LANDSKAPSARKITEKTUR
TRÄDGÅRD VÄXTPRODUKTIONSVETENSKAP
Rapportserie

ÖVNINGSUPPGIFTER I VATTENBYGGNAD FÖR LANDSKAPSINGENJÖRER

Jesper Persson och Kent Fridell
Institutionen för landskapsarkitektur, planering och förvaltning

Sveriges lantbruksuniversitet
Fakulteten för landskapsarkitektur, trädgårds- och växtproduktionsvetenskap

Rapport 2014:18
Alnarp 2014

Övningsuppgifter i vattenbyggnad för landskapsingenjörer

Jesper Persson och Kent Fridell
Jesper.persson@slu.se

Utgivningsort: Alnarp
Utgivningsår 2014
Omslagsbild: Öppen dagvattenhantering i Österäng, Kristianstad. Foto Kent Fridell.
ISBN: 978-91-87117-79-4

Elektronisk publicering: http://epsilon.slu.se
Bibliografisk referens: Persson, J. och Fridell, K. (2014). Övningsuppgifter i vattenbyggnad för landskapsingenjörer (Rapport 2014:18). Alnarp: Sveriges lantbruksuniversitet.

Nyckelord: vattenbyggnad, landskap, landskapsingenjör, övningsuppgifter, dagvatten

Sveriges lantbruksuniversitet
Swedish University of Agricultural Sciences

Institutionen för landskapsarkitektur, planering och förvaltning

LANDSKAPSARKITEKTUR
TRÄDGÅRD VÄXTPRODUKTIONSVETENSKAP
Rapportserie

ÖVNINGSUPPGIFTER I VATTENBYGGNAD FÖR LANDSKAPSINGENJÖRER

Jesper Persson och Kent Fridell
Institutionen för landskapsarkitektur, planering och förvaltning

Sveriges lantbruksuniversitet
Fakulteten för landskapsarkitektur, trädgårds- och växtproduktionsvetenskap

Rapport 2014:18
Alnarp 2014

ÖVNINGSUPPGIFTER I VATTENBYGGNAD FÖR LANDSKAPSINGENJÖRER

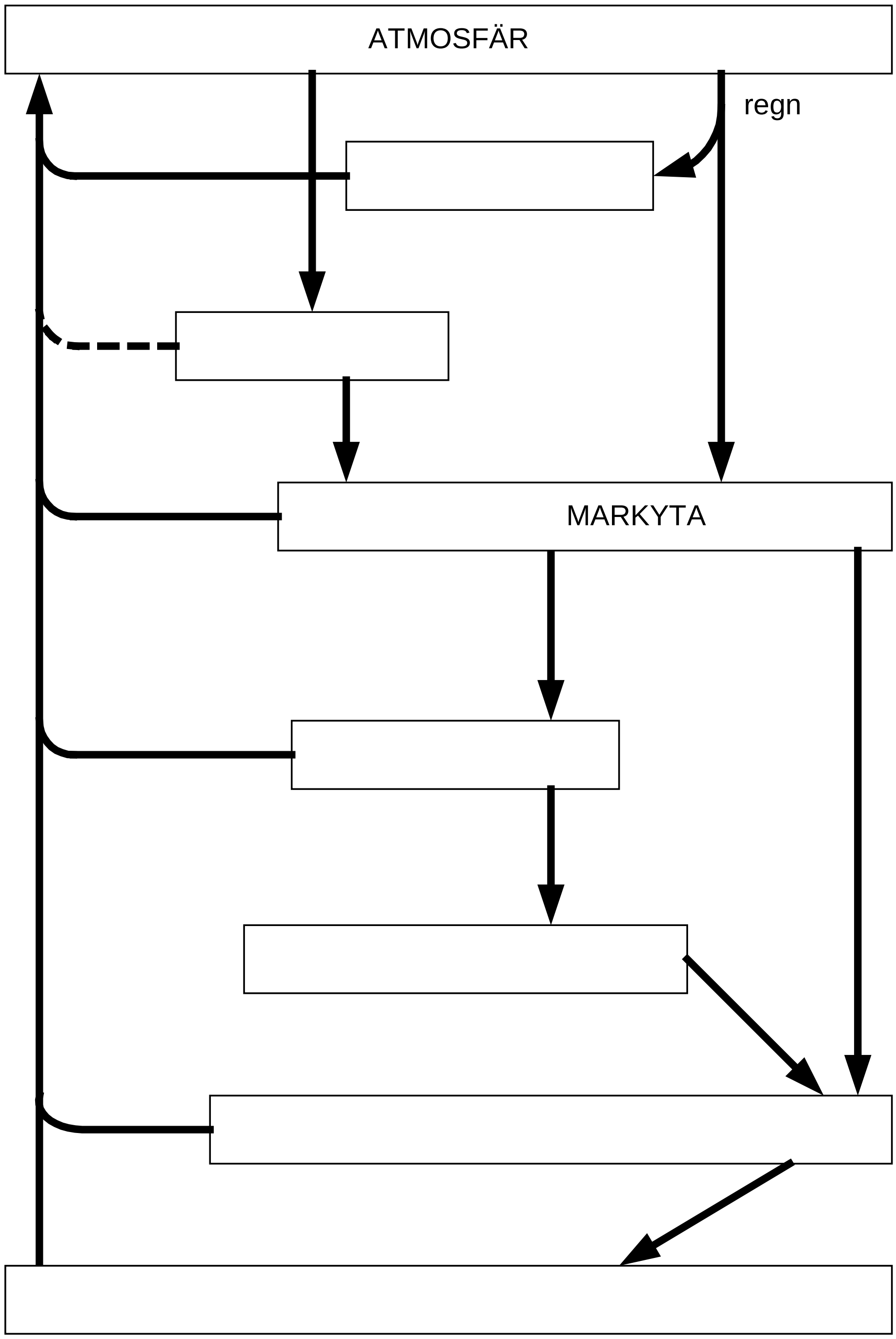
Jesper Persson och Kent Fridell

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

1. HYDROLOGI

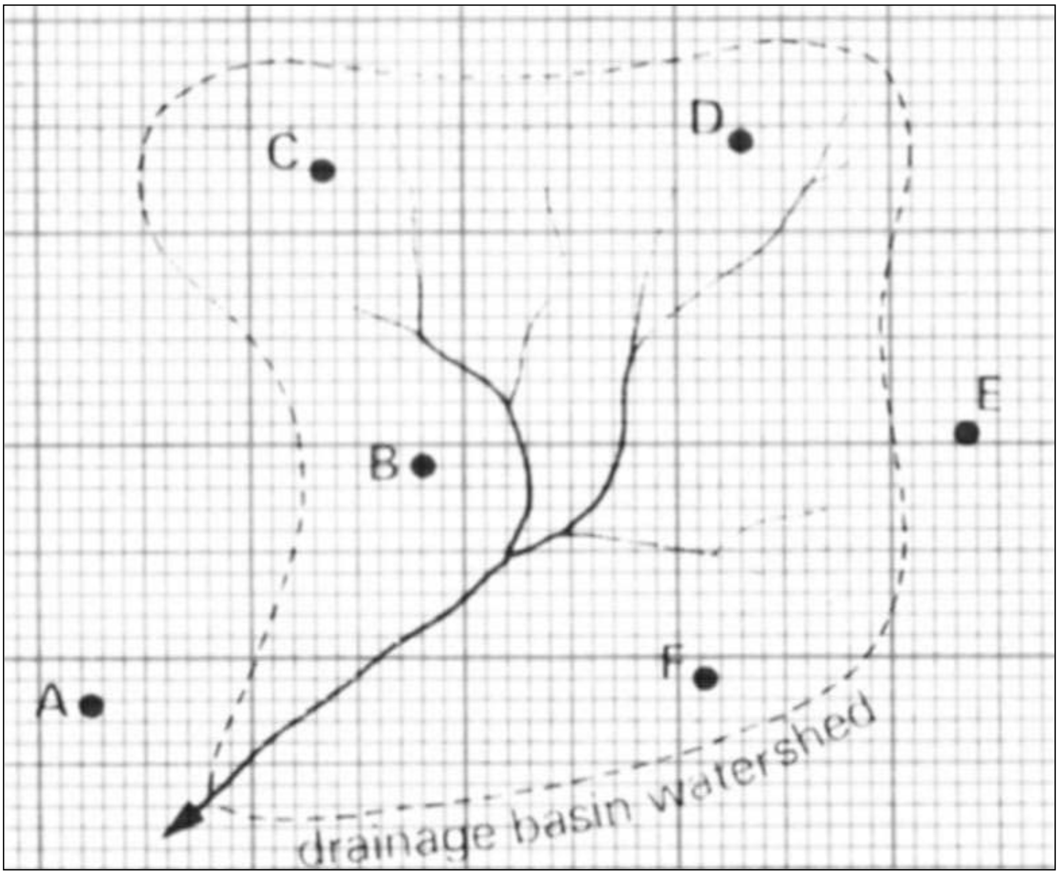
1.1 Hydrologiska begrepp, massbalans och avdunstning

1.1.1 Modellen beskriver vattnets kretslopp. Länka följande ord till en box (lagring) eller pil (flöde): markvatten, atmosfär, ”vattendrag och sjöar”, regn, hav, perkulation, infiltration, snö, interceptionslager, grundvatten, grundvattenflöde, interception, evaporation, ytavrinning, snösmältning, snölager, transpiration, markyta, ”flöde eller vattenföring”.



1.1.2 Beräkna månadsnederbörden för avrinningsområdet nedan, genom att använda a) medelvärdes-metoden, b) [överkurs] Thiessens metod, och c) [överkurs] Isohyetal metoden.

Avrinningsområdet är 36 km^2 och du har följande nederbörd för respektive mätstation: A 25,0 mm; B 62,5 mm; C 77,5 mm; D 145,0 mm; E 82,5 mm; och F 37,5 mm.



1.1.3 a) Beräkna evaporationen för en sjö där:

Vindhastighet, mätt på 4 m höjd (u) = 1,8 m/s
Relativ fuktighet (f) = 40 %
Lufttemperatur (T) = 25 C^0

b) Hur stor blir ändringen av evaporationen om luftfuktigheten ökar till 80 %, respektive om vindhastigheten ökar med 100 %?

