

# MV4058 – Skogsmeteorologi och -hydrologi

*En sammanställning av tidigare års tentafrågor. Svaren kan innehålla mindre felaktigheter, men är tillräckliga för att prestera ett godkänt resultat.*

**1. Vid ett tillfälle var strålningsbalansen negativ över en vegetationsyta, dvs mer strålningsenergi bortfördes än tillfördes ytan. Energibalansen över ytan vid detta tillfälle kunde då uttryckas enligt följande:**

$$Q^* - Q_H - Q_E - Q_G + Q_B \pm Q_A = 0$$

**Redogör kortfattat för vad respektive term i balansekvationen ovan betyder. Under vilka förhållanden (väder, tidpunkt, vegetation, mm) råder troligen denna energibalans enligt ovan givna förutsättningar?**

$Q^*$  = Nettostrålning (inkommande minus utgående strålning)

$Q_H$  = Sensibelt vertikalt turbulent flöde

$Q_E$  = Latent vertikalt turbulent flöde

$Q_G$  = Markflöde

$Q_B$  = Biologisk lagring

$Q_A$  = Advektion (vind)

**2. Vad menas med globalstrålning ( $K_{in}$ )? Vilket våglängdsområde omfattar globalstrålningen och vilka komponenter består den av och var kommer dessa från? Redogör också för begreppet albedo, dess definition och rimligt värde för en markvegetation huvudsakligen bestående av renlav.**

$K_{in}$  = kortvågig strålning från solen. Frekvensområde 0,3 – 3  $\mu\text{m}$ .

$K_{in} = I + D$ ; där  $I = I_0 \sin h$  och  $D$  = diffus strålning.

Albedo = andel av den inkommande  $K_{in}$  som reflekteras. (Albedo för renlav är ca 0,9)

**3. Vid ett tillfälle uppmättes nettostrålningen över en gräsyta till 300 W/m<sup>2</sup>, det sensibla vertikala turbulenta flödet var 140 W/m<sup>2</sup> och markvärmeflödet och lagring i marken var 10 W/m<sup>2</sup>. Under mätningen var det i princip vindstill och effekter av advektion försumrades. Beräkna hur mycket vatten som kan avdunsta från gräsytan under en timme. ( $L = 2500 \text{ kJ/kg}$ )**

$$Q^* = 300 \text{ W/m}^2$$

$$Q_H = 140 \text{ W/m}^2$$

$$Q_G + Q_B = 10 \text{ W/m}^2$$

$L = 2500 \text{ kJ/kg}$  (den energimängd som krävs för att omvandla vattnet till gas)

$$Q_E = Q^* - Q_H - (Q_G + Q_B) = 150 \text{ W/m}^2$$

$$Q_E = E_{\text{vatten}} * L$$

$$E_{\text{vatten}} = Q_E / L$$

$$E_{\text{vatten}} = 150 / 2500000 * 3600 = 0,216 \text{ mm/h}$$

### **5. Boken ”Vattnets väg från regn till bäck” framför ett synsätt på hur flödestopparna i bäckar bildas och vilket vatten de består av. Redogör för detta synsätt!**

Flödestopparna i en bäck uppstår efter ett regn som höjer grundvattenytan. Grundvattenytan höjs för att infiltrationskapaciteten ofta är större än regnets intensitet. När grundvattenytan höjs ökar utströmningen i utströmningsområdet pga att lutningen hos grundvattenytan ökar samt att tjockleken på det grundvattenförande skiktet ökar.

Topparna kommer alltså efter ett starkt regn, och består mest av grundvatten, men naturligtvis även av nederbörd.

Regn som faller på utströmningsområdet kan inte infiltrera eftersom porerna redan är fulla. Det vattnet strömmar direkt till bäcken som ytavrinning.

Beror på inströmningsområdets storlek, ytligt grundvatten, hög markvattenhalt, markens lutning, konkav/konvex/plan yta.

### **6. I överslagsberäkningar brukar man säga att porstorleken i en jord är hälften så stor som partikelstorleken. Hur stor är den kapillära stighöjden i en mjäla med partikelstorleken 0,02 mm?**

$$h = 0,15 / r$$

$$0,02 \text{ mm} = 0,01 \text{ mm} \quad r = 0,001 \text{ cm}$$

$$h = 0,15 / 0,001 = 150 \text{ cm}$$

## 7. Redogör för drivkrafter bakom grundvattenströmning. Ange storlek och riktning och rimliga förenklingar.

Darcy's lag beskriver sambandet mellan drivande kraft och flöde i marken. Den är grunden för alla beräkningar av vattenflödet i mark- och grundvattenzonen.

