљиште



Slika 5.15: Proticanje vode kroz uzorak zemljišta

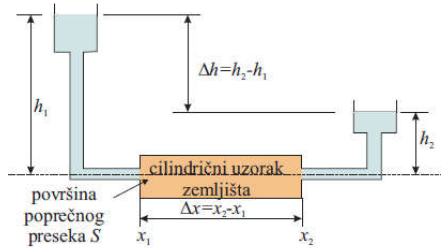
40

40

## Протицање воде кроз засићено

### земљиште

- Анри Дарси, 1856.
- Запремински проток кроз узорак земљишта је пропорционалан
  - Површини попречног пресека узорка
  - Разлици висина водених стубова
  - Обрнуто пропорционалан дужини



Slika 5.15: Proticanje vode kroz uzorak zemljišta

$$Q = -KS \frac{\Delta h}{\Delta x}$$

41

41

## Температура земљишта

- Просечна температура око 300 K
- Варира у распону 273 – 330 K
  - **Зрачење**
    - Винов закон - земљиште зрачи у распону таласних дужина 3-50 μm
    - Максимум зрачења је на 10 μm (ИЦ зрачење)
    - Размена топлоте се одвија и путем **конвекције** (топлих отпадних вода у земљиште нпр.)
    - **Провођење** – у највећој мери се топлота преноси на овај начин

42

42

## Температура земљишта

- Постоји и
  - Композитни механизам преноса топлоте
    - Повезан са латентном топлотом (залеђивање и топљење воде)
- Провођење – описује се Фуријеовим законом
- Флукс топлоте

$$q = -\kappa \frac{\Delta T}{\Delta x},$$

43

43

## Температура земљишта

### Дневне и сезонске варијације

- Температура се стално мења
  - Дневне
  - Годишње
- Изазивају их
  - спољњи феномени (облачност, хладни и топли таласи, пљускови, олује, поплаве,...)
  - Промене у карактеристикама земљишта (промена рефлексивности, топлотне капацитивности, проводности)
  - Утицај гегорафске локације
  - Присуство вегетације
  - човека

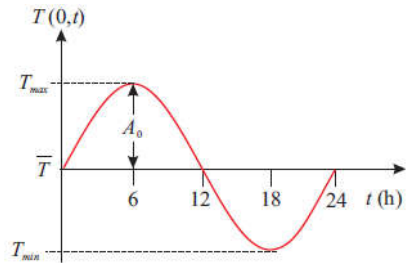
44

44

## Температура земљишта

### Дневне и сезонске варијације

- Најједноставни модел – хармонијско осциловање температуре око неке средње вредности (почетак посматрања је када је температура једнака средњој вредности)
- За дневне варијације температуре (период 24 сата), угаона фреквенција је



Slika 5.16: Dnevne varijacije temperature zemljišta

$$\omega = 2\pi/\tau$$

$$\tau = 24 \text{ h}$$

$$\omega = 7,27 \times 10^{-5} \text{ rad/s.}$$

$$T(0, t) = \bar{T} + A_0 \sin(\omega t),$$

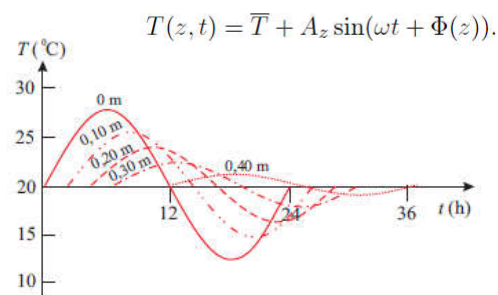
45

45

## Температура земљишта

### Дневне и сезонске варијације

- Чију промену температуре описује претходна формула?
- Земљиште поседује инертна термална својства
- Промене температуре “касне” са дубином



Slika 5.17: Dnevne varijacije temperature zemljišta na različitim dubinama

46

46

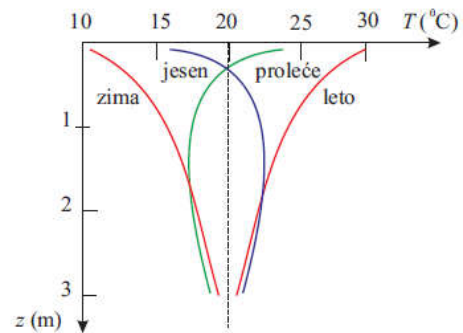
## Температура земљишта

### Зависност од дубине

- Тренд промене зависи од годишњег доба
- Зими температура расте са дужином
- У лето опада
- У јесен и пролеће зависност је сложенија

$$T(z, t) = \bar{T} + A_z \sin(\omega t + \Phi(z)).$$

$$T(z, t) = \bar{T} + A_0 e^{-z/d} \sin(\omega t - z/d).$$



Slika 5.18: Zavisnost temperature zemljišta od dubine