1.1.4 Beräkna evaporationen för en sjö där:

Vindhastighet, mätt på 4m höjd (u) = 10 m/s
Relativ fuktighet (f) = 80 %
Lufttemperatur (T) = 25 C^0

1.1.5 Beräkna evaporationen för en sjö där:

Vindhastighet, mätt på 4m höjd (u) = 5 m/s
Mättnadsångtrycket = 20
Aktuellt ångtryck = 19

1.1.6 Vad är den relativa fuktigheten om mättnadsångtrycket 20 mb och det aktuella ångtrycket 19 mb?

1.1.7a) Beräkna utflödet (mätt i m^3/dygn) från en damm om nederbörden är lika med 10 m^3/dygn, avdunstningen är 5 m^3/dygn och inflödet 120 m^3/dygn? Anta att det inte sker något grundvattenutbyte.

b) Vad blir utflödet, mätt i m^3 respektive liter, på en månad?

1.1.8 Vad är avdunstningen mätt i m^3/dygn och i mm i en damm med följande data:

Q_{in} = 230 m^3/dygn
Q_{ut} = 203 m^3/dygn
Nederbörd = 3 m^3/dygn
Dammens yta = 7 000 m^2

1.1.9 Beräkna avdunstningen under november månad i en sjö utifrån följande data [m^3]: Nederbörd 5 000, ingående ytvatten 30 000, utgående ytvatten 31 000, och under månaden så har 1 000 m^3 vatten magasinerats. Beräkna även sjöns yta om medelevaporationen kan antas vara 1,5 mm/dag.

1.1.10 Beräkna hur stor avdunstningen är för ett år i ett avrinningsområde på 8 000 km^2 för vilket följande uppmätts:

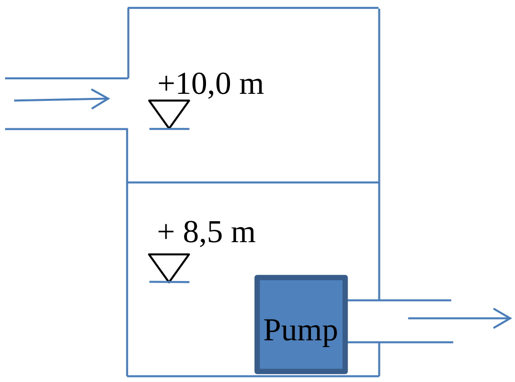
Nederbörd 497 mm
Medelavrinning 51 m^3/s

Anta att magasinering är försumbar. Ange avdunstningen i mm (analogt med nederbörd).

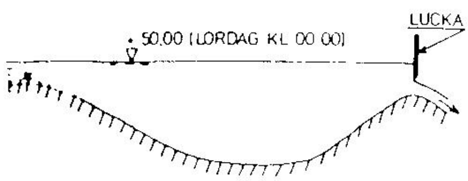
1.1.11 Man vet att en våtmark under en månad har ett inflöde på 22 l/s och ett utflöde på 20 l/s. Under månaden har det bara kommit två regn, ett på 3 mm och ett på 2 mm. Våtmarken har en yta på 3 ha och evaporationen beräknas till 3 mm/dag. Hur stort är läckaget till grundvattnet mätt i m^3 och som mm/dygn, om man vet att våtmarken inte har något inflöde av grundvatten eller har ändrat sin vattenyta.

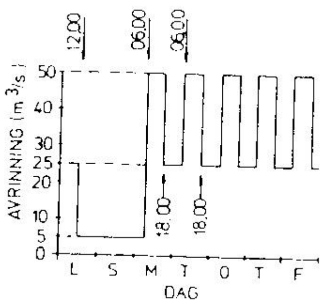
1.1.12 [överkurs] Antar en potentiell evapotranspiration på 7 mm/dag och att en jord har en AWC (tillgänglig vatten kapacitet) på 120 mm och att marken är vid sin fältkapacitet vid beräkningens början. Anta vidare att det regnar 25 mm på en dag efter 7 dagar. Hur stor är evapotranspirationen efter 10 dagar (ange svaret i mm)?

1.1.13 [överkurs] En pump med kapaciteten 15 l/s pumpar avloppsvatten från botten av en brunn ϕ 1800mm enligt figur. Brytare har placerats så att pumpen startar vid en vattennivå i brunnen av +10,0 m och stannar vid nivån +8,5 m. Hur ofta kommer pumppåslagen under en period då tillflödet till brunnen är konstant 6 l/s?



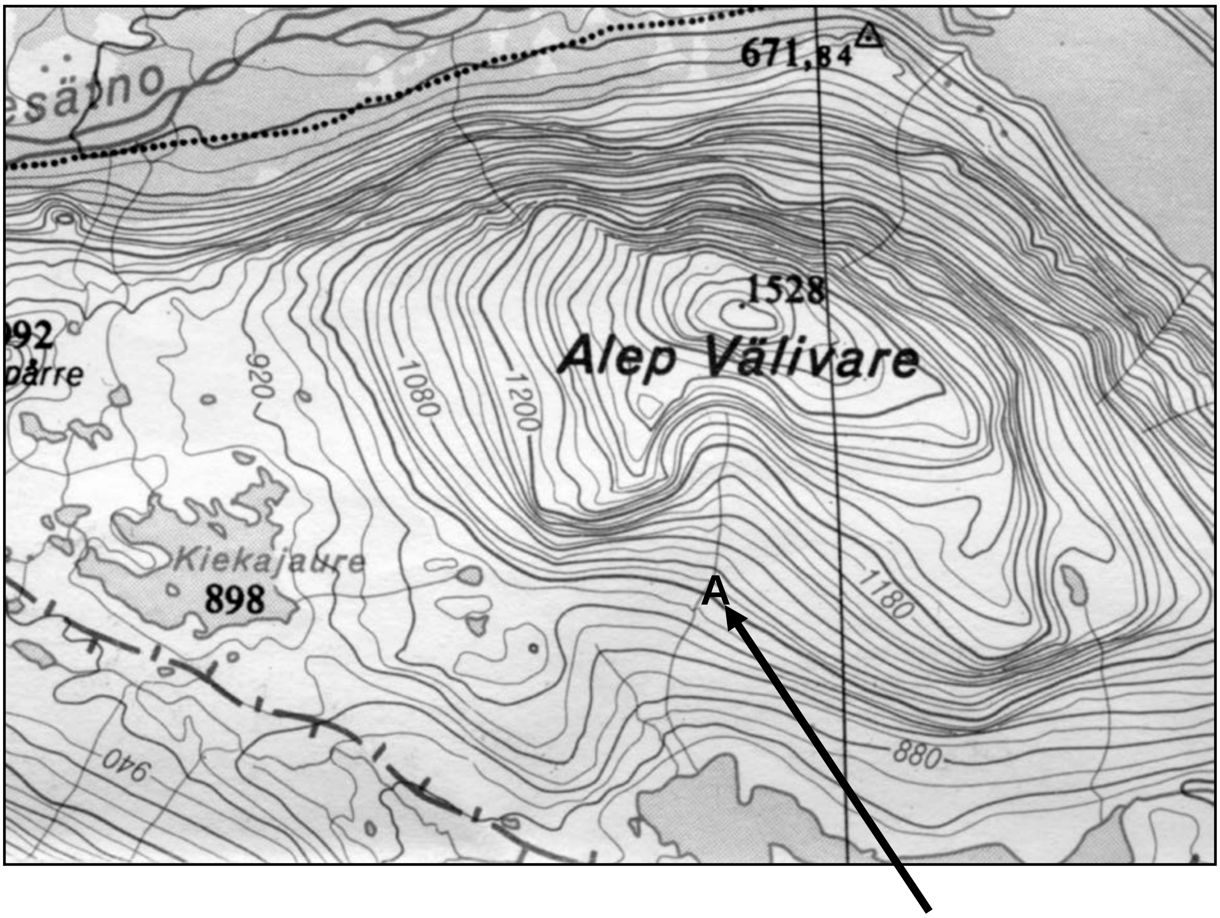
1.1.14 [överkurs] En å mynnar i en sjö med arean 10 km^2. Utloppet från sjön kontrolleras med luckor. Beräkna vattenståndsvariationerna i sjön under en vecka då tillrinningen till sjön är konstant 28.9 m^3/s och avrinningen från sjön varierar enligt diagrammet. Sjöns stränder antas vertikala inom vattennivåns variationsområde. Vid beräkningens början lördag 00.00 antas sjöytan ligga på nivån +50.0 m.