Markvattnets och grundvattnets strömning drivs av gravitations- och tryckkrafter. De drivande krafterna balanseras av friktionskrafter som uppkommer vid strömning.

$$Q = -K * A * \varnothing / x$$

$$K =$$

$$A = \text{tvärsnittsarea}$$

$$\varnothing / x = \text{potentialgradient (kan förenklas med } h/x \text{ som bortser från vertikala strömningar)}$$

Sid. 29 i boken.

**2002-09-16**

**1. På grundval av kontinuitetsekvationen kan energi varken skapas eller förstöras, bara omvandlas till olika former. Därmed kan värmehushållningen för ett system studeras med avseende på tillförsel och bortförsel av energi samt energilagring i systemet, dvs energibalansen. Redogör kortfattat för energibalansens komponenter som är relevanta för ett skogsbestånd, mitt på dagen en sommardag, dess riktning (tillförsel, bortförsel, lagring) och rimlig storleksordning.**

$$Q^* = Q_E + Q_H + Q_G + Q_A + Q_B$$
$$IN = UT + UT + IN + \text{HORISONTELLT} + \text{LAGRING}$$

$$Q^* = 600 \text{ W/m}^2$$
$$Q_E = 200\text{-}300 \text{ W/m}^2$$
$$Q_H = 200\text{-}300 \text{ W/m}^2$$
$$Q_G = \text{ca } 50 \text{ W/m}^2$$

**2. Nettostrålningen över en smältande snöyta uppmättes till  $-50 \text{ W/m}^2$  och snöytans emissivitet uppskattades till 0,9. Hur stor var den atmosfäriska långvågsstrålningen mot snöytan? (Stephan-Bolzmanns konstant =  $5,67 * 10^{-8}$ )**

$$Q^* = -50 \text{ W/m}^2 \text{ (det innebär att det är natt och vi kan bortse från kortvågsstrålningen)}$$
$$\text{Emissivitet} = 0,9$$
$$\text{Antag att temperaturen är } 0^\circ\text{C} = 273^\circ\text{K} \text{ (eftersom snöytan smälter)}$$

$$L_{\text{ut}} = 0,9 * 5,67 * 10^{-8} * 273^4$$
$$L_{\text{ut}} = 283,45 \text{ W/m}^2$$

$$L_{\text{in}} = L_{\text{ut}} - Q^*$$
$$L_{\text{in}} = 283 - 50 = 234 \text{ W/m}^2$$

**3. Den vertikala temperaturprofilen i de marknära luftskikten återspeglar energibalansen vid markytan, särskilt strålningsbalansen. Rita i figuren nedan typiska temperaturprofiler över en gräsuta under följande förhållanden:**

- a) mitt på dagen, en sommardag med klart och vindstilla väder**
  - b) mitt i natten, sommardag, vid klart och vindstilla väder**
  - c) mitt i natten, sommardag, vid mulet och vindstilla väder**
- och ange om det sker tillförsel eller bortförsel av sensibel värme vid gräsytan för respektive profil.**

Sid. 26 i boken

**4. Atmosfärens ytskikt karaktäriseras av stort vertikalt utbyte genom turbulens, dvs luftens oordnade virvlande rörelse. Två huvudtyper av turbulens beroende på bildningssätt kan urskiljas. Beskriv dessa två typer av turbulens, varför, när och var respektive typ uppträder.**

Sensibelt vertikalt turbulent flöde:

- Värmeenergi som känns.
- Ger temperaturskillnader vid +/- tillgång
- Påverkar de vertikala flödena

Varför: Energi tillförs eller dras ifrån ett system.

Var/När: Solen skiner, kortvågig strålning hamnar så småningom på marken. Luft och mark värms upp, vilket ger upphov till stigande luft och turbulens.

Latent vertikalt turbulent flöde:

- Den energi som tas upp avgår som vattenånga och får ett högre energiläge vid samma temperatur.

När/Var: Om en varm eddie stiger förlorar den energi. Vid en viss punkt kondenserar den (gas till vätska) vilket ger en energiavgång i form av latent värme, och moln bildas.

**5. Figuren visar en sluttning vid dräneringsjämvikt. I figuren är fem punkter markerade. Ange Total, läges- och tryckpotential för dessa punkter och visa med pilar i figuren flödesriktningen vid markytan och vid grundvattenytan. Använd figuren (eller tabellen) över hydraulisk konduktivitet och diskutera betydelsen av omättat flöde (jämfört med mättat flöde) i sluttningen.**

<figur och tabell saknas>

I utgångsläget är lägespotentialen 0, vid 1 meter är lägespotentialen +1 och sedan +2 vid 2 meter.