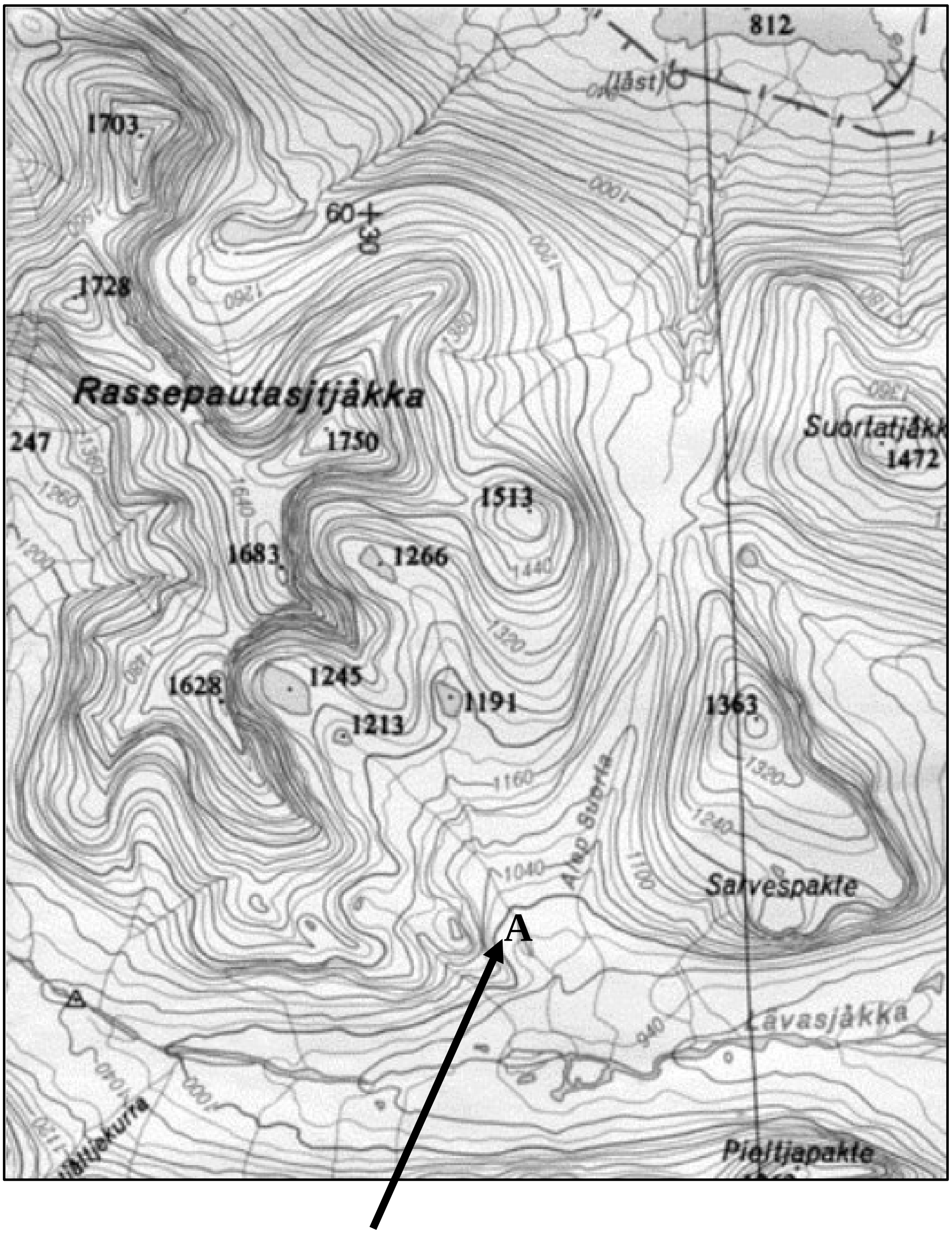


1.2 Avrinningsområde och ytavrinning från naturmark

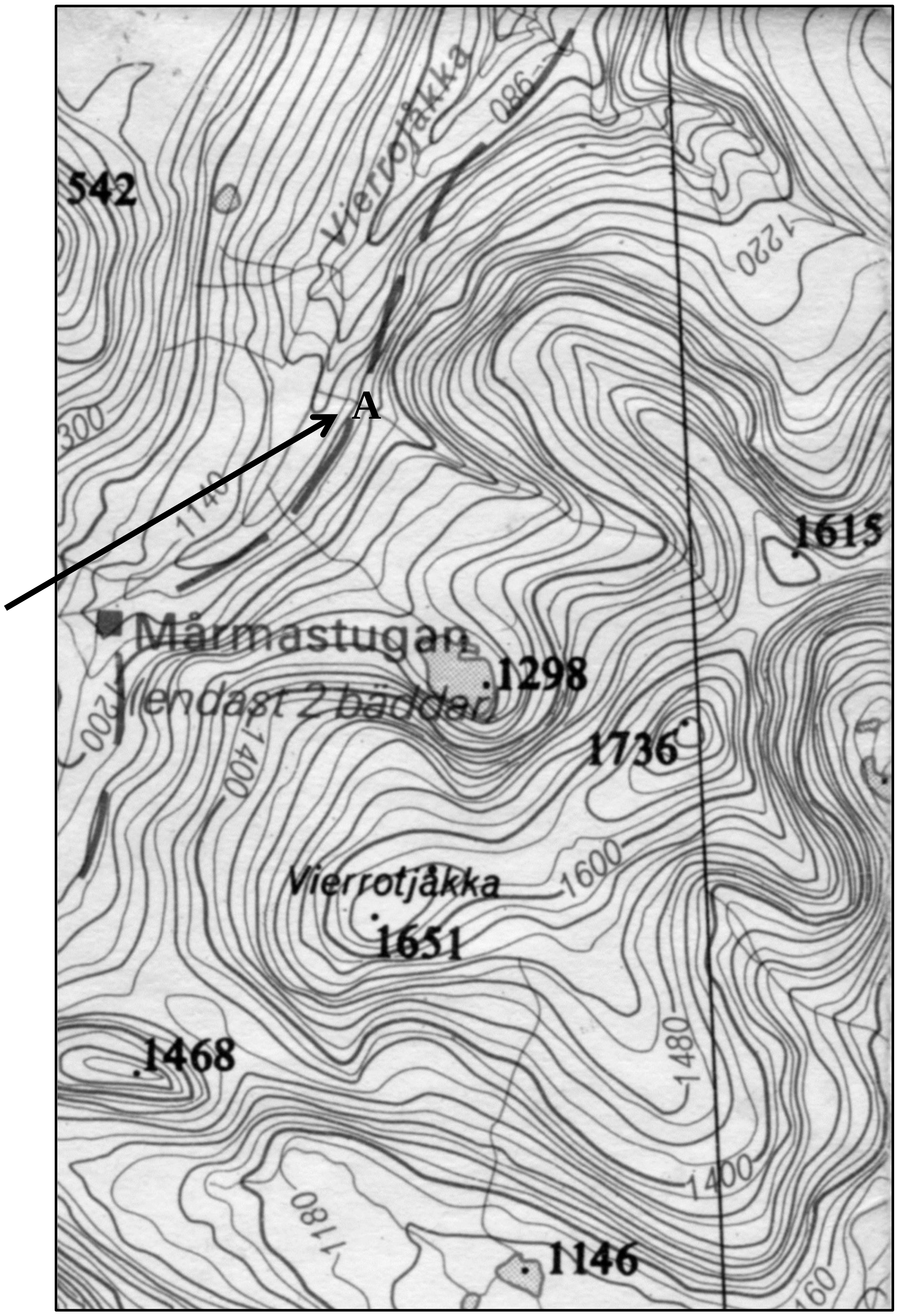
1.2.1 Rita in avrinningsområdet för punkten A på kartan nedan (platsen som ni skall utgå ifrån ligger vid pilens spets).



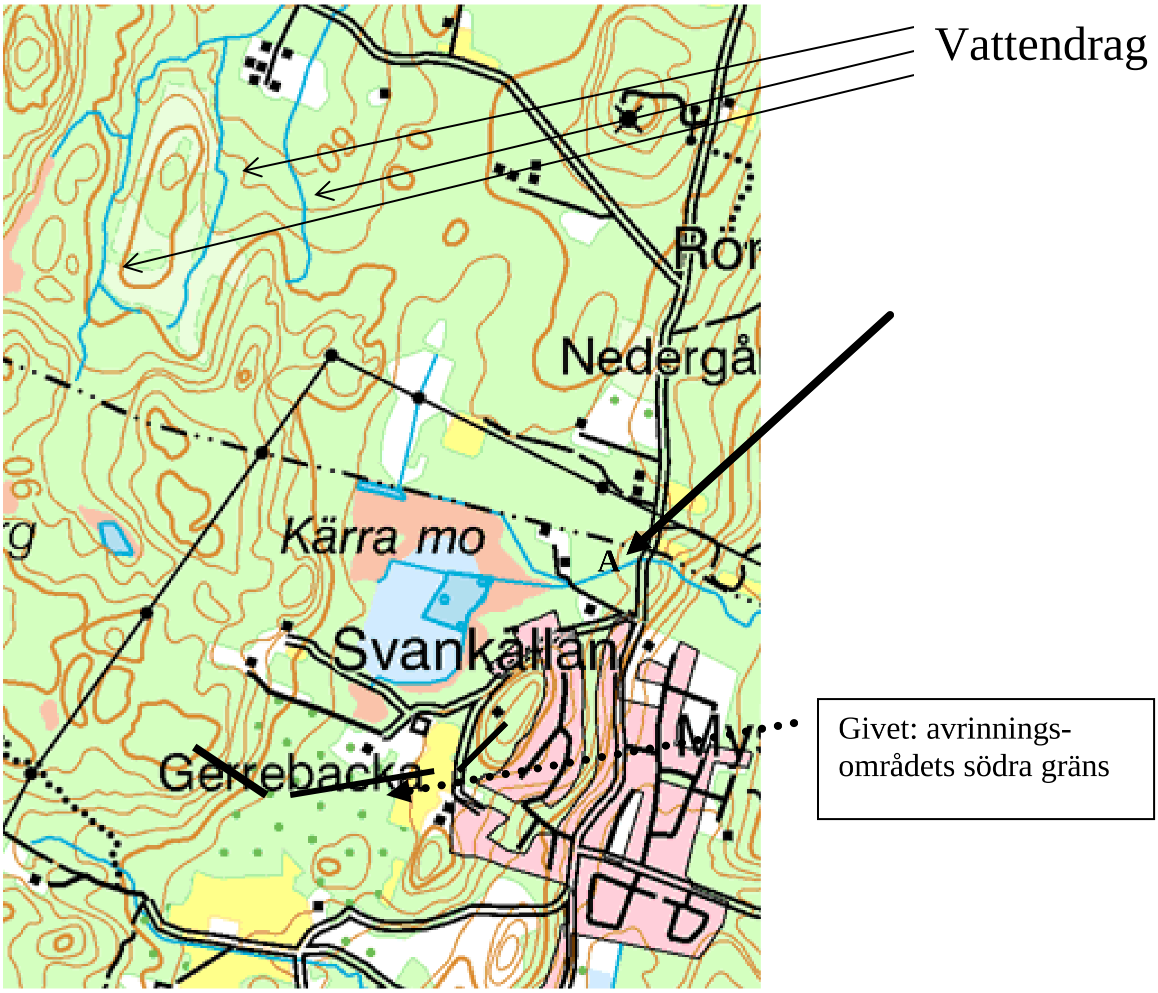
1.2.2 Rita in avrinningsområdet för punkten A på kartan nedan (platsen som ni skall utgå ifrån ligger vid pilens spets).



1.2.3 Rita in avrinningsområdet för punkten A på kartan nedan (platsen som ni skall utgå ifrån ligger vid pilens spets).



1.2.4 Rita in avrinningsområdet uppströms punkt A.

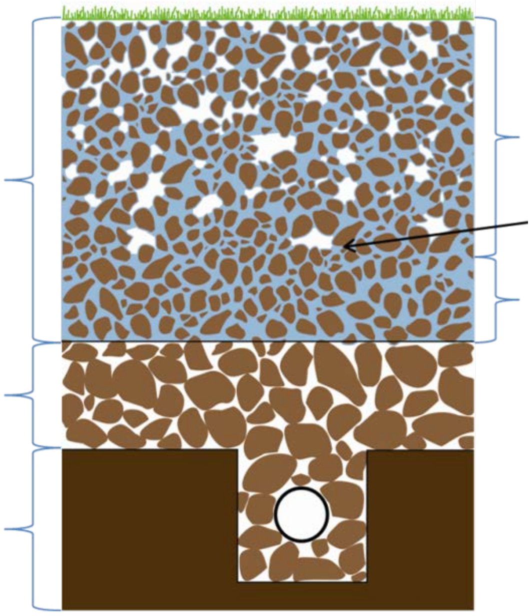


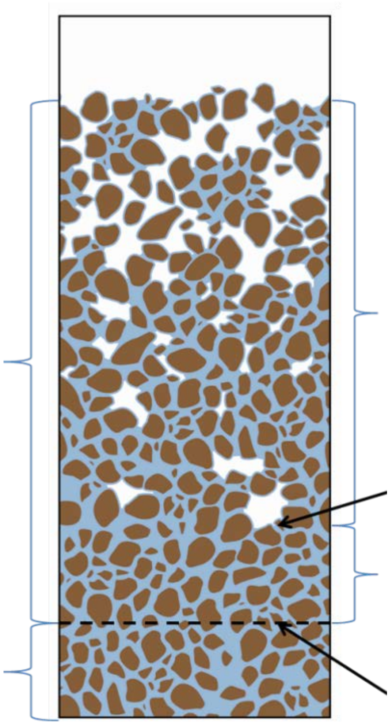
1.2.5 [överkurs]
Utgå från karta över Rååån från sent 1900-tal.
a) Rita in vattendragen
b) Ange ”stream order”
c) Beräkna bifurcation ratio (medelvärdet)
d) Beräkna längden på vattendragen för alla ordningar,
Plotta den sammanlagda längden för varje ”stream order” som en funktion av ”stream order”.
e) Beräkna avrinningsområdets densitet. Räkna med att den totala arean för Rååns avrinningsområde är 200 km^2.

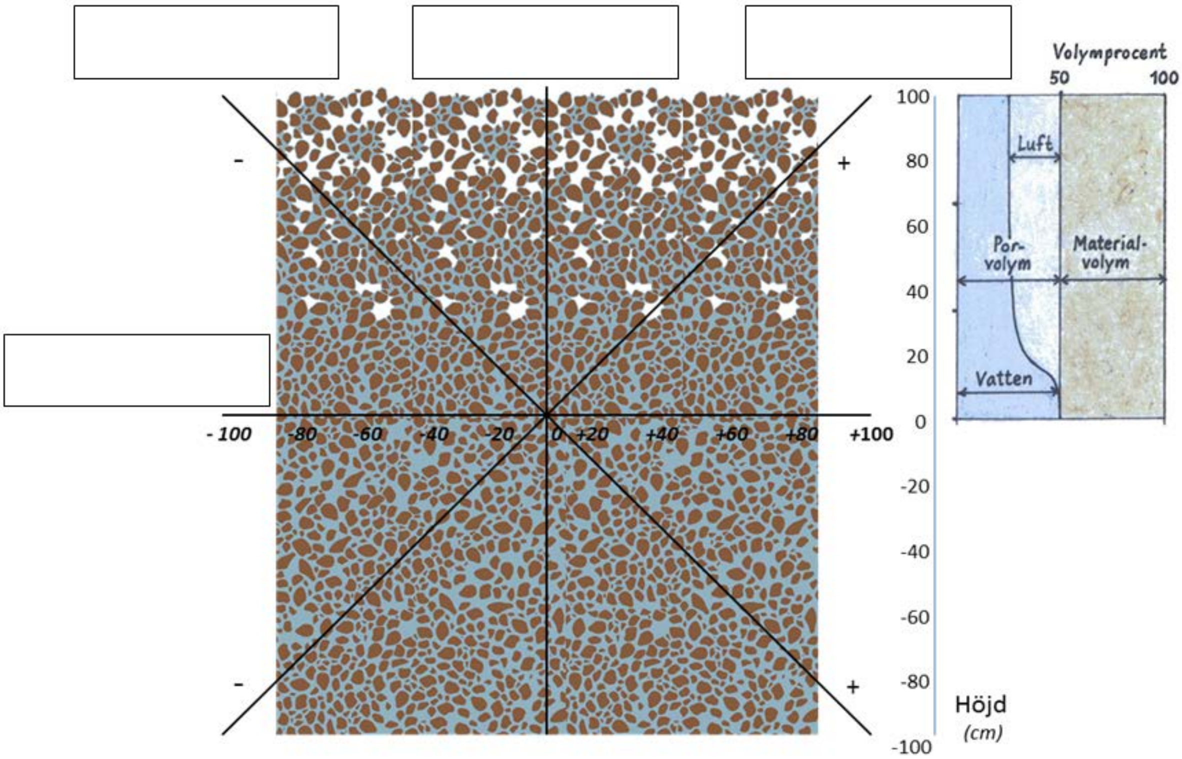
1.2.6 [överkurs] Utgå från Skånska rekogniseringskartan från 1812 över Rååån.
a) Rita in vattendragen
b) Ange ”stream order”
c) Beräkna bifurcation ratio (medelvärdet)
d) Beräkna längden på vattendragen för alla ordningar,
Plotta den sammanlagda längden för varje ”stream order” som en funktion av ”stream order”.
e) Beräkna avrinningsområdets densitet. Räkna med att den totala arean för Rååns avrinningsområde är 200 km^2.

1.3 Mark

1.3.1 Namnsätt zoner/delar och flöden på figurer nedan.







1.3.2 Om du häller ut 6,5 liter på en yta som är 1 m^2. Hur djupt i mm kommer vattenlagret att bli? Vi förutsätter att ytan är ogenomsläpplig och vattnet inte kan rinna av ytan.

Infiltration

1.3.3 Räkna fram den effektiva infiltrationshastigheten och hur djup nederbörden infiltrerar för en växtbädd med följande förutsättningar: Porositet = 39 %, effektiv porositet 36 %, vattenhalt 18 volym-%, infiltrationshastighet 7 mm/h. Nederbörden infiltreras på 1 timme.

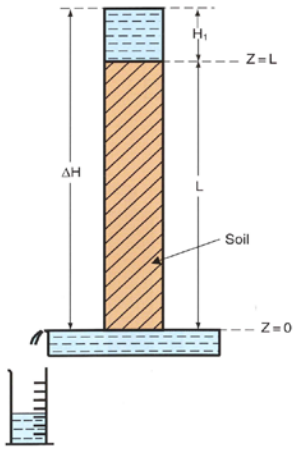
1.3.4 Utgå från samma effektiva porositet som i uppgift ovan och justera vattenhalten så att den luftfylld porvolym i stället blir 10 %. Vilket infiltrationsdjup blir det nu och vilken infiltrationshastighet uppnås?

1.3.5 Du skulle vilja veta vilken dräneringskapacitet en växtbädd har, alltså hur många mm regn den klarar av innan hela bädden är vattenfylld. Vi utgår ifrån att inget vatten kan avvattnas från växtbädden. Hur många mm regn kan växtbädden ta emot under följande förutsättning? Effektivporositet på 45 %, Vattenhalt 23 %. Växtbäddsdjup 35 cm.

1.3.6 Utgå från växtbädden i uppgift 1.3.5. Vilken total vattenmängd finns det i växtbädden efter att regnet har vattenmättat jorden utryckt i mm vatten?

Darcy

1.3.7 Vilken mättad hydraulisk konduktivitet i mm/h har en jord som det har runnit fram 1 liter vatten på 10 minuter. Arean på cylinder som jorden är placerad i är 113 cm^2. Fallhöjden är 25 cm och jordprovets höjd är 20 cm. Se figur.



1.3.8 [överkurs] Vad blir den sammanvägda K_h respektive K_v för en växtbädd med följande jordlager. Jordlager 1. 100 mm djupt och K_s på 75 mm/h
Jordlager 2. 300 mm djupt och K_s på 20 mm/h
Jordlager 3. 550 mm djupt och K_s på 2 mm/h