Tryckpotentialen är 0 längs grundvattenlinjen, ökar nedåt och minskar uppåt (undertryck mot ytan).

Vid grundvattenytan är porerna mättade pga kapillärkrafter. Där är flödet mycket högre än närmare markytan, där det mesta av vattnet är adsorptivt bundet och kontaktytan inte är lika stort.

Konduktiviteten ökar alltså med mättnaden.

## 6. Diskutera för- och nackdelar med alternativa placeringar av avfallsupplag i ett avrinningsområde.

Ett avrinningsområde kan delas upp i inströmningsområde och utströmningsområde.

Inströmningsområde: + Vissa typer av föroreningar ”fastnar” i porerna i den omättade zonen.  
- Andra föroreningar går ut i grundvattnet och kan då transporteras långa sträckor.

Utströmningsområde: + Påverkar inte grundvattnet. Föroreningen hamnar i närheten av upplaget, vilket gör att man lättare har uppsikt över föroreningar.  
- Ingen rening av avfallet genom upplagring i jordens porer.  
-

Genom att lägga en grund med grovt material uppstår ingen kapillär stigning från grundvattnet. På så vis kan man minska grundvattenflödets urlakning av avfallsämnen. Ovanpå detta kan man sedan lägga ett mer finkornigt material, som har porer som kan samla upp föroreningar. På detta sätt kan man avskärma avfallet från grundvattenflödet. Om man sedan placerar avfallsupplaget mellan inströmningsområdet och utströmningsområdet så minskar man dessutom spridningen av det eventuella avfall som kan tränga igenom den grund man lagt.

**7. Den djupa grundvattenzonen i ett avrinningsområde kunde approximeras på följande sätt: Bredd 2000 m, längd 8000 m och djup 20 m. Berggrunden var vattentät. Nederbörden var 750 mm/år, avdunstningen 350 mm/år och avrinningen i den bäck som avvattnade området var 280 mm/år. Låt oss försumma eventuell magasinförändring och anta att vattnet i bäcken endast bestod av nederbörd och ytligt grundvatten. Beräkna det årliga djupa grundvattenläckaget från avrinningsområdets mättade tvärsnittsytta vida avrinningsområdets utlopp. Porositeten i den djupa grundvattenzonen var 30% och avrinningsområdets lutning vid utloppet var 0,02 m/m. Beräkna omsättningstiden för den djupa grundvattenzonen.**

$$P = E + R + dS \text{ (dS kan försummas)}$$

$$P = 750 \text{ mm/år}$$

$$E = 350 \text{ mm/år}$$

$$R = 280 + x \text{ (ytavrinning [bäck] plus grundvattenavrinning/infiltration i marken)}$$

$$x = 750 - 350 - 280 = 120 \text{ mm/år}$$

$$\text{Volymen} = 2000 \times 8000 \times 20 = 320000000 \text{ m}^3$$

$$\text{Grundvattenvolym} = 320000000 \times 0,3 = 96000000 \text{ m}^3 \text{ (porositet 30\%)}$$

$$\text{Vattenflöde (Q)} = 0,12 \times (8000 \times 2000) = 1920000 \text{ m}^3/\text{år} \text{ (infiltration [x] och ytarea)}$$

$$\text{Omsättningstid} = \text{volym} / \text{flöde} = 96000000 / 1920000 = 50 \text{ år}$$

**8. De flesta problem inom hydrologin rör vattenflöde. Ge Darcy's lag och förklara termerna i den! Vilka krav måste vara uppfyllda för att den ska gälla? Vilken förenkling införde Dupuit? Vad är det för skillnad mellan hydraulisk konduktivitet och transmissivitet?**

$$Q = -k * A * d\phi/dx$$

Q = vattenflöde

k = hydraulisk konduktivitet

A = area

d $\phi$ /dx = potentialgradient

Darcy's lag gäller för både mättat och omättat flöde. Däremot måste det vara laminärt flöde (turbulent flöde som kan uppstå vid mycket grova porer gör att friktionen får större betydelse).

Dupuit antog att de vertikala flödena kan försummas. Detta stämmer endast för mättade flöden.

$$Q = -k * A * dh/dx$$

Observera att minustecknet endast används för att resultatet skall visa på ett positivt flöde.

---

Hydraulisk konduktivitet:

Mått på jordens förmåga att leda vatten uttryckt per ytenhet av tvärsnittet (m/s).

Transmissivitet:

Ett helt jordskikts förmåga att leda vatten, dvs flödesförmåga per breddenhet av tvärsnittet (m<sup>3</sup>/s).