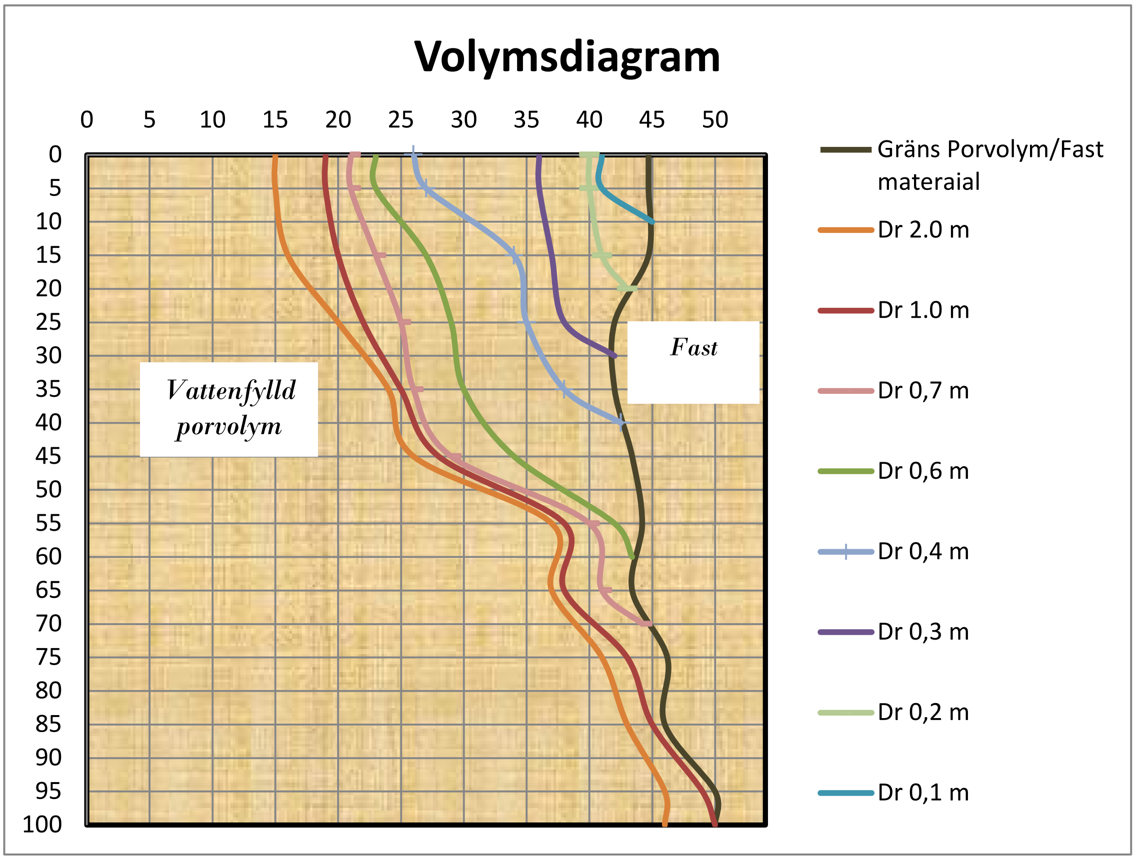
1.3.9 Du har en växtbädd med längden 5 m och bredden 1m vilket ger en yta på 5 m^2. Växtbädden är 0,8 m djup och under den ligger ett ogenomsläppligt material. Överskottsvatten i växtbädden kan bara transporteras (avvattnas) ut genom den ena sidan, vilken har en tvärsnittsarea på 0,5 m (höjd) x 1 m (bredd) = 0,5 m^2. Ett regn faller på växtbädden vilket resulterar i att en zon med ett djup av 500 mm med fritt vatten bildas i botten på växtbädden. Med vilken intensitet (q) kan grundvattenytan sänkas i växtbädden när den fria vattenzonen är 500 mm och K_s på växtjorden är 55 mm/h och bottnen under växtbädden har ett fall på 2 %? Den intensitet du får fram är densamma som med vilken intensitet som den fria vattenzonen kan belastas med mer vatten, utan att förändras genom att höjas eller sänkas.

1.3.10 Vilket förhållande är det mellan växtbäddens avvattnandekapacitet (q) och växtjordens K_s under de förutsättningar som gäller i uppgift 1.3.10?

1.3.11 Vilken dräneringsintensitet (q) skulle uppnås om fallet på bottnen under växtbädden i uppgift 1.3.10 istället skulle ha ett fall på 4,5 % och vilket förhållande uppnås nu?

1.3.12 Vilken dräneringsintensitet uppnås om hela växtbädden är vattenmättad och det därmed är fritt vatten upp till markytan? Vi utgår ifrån ett fall på växtbädden på 2 %.

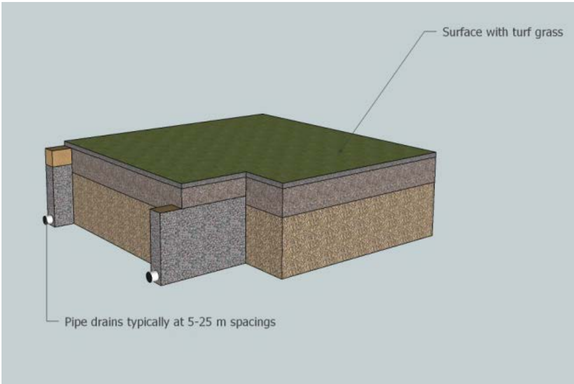
1.3.13 [överkurs] Du har bestämt dig för att lägga ner en täckdikning under en gräsyta. För att inte grävningen ska bli för dyr ska dräneringsrören placeras på ett djup av 90 cm. När det dimensionerande regnet inträffar vill du att grundvattenytan skall stanna på ett djup, så att växtbädden behåller en luftvolym på minst 10 % på 15 cm djup (utläses ur volymsdiagrammet). Hur högt får grundvattenytan som högst stiga, för att detta mål skall uppnås och vilken fallhöjd är det nu, från grundvattenytan mitt emellan dräneringsrören till underkant dräneringsrör?



Hooghoudt

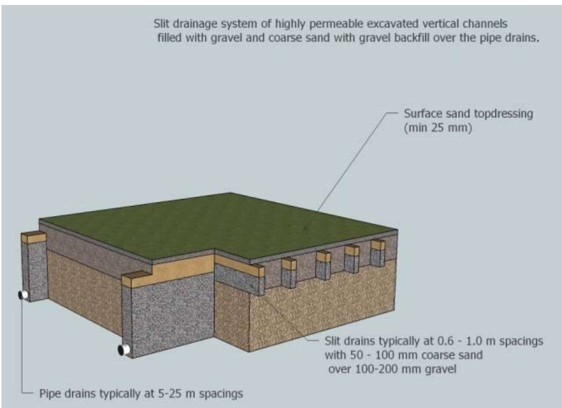
I nedanstående uppgifter ska du räkna i millimeter. Var noga med att omvandla alla värden så att de är uttrycks i mm innan du för in dem i formeln. Avrunda svaret till hela mm. I räkneexemplen nedan utgår vi ifrån att grundvattenytan ligger i marknivå mitt emellan dräneringarna. Bilderna i anslutning till uppgifter är för att hjälpa läsaren att se hur konstruktionen ser ut där finns inga måttuppgifter att hämta.

1.3.14 Beräkna dräneringsintensiteten för en yta med täckdikesrörsavståndet 8 m och djupet 700 mm. Växtbädden består av ett överliggande jordlager på 150 mm med ett K_s värde på 50 mm/h och ett underliggande på 550 mm med ett K_s värde på 20 mm/h. I beräkningen räknar vi med att materiallagret under täckdikesrören är ogenomsläppligt. Beräkna nu K_h och sen v.



1.3.15 Vilken intensitet skulle uppnås om avståndet halverades till 4 m och djupet dubblades till 1,4 m. (öka djupet på terrassen och behåll djupet på översta jordlagret)

1.3.16 [överkurs] Beräkna avvattningsintensiteten på ett dräneringssystem med grävda spår som är återfyllda med 100 mm grus och 300 mm sand/torv blandning (85-15). Spåren är 75 mm breda, ligger med ett C/C avstånd på 1,0 m och är anslutna till täckdikningsrören som ligger på ett avstånd av 8,0 m. K_s värdet för gruset är 10 000 mm/h och för sandblandningen 300 mm/h. I uträkningen bortser vi från att spåret kan dräners via botten. I detta räkneexempel och i uppgift 4 utgår vi från att båda lagerna bidrar till avvattningen och därmed blir h hela spårets djup, inte bara höjden på gruslagret. Vad blir det sammanvägda K_s värdet?



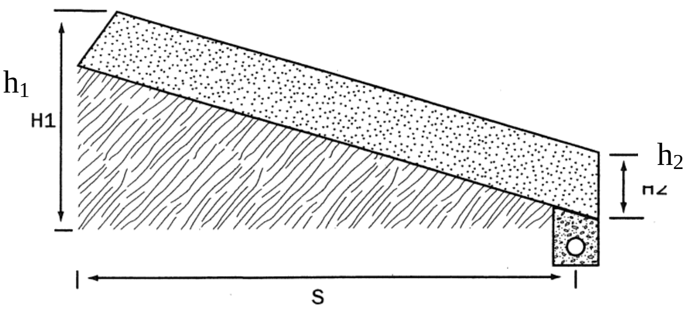
1.3.17 [överkurs] Ändras förutsättningarna så att överst i spåret ligger ett 100 mm lager av sandblandningen med ett K_s värde på 300mm/h och under ett lager på 300 mm av gruset med ett K_s värde på 10 000 mm/h uppnås följande kapacitet.

1.3.18 [överkurs] Utgår vi från ovanstående situation och lägger till 50 mm dräneringsrör i botten med en förmåga att transportera vatten på 30 l/min vid en lutning på 1 % får vi följande kapacitet. Vi antar att vattnet dräneras åt båda håll och därmed belastas varje täckdikningsrör med vatten från 4 m.

1.3.19 [överkurs] Vi fortsätter att använda oss av förutsättningar enligt uppgift 1.3.17 ovan men vi byter ut det översta jordlagret som var på 150 mm till ett såbäddsmaterial med ett K_s värde på 300 mm/h. Vi utgår också ifrån att terrassen under sandkappingen är ogenomsläpplig (K_s = 0). Precis som innan placerar vi ett spårdräneringssystem på 400 mm djup från ytan och med ett avstånd av 1,0 m. Beräkna sandkappingens förmåga (v) att dränera till spårdräneringen.

_______ mm/h är vad sandkappingen klarar av att transportera vatten fram till spårdräneringen. Nu måste även själv spårdränering avvattningskapacitet beräknas för att se så att avståndet till täckdikesrören inte är för stort.

1.3.20 [överkurs] Förändrar vi sandkappingkonstruktionen i uppgift 1.3.20 ovan genom att ta bort spårdräneringssystem och istället skapar ett fall på växtbädden på 2 %, krävs en delning och justering av värdena på h^2 i Hooghoudts formel till h_1 x h_2 (McIntyre & Jacobsen, 2000). Där h_1 står för tryckfallshöjden vilket innebär höjden på grundvattenzonen i växtbädden plus växtbäddens fallhöjd. Medens h_2 är höjden på grundvattenzonen i jorden som vattnet passerar igen (se figur nedan). Obs att detta gäller när terrassen som sandkappingen ligger på har betydligt lägre K_s-värde än växtbäddsjorden i sandkappingen.



Figur. Illustrerar vad höjden h_1 respektive h_2 motsvarar för höjd på en lutande växtbädd.

Växtbäddsdjup 150 mm. Djup till grundvattenytan 0 mm, vi utgår ifrån att växtbädden är fullt mättad med vatten. Växtbädden lutar med 2 % vilket ger en växtbäddsfallhöjd på 160 mm på 8 m. Hela sträckan (S) används eftersom allt vatten rinner åt ett och samma håll, därmed försvinner 4:an i formeln.

Tryckfallshöjden som skapas med vald konstruktion från grundvattenytan till botten på dräneringsrören blir ____________ mm.

Den höjd som vattnet passera igenom jorden blir _________mm.

Vid en grundvatten yta på 0 mm från markytan, med ett fall på 2 % och ett dräneringsrörs avstånd på 8,0 m skapas en dräneringsintensitet på ___________ mm/h.

1.3.21 [överkurs] Beräkna vilken sammanväg vertikal mättad hydraulisk konduktivitet följande två växtbäddar får. Överst ett jordlager på 200 mm med ett K_s på 100 mm/h och under det ett lager på 550 mm med ett K_s på 15 mm/h.

Vad blir den sammanvägda vertikala mättade hydrauliska konduktiviteten om du sedan dressar ut under några år ett sandlager uppe på som är 50 mm tjockt och har ett K_s på 200 mm/h?

1.4 Sannolikheter

1.4.1 Ett dike har dimensionerats för ett 5 årsregn. a) Vad är sannolikheten för att diket skall svämma över under kommande år och b) vad är sannolikheten för att det inte skall svämma över kommande år?

1.4.2 Ett dike har dimensionerats för ett 10 årsregn. a) Vad är sannolikheten för att diket skall svämma över under kommande år och b) vad är sannolikheten för att det inte skall svämma över kommande år?

1.4.3 Ett dike har dimensionerats för ett 10 årsregn. Vad är sannolikheten för att diket inte skall svämma över under kommande tre åren?

1.4.4 Ett dike har dimensionerats för ett 5 årsregn. Vad är sannolikheten för att diket inte skall svämma över under kommande tre åren?

1.4.5 Hur stor är sannolikheten att ett 20 års regn kommer att inträffa under de närmaste 3 åren?

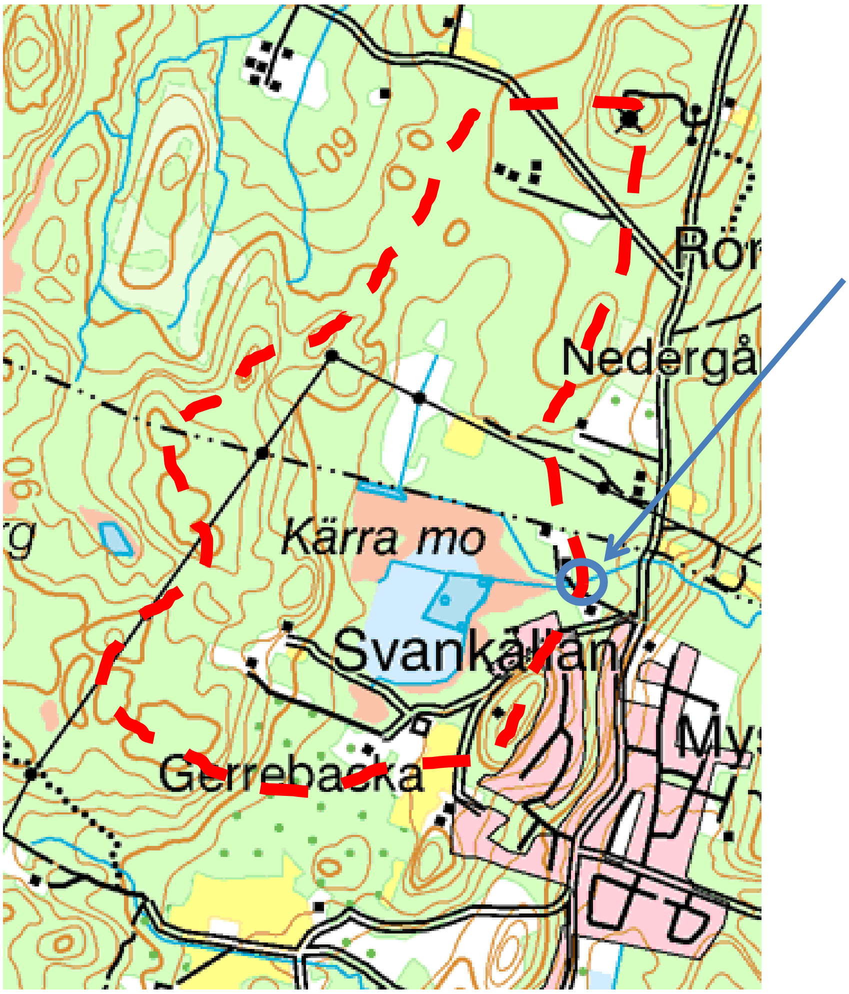
1.4.6 Hur kan man resonera kring risken att en äng svämmar över respektive att en motorväg, inom samma område med samma topografiska förutsättningar, gör det?

1.5 Avrinning från naturmark

1.5.1

Beräkna HHQ_{50}, MHQ, MQ, MLQ och LLQ, från Svankällans avrinningsområde som är belägen norr om Göteborg och har en årsnederbörd på 880 mm/år. Området ligger på breddgrad 58 och är beläget 50 meter över havet.

Svankällan
P = 880 mm/år
N = 0,53 km^2
S = 0,01 km^2
S_k = 0,01 km^2



2. DAGVATTEN

2.1 Rationella metoden

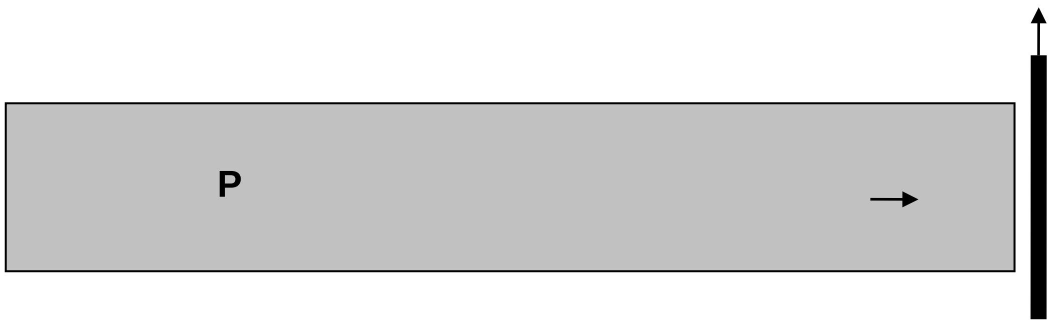
2.1.1 Ett ledningssystem för dagvattenhantering skall dimensioneras i Stockholmsområdet. Den sammanlagda ytan på 3 ha består av 0.5 ha takyta och 2.5 ha parkyta (med rik vegetation). Hur stort är det dimensionerande flödet för ett a) 5 årsregn respektive b) ett 2 årsregn? Använd rationella metoden och anta ett 20 minuters regn som dimensionerande regn. Du behöver inte ta höjd för någon klimatförändring.

2.1.2 Om området (i uppgift 2.1.1) istället legat i Göteborg, hade det spelat någon större betydelse?

2.1.3 Ett dagvattensystem skall dimensioneras i Helsingborgsområdet. Den sammanlagda ytan på 6 ha består av 1,5 ha takyta, 1.5 ha asfaltyta och 3 ha parkyta (med rik vegetation). Hur stort är det dimensionerande flödet för ett a) 1 årsregn respektive b) ett 10 årsregn? Använd rationella metoden och anta att rinntiden är 10 minuter. Du behöver inte ta höjd för någon klimatförändring.

2.1.4 Beräkna skillnaden i volym nederbörd för följande blockregn med varaktigheten 5, 10, 20 respektive 60 minuter och med återkomsttid 10 år. Använd i övrigt samma grunddata som i uppgift 2.1.3.

2.1.5.1 Nedanför en avlång parkeringsplats med måtten (200 x 40 m) finns ett dike. Eftersom parkeringsplatsens kanter är höga måste allt regnvatten passera parkeringsytan för att slutligen nå diket nedanför. Hur stort är det maximala flödet till diket, efter ett regn med 5 minuters respektive 10 minuters varaktighet och intensitet 184,4 respektive 134,1 l/s·ha? Hur stor volym i m^3 har nått diket efter 5 respektive 10 minuter om vi bort ser från för- och efterregn. Räkna med att vattnets hastighet över asfalten är 0,5 m/s och att avrinningskoefficienten är 0,9.



2.1.5.2 Utgå ifrån platsens förutsättningar i uppgift 2.1.5.1. Hur stort är det maximala flödet och volymen till diket, efter ett regn med 12 timmars varaktighet och återkomsttid 2 år? Räkna med en avrinningskoefficient på 0,95.

2.1.5.3 Utgå ifrån platsens förutsättningar i uppgift 2.1.5.1. Hur stort är det maximala flödet och volymen till diket, efter ett regn med 12 timmars varaktighet och återkomsttid 10 år? Räkna med en avrinningskoefficient på 0,95.

2.1.5.4 Utgå ifrån platsens förutsättningar i uppgift 2.1.5.1. men byt ut asfalten till en genomsläpplig asfalt. Hur stort är det maximala flödet till diket, efter ett regn med 5 minuters respektive 10 minuters varaktighet och intensitet 184,2 respektive 134,1 l/(s·ha)? Hur stor volym i m^3 har nått diket efter 5 respektive 10 minuter. Räkna med att vattnets hastighet över asfalten är 0,4 m/s och att avrinningskoefficienten är 0,1.

2.1.5.5 Utgå ifrån platsens förutsättningar i uppgift 2.1.5.4. med genomsläpplig asfalt. Hur stort är det maximala flödet och volymen till diket, efter ett regn med 12 timmars varaktighet och återkomsttid 10 år? Räkna med en avrinningskoefficient på 0,2. Studera skillnaden i flöde och volym med uppgift 2.1.5.3.

2.1.5.6 En plattyta med grusfogar på 1250 m^2 skall anläggas och du ska räkna ut flödet från yta som skall ledas till ett utjämningsmagasin. Enligt VA-bolaget ska du ta hänsyn till framtida förändringar och därmed lägga till en klimatfaktor på 1,2 och även ta hänsyn till för- och efter regn. Vilken storlek på flöde uppstår från ytan vid ett 120 minuters blockregn med återkomsttiden 10 år och vilken volym ska du dimensionera efter om du tar hänsyn till VA-bolagets krav?