Transmissiviteten = konduktivitet \* mäktighet

**2002-10-11**

- 1. Redogör kortfattat för vad som menas med nettostrålning (ingående komponenter, dess aktiva våglängdsintervall och ursprung). Ange också en rimlig storleksordning och riktning på varje term i strålningsbalansen över en frodig gräsyta, mitt på dagen, mitt i juni, mitt i Västerbotten vid klart väder.**

$$Q^* = K_{in} - K_{ut} + L_{in} - L_{ut}$$
$$500 = 800 - 100 + 300 - 500$$

Nettostrålning är summan av ingående och utgående strålning vid en yta. Kortvågsstrålning kommer från en ljuskälla, på jorden är det solens strålning som står för i princip all kortvågsstrålning. Långvågsstrålning å andra sidan avges från alla ämnen som är varmare än  $0^\circ\text{K}$ , och den mesta långvågsstrålning som kommer in mot en markyta kommer från atmosfären (i en skog kan ibland huvuddelen av långvågsstrålningen komma från trädkronorna).

Kortvågsstrålning är i intervallet  $0,15 - 3 \mu\text{m}$ .  
Långvågsstrålning är i intervallet  $3 - 100 \mu\text{m}$ .

Kortvågsstrålning reflekteras huvudsakligen, utom från mörka ytor där den absorberas.  
Långvågsstrålning absorberas huvudsakligen, men kan till viss del reflekteras.

- 2. Under en fältkurs i Skogsmeteorologi/hydrologi uppmättes nettostrålningen över en lavhävdad yta till  $300 \text{ W/m}^2$ . Samtidigt var värmelagringen i vegetation och markvärmeflödet tillsammans  $-10 \text{ W/m}^2$  och med hjälp av en vägande lysimeter bestämdes avdunstningen under en timme till  $0,2 \text{ mm}$ . Beräkna storlek och ange riktning på det sensibla turbulenta värmeflödet. Vid mättillfället var det vindstilla och advektionseffekter kan försummas. ( $L = 2500 \text{ KJ/kg}$ )**

$$Q^* - Q_E - Q_H - Q_G = 0$$

$$Q^* = 300 \text{ W/m}^2$$

$$Q_G = -10 \text{ W/m}^2$$

$$Q_E = L * E_{\text{vatten}} = 2500000 * 0,2 = 500000 \text{ J/m}^2$$

(enheten blir  $\text{J/m}^2$  eftersom  $0,2 \text{ mm} = 0,2 \text{ l/m}^2 \approx 0,2 \text{ kg/m}^2$  samt att  $L$  har enheten  $\text{J/kg}$ . Därför kan man förkorta bort  $\text{kg}$  och får kvar  $\text{J/m}^2$ )

$$Q_E = 500000 / 3600 = 138,9 \text{ W/m}^2 \text{ (1 J/s = 1 W, därför vill vi göra om enheten till } \text{J s}^{-1}\text{m}^{-2} = \text{Wm}^{-2}\text{)}$$

$$Q_H = Q^* - Q_E - Q_G = 300 - 138,9 - (-10) = 171,1 \text{ W/m}^2$$

$Q_H$  avges från ytan, och är alltså uppåtriktat.

### 3. Vad är utmärkande för det turbulenta ytskiktet?

Det finns ingen exakt definition för detta lager, men det är luftlagret precis ovanför jordytan där småskalig turbulens dominerar.

Turbulensen skapas av  $Q_H$  som är varm luft som genom sin expansion/kondensation får lägre densitet och därför stiger/sjunker, turbulensen har alltså vertikal riktning. Under dagen gör den stora nettostrålningen att turbulensen ökar och det turbulenta ytskiktet kan nå uppemot 100 m över markytan. Under natten när nettostrålningen är svagt negativ minskar istället turbulensen och det turbulenta ytskiktet kan bli så tunt som några meter.

### 4. Hur uppkommer strålningsfrost? Vilka förhållanden gynnar bildning av strålningsfrost under vegetationsperioden, när under dygnet uppträder de och var i den lokala terrängen brukar de uppträda?

Frost uppstår då ytttemperaturen är vid eller lägre än  $0^\circ\text{C}$ .

Strålningsfrost uppstår då nettostrålningen är negativ, dvs under natten, och då den utgående långvågsstrålningen är större än den inkommande långvågsstrålningen, dvs under klara, molnfria förhållanden.

En annan sak som påverkar är luftens temperatur, så vindstilla väder gynnar strålningsfrost eftersom det inte finns någon uppvärmande advektion. Kall luft i vindstilla väder kommer dessutom att sjunka, eftersom densiteten är lägre, vilket gör att svackor blir kallare och mer utsatta för strålningsfrost.