2.2 Infiltration

2.2.1 På vilket djup bör grundvattenytan som högst stå för att markområdet ska vara lämpligt för infiltration?

2.2.2.1 Utgå ifrån platsens förutsättningar i uppgift 2.1.5.1. men nu har det anlagts en översilningsyta mellan parkeringsytan och diket. Vilka flödes hastigheter över översilningsytan kommer uppnås och finns det risk för erosion? Översilningsytan har ett fall på 5 % och en Mannings råhetskoefficient på 0,15.

2.2.2.2 Utgå ifrån platsens förutsättningar i uppgift 2.2.2.1. men nu har översilningsytan ett fall på 1:5 (20 %). Vilken hastighet uppnår vattnet över översilningsytan?

2.2.2.3 Utgå ifrån platsens förutsättningar i uppgift 2.2.2.1. men nu har översilningsytan ett fall på 1:2. Vilken hastighet uppnår vattnet över översilningsytan?

2.2.3 Utgå från poängsättningssystemet i skriften P46 av dimensionerande faktorer vid översiktlig bedömning av möjligheterna för infiltration. Beräkna den totala poängmängden som erhålls under följande förutsättning och redogör för hur du anser att dagvattnet kan tas omhand:
- grundvattenytan ligger på 0,75
- infiltrationsyta är dubbelt så stor som den bidragande täta ytan
- humusjord på morän eller grovsiltbas, måttlig humushalt
- mineraljord – siltig morän
- lutning 1,5 %
- etablerad gräsyta
- hårt slitage

Generellt sätt kan man utgå ifrån att allt dagvatten kan infiltreras.

2.2.4 Du sitter och projekterar en skolgård där den mottagande nyanlagda gräsytan är 60 % av den bidragande täta ytan. Marken lutar med 8 % och växtjord samt terrassen består av sandjord. Anser du att denna åtgärd är tillräcklig eller kommer du att kombinera den med något mer för att omhänderta dagvattnet?

2.3 Dimensionering regnbädd

2.3.1
<u>Använd dig av formlerna i ut delad formellsamling.</u>

2.3.1.1 Ett tak är anslutet till en regnbädd med ett djup på översvämningszonen på 0,2 m och ett djup på växtjorden på 0,5 m. Anläggningen har ingen flödesregulator utan det som styr tömningshastigheten är motståndet i växtjorden. Vilken maximal infiltrationshastighet in i växtbädden får anläggningen om den mättade hydrauliska konduktiviteten är 50 mm/h? Vilket maximalt tömningsflöde (Q_{max}) genom växtbädden får anläggningen om regnbäddens area är 10 m^2? Vilket genomsnittligt tömningsflöde (q_{ut}) m^3/h ur anläggningen kommer uppnås?

2.3.1.2 Utgå ifrån förutsättningarna i uppgift 2.3.1.1 men utöka översvämningszonen så den får ett djup på 300 mm, vilken maximal infiltrationshastighet och tömningsflöde m^3/h får du nu? Vilket genomsnittligt tömningsflöde uppnås?

2.3.1.3 Ett tak på 225 m^2 är anslutet till regnbädden i uppgift 2.3.1.2. Räcker regnbädden för att omhänderta ett regn med varaktigheten 10 minuter, återkomst 10 år och med en klimatfaktor på 1,2?

2.3.1.4 Hur många % är regnbäddens yta jämnfört med avrinningsområdet?

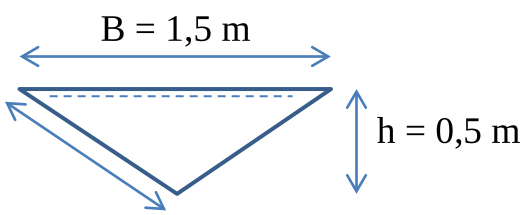
2.3.1.5 Använd informationen i uppgift 2.3.1.3 och räkna om den så att du kan gå in i figur 6.13 i P104 och läsa av vid vilken varaktighet som kräver störst magasin och hur stort specifikt och i verkligheten volym som behövs för denna regnbädd.

2.4 Kanalströmning

2.4.1 Två personer ska undersöka i vilken omfattning en sjö renar vatten. Vid ett regntillfälle väntar de en stund och tar sedan ett vattenprov när regnvattnet når sjön, d.v.s. när vattennivån börjar stiga. De skyndar sig snabbt till utloppet och tar prov ”när det första regnvattnet når utloppet”, vilket de tror är då vattnet stiger. De tar sina prover till labbet och kan sedan se att sjön har en reningskapacitet med 95 %. Sjön är 80 m lång, 10 m bred, 1 m djup och kan liknas med en avlång kub. Vid regntillfället är medelflödet 20 l/s. a) Vad kan vara en förklaring till att vattnet är så rent. b) Är det superkritiskt eller subkritisk strömning i sjön?

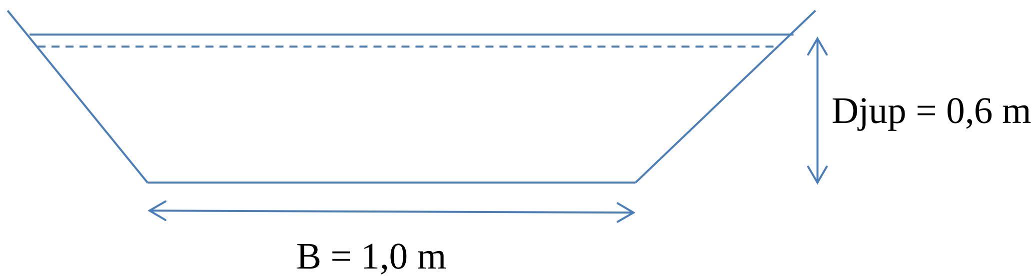
2.4.2 En trapetsformad jordkanal har M-värdet 35 $m^{1/3}/s$, botten på 10 m, släntlutning på 1:2 och bottenlutningen $S = 1 \cdot 10^{-4}$. Beräkna vattenföringen Q vid likformig strömning om vattendjupet är 6 m.

2.4.3 Beräkna hur mycket flöde som kan gå i ett dike med måtten enligt figuren nedan. Lutningen på diket är 1 meter på 500 m och Mannings tal är 10. Ange svaret i l/s.



2.4.4 Hur stort kan Mannings tal vara om ett triangulärt dike ska klara av 95 l/s för att inte svämma över? Utgår från att markens lutning är 5 ‰, arean 0,20 m^2, Hydrauliska radien R= 0,3.

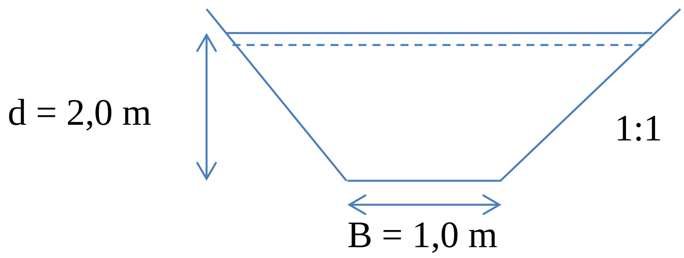
2.4.5 En lång ränna med trapetsformad tvärsektion enligt figuren skall leda fram 5 m^3/s vatten vid djupet 0,6 m. Beräkna vilken bottenlutning som behövs. Mannings tal M = 60 och släntlutningen 1:1.



2.4.6 En mycket lång rektangulär ränna har bredden 2 m, höjden 1 m och botten-lutningen 5 ‰. När rännan går full är flödet 4 m^3/s. Bestäm flödet då rännan är fylld till hälften.

2.4.7 I en lång kanal med lutningen S= 1/1000 och tvärsektion enligt figuren är vattenståndet 2,0 m och Mannings tal 60.

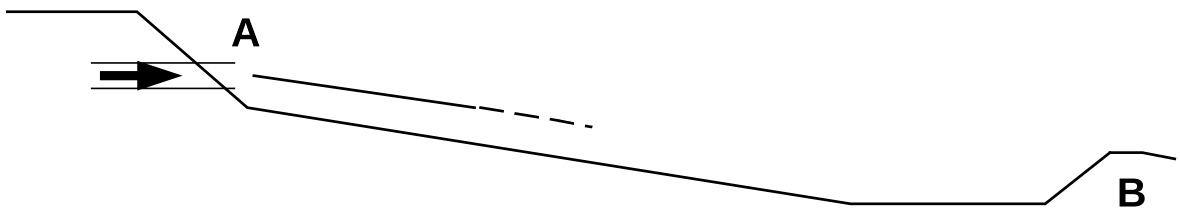
a) Bestäm flödet.
b) Undersök flödestillståndet (dvs. om det är sub- eller superkritisk strömning).



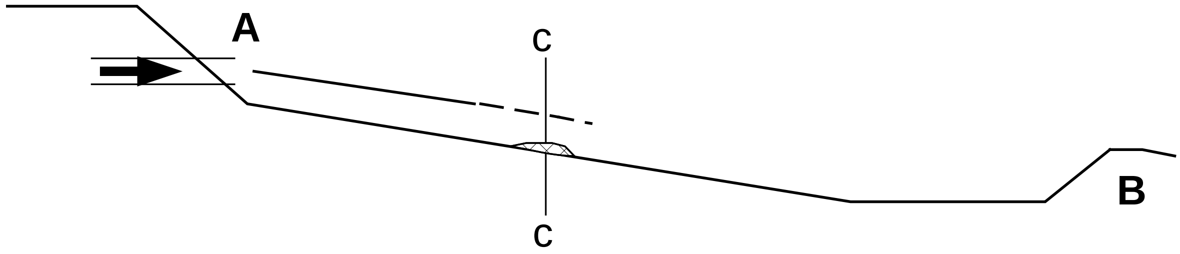
2.4.8 En mycket lång rektangulär ränna har bredden 3 m, höjden 1 m och en bottenlutning på 2 ‰. Vid vattendjupet 0.3 m är flödet 1,36 m^3/s. Vad är flödet vid djupet 0,9 m.

2.4.9 Rita in vattenytan i dammen om flödet Q_2 under en längre tid är i storleksordningen 20 % mindre än Q_1. Beskriv översiktligt hur man kan veta vart nivån kommer att ligga.

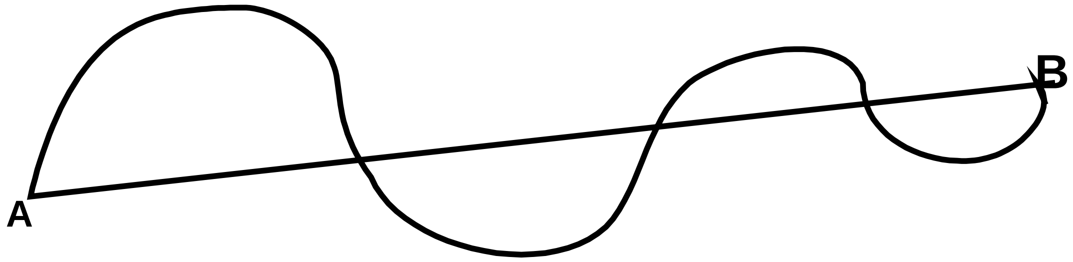
2.4.10 Efter en vägtrumma A leder ett dike vattnet ner mot en mindre damm, med en klack B. Rita in hur vattennivån principiellt fortsätter ner till punkten B. Anta att diket inte ändrar form eller annan egenskap, utan bibehåller samma lutning och motstånd.



2.4.11 Om vi utgår från samma fall som ovan men placerar en mindre klack i snittet c-c i diket. Hur kommer det att påverka vattenytan i detta snitt i relation till vattennivån strax uppströms och nedströms?



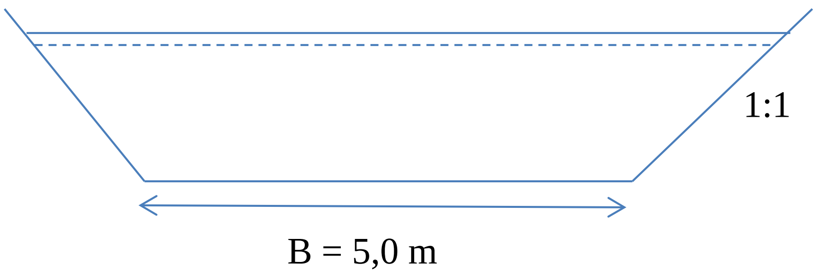
2.4.12 Bestäm a) lutning och b) medelvattenhastigheten för det uträtade respektive det meandranade vattendraget. Höjddifferensen mellan punkt A och B är 5.0 m och längderna är 3 km respektive 4.7 km. Anta att Mannings tal, M, är 20 för det meandrande vattendraget, medan M är 25 för det uträtade fallet, samt att tvärsnittsarean är 1,0 m^2 och att den hydrologiska radien 0,25.



2.4.13 [överkurs] Vilket vattendjup har en trapetsformad jordkanal, som i uppgift 2.2.2, fast med botten 1 m och ett flöde på 1000 l/s? **b)** Efter ett par år har kanalen växt igen så mycket att motståndet ökat från M = 35 $m^{1/3}$/s till M = 15 $m^{1/3}$/s. Frågan är då om kanalen kommer att klara ett flöde på 1000 l/s, dvs. att inte svämma över. Anta att kanalen är 1,5 m djup?

2.4.14 [överkurs] En lång sprängd kanal har en trapetsformad sektion enligt figuren, bottenlutningen S=0,5 ‰, släntlutning 1:1 och M=30.

a) Bestäm flödet om djupet i kanalen är 2 m.
b) Bestäm vattendjupet då flödet är 20 m^3/s.



2.5 Flödesmätning

2.5.1 I ett V-format dike ska flödet grovt uppskattas. Du kastar i en pinne och ser att det tar 14 s för den att färdas 5 m. Hur stort är flödet? Anta att hastigheten är lika i hela tvärsnittet av ån.

2.5.2 I en å med rektangulärt tvärsnitt och bredd på 1,3 m, är vattendjupet 0,55 m. För att bestämma flödet användes hastighet-area metoden. En flottör fick flyta på en sträcka på 15 m och tiden mättes vid tre försök. Vad är hastigheten och flödet i ån? Anta att hastigheten är lika i hela tvärsnittet av ån.

T1= 46 s.
T2= 51 s.
T3= 50 s.

2.5.3 För att veta flödet i en å har ett rektangulärt skibord monterats upp. Beräkna flödet då vattennivå över öppningens botten h är: **a)** 1 cm och **b)** 3 cm?

Utgå från att bredden på öppningen b = 50 cm, bredden på skivbordet B = 2,0 m, och tröskelhöjd p = 30 cm.

2.5.4 För att veta flödet i en å har ett rektangulärt skibord monterats upp. Beräkna flödet om bredden på öppningen är 40 cm, bredden på skivbordet 1,0 m, tröskelhöjd 30 cm, och vattennivå över öppningens botten på 9 cm?

2.5.5 Ett V-format skibord med vinkeln 90 grader och avbördningskoefficient C_v på 0,578 har en vattennivå över spetsen på öppningen på 10 cm. Hur stort är flödet? Ledtråd: tan 45 grader är lika med 1.

2.5.6 Ett V-format skibord med vinkeln 90 grader och avbördningskoefficient C_v på 0,578 har en vattennivå över spetsen på öppningen på 6 cm. Hur stort är flödet?

2.5.7 [Överkurs] Plotta flödet som en funktion av vattenytan. Använd data i uppgift 9.3 och låt vattenytan variera mellan 0,06 till 0,40 m.

2.5.8 [Överkurs] Flödesmätning med hjälp av spårämne kan utföras genom momentan dosering. Vid den momentana mäter man hur snabbt en punktdosering av spårämnet förflyttar sig en bestämd sträcka.

I en regnvattenledning doserades momentant ett spårämne kl. 15.20 i en punkt A. Registreringsutrustning för det aktuella spårämnet var då utplacerat i en punkt B 500 m nedströms. Här uppmättes 9 min 30 sek senare en koncentrationstopp för spårämnet. Bestäm flödet i ledningen ϕ 600mm.

2.6 Rörströmning

2.6.1 I en ledning flödar det 300 liter på 50 s. Hur stort är flödet? a) Svara i l/s, b) svara i m^3/s, c) svara i l/dygn.

2.6.2 I ett V-format dike med tvärsnittsarean 1 m^2 är flödet 0,05 m^3/s. a) Hur stor volym vatten rinner genom diket under ett dygn (förutsatt att hela diket är vattenfyllt)? b) Om nu diket har växt igen kraftigt men har samma flöde, hur mycket vatten rinner då genom under ett dygn?

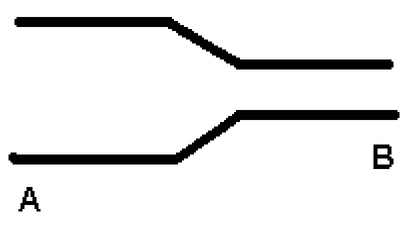
2.6.3 Ett svalldike är dimensionerat för 40 l/s. Hur mycket vatten kan rinna genom diket under 3 dygn? Svara i [m^3].

2.6.4 I en ledning, med diametern 100 mm, flödar det 1,0 m^3 på 500 s. Hur stort är flödet uttryckt i l/s?

2.6.5 I en ledning, med tvärsnittsarean 0,02 m^2, flödar det 3 m^3 på 10 min. a) Hur stort är flödet uttryckt i l/s? b) Hur stor är medelhastigheten i ledningen?

2.6.6 Under en sommardag regnar det 12 mm på tre timmar. Ett dike i ett kvarter avvattnar ett hårdgjort område på 2000 m^2 och är dimensionerat för ett maxflöde på 15 l/s. a) Klarar diket det angivna regnet (om man antar att regnintensiteten är jämn och att allt vatten som hamnar på den hårdgjorda ytan kommer till diket)? b) Hur mycket vatten kommer diket att ta emot under regntillfället?

2.6.7 Vad händer när vattnet går från A till B - ökar eller minskar trycket?



2.6.8 En ledning i betong med k-värdet 0,5 mm och en diameter på 400 mm ska vid fylld sektion klara 190 l/s. På vilken lutning måste ledningen ligga? Använd Colebrooks diagram.

2.6.9 Om man ska dimensionera korrekt bör ledningens fyllnadsgrad vara cirka 80 %. Vilket flöde kan ledningen i uppgift 2.6.8 då maximalt dimensioneras för?

2.6.10 Om ledningen i uppgift 2.6.9 åldras och efter 10 år får en sandråhet på 5 mm. Vilket dimensionerande flöde kan ledningen då ta emot.

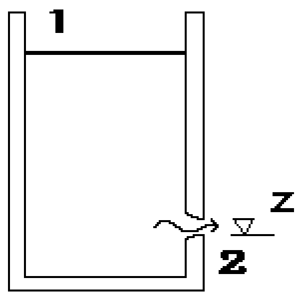
2.6.11 En avloppsledning ϕ 1800 mm har lagts med en lutning 1,0 promille. Bestäm vattendjupet när flödet är 1,4 m^3/s och då ledningen har en sandråhet på k = 1mm.

2.6.12 En ledning skall dimensioneras för maxflödet 0,2 m^3/s. Markens lutning är 0,5 ‰, dock är det möjligt att lägga ledningen i en lutning upp till 4 ‰. k = l,0 mm. Välj största möjliga ledningsdiameter och räkna med att vattnats hastighet skall överstiga 0,6 m/s. Standarddimensioner är ϕ 200, 300, 400, 500, 600, 800, 1000, 1200 mm.

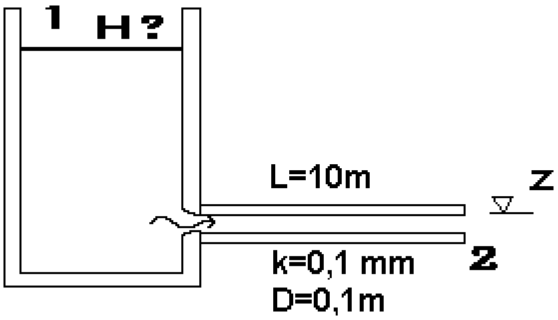
2.6.13 Bestäm flödet i en ledning, ϕ 1000 mm, k = 1.0 mm där ett tryckfall på 0,8 promille uppmätts. Vattentemperatur 10˚C. Använd Colebrooks diagram.

2.6.14 Bestäm friktionsförlusten h_f för en cirkulär ledning L = 2000 m, ϕ 400 mm, K = l.0 mm då flödet Q = a) 0.5 l/s, b) 50 l/s, c) 500 l/s. Använd Colebrooks diagram.
[**överkurs]** Gör