### 5. Vattenbalansekvationen brukar i sin grundform skrivas

$$P = E + R + dS$$

**Förklara termerna och ange under vilka omständigheter den sista termen kan försummas.**

**Anpassa sedan vattenbalansekvationen till ett inströmningsområde, respektive ett utströmningsområde och förklara de förändringar du gjort i grundekvationen.**

P = Precipitation, nederbörd

E = Evaporation, avdunstning

R = Runoff, avrinning (kan delas upp i ytavrinning  $R_s$  och grundvattenavrinning  $R_g$ )

S = Storage, lagring.  $dS$  är då förändringen i vattenlagret.

$dS$  kan försummas om den är väldigt liten, alltså då vattenlagret är relativt konstant. Detta är framförallt aktuellt vid mättade förhållanden.

R kan försummas i vissa inströmningsområden, där det mesta vattnet perkulerar.

**6. Vattenbindningskurvorna ovan <saknas> gäller för sand (nedre) och silt (övre). Två kolonner iordningställdes, var och en 2 m hög. Den första hade 1 m sand från botten och 1 m silt ovanpå. Den andra hade 1 m silt från botten och 1 m sand ovanpå. Båda kolonnerna vattenmättades och placerades i ett vattenbad med konstant vattennivå vid botten av kolonnerna och dessa lämnades att jämviktas. Skissa vattenhaltsfördelningen i var och en av kolonnerna. Vilken kolonn innehöll mest vatten?**

Den med silt över sand innehåller mer vatten än den med sand över silt.

Silt har små porer vilket ger en stark kapillär bindningskraft. Undertrycket i sandpelaren är bara -1 mvp, medan porerna i silten har mycket starkare undertryck. Då silten är mättad hindrar den sanden från att dräneras eftersom ingen luft kan komma ner och fylla porerna då vattnet rinner undan. Silten fungerar därför som en lufttät propp som höjer vattenpelaren.

I kolonnen med sand överst dräneras sanden relativt fort. Silten innehåller fortfarande vatten, men sandens kapillärer är inte fyllda.

**7. Ett vertikalt rör med 1 m<sup>2</sup> area stod i en bassäng med konstant vattennivå och bevattnades kontinuerligt med 10 liter per timme i en vecka. Röret var fyllt med sand. På en viss nivå var vattenhalten konstant 25%. Hur stor var Darcy-hastigheten, respektive partikelhastigheten på denna nivå? Strax ovanför bassängens vattennivå var sanden i tunnan vattenmättad. Hur stor var den hydrauliska konduktiviteten där? Förklara även termerna i de formler du använder.**

$$Q = -k * A * d\theta/dx$$

$k = V_p$  (vattenpartiklarnas hastighet)

$P = E + R + dS$  (E och dS kan försummas eftersom systemet är slutet och gvy är konstant)  
därför får vi  $P = R = 10 \text{ l/h}$

$Q = \text{m}^3/\text{s}$ , därför får vi

$$Q = 10 \text{ l/h} = 10 \text{ dm}^3/\text{h} = 0,01 \text{ m}^3/\text{h} = 0,01/3600 \text{ m}^3/\text{s} = 0,000002778 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$V_D = Q / A = 0,000002778 / 1 = 0,000002778 \text{ m/s}$$

**8. Diskutera vattnets rörelse vid tjälning.**

I markens minsta porer råder ett mycket lågt tryck, därför kan vattnet vara flytande även vid temperaturer under 0°C. När värme leds bort från en nollgradig jord fryser därför vattnet i de största porerna först. En finkornig jord kan innehålla mer flytande vatten vid låga temperaturer än en grovkornig jord. Kontaktytan för vattnet är däremot väldigt liten eftersom det bara är de minsta porerna som håller flytande vatten, och därför blir konduktiviteten låg.

Det låga trycket gör att en tryckpotential uppstår mot djupare beläget vatten. Det skapar ett flöde mot tjälmen, som sedan fryser. Det gör att isen i tjälmen utvidgas.

**2003-09-19**

- 1. På grundval av kontinuitetsekvationen kan energi varken skapas eller förstöras, bara omvandlas till olika former. Därmed kan värmehushållningen för ett system studeras med avseende på tillförsel och bortförsel av energi, dvs energibalansen. Redogör kortfattat för de viktigaste inkommande och utgående värmeflödena och deras överföringsmekanism (sättet på vilket energin överförs), som är relevanta för ett skogsbestånd, mitt på dagen en sommardag.**

$$Q^* = \text{nettostrålningen} = K_{in} - K_{ut} + L_{in} - L_{ut}$$

$$Q_E =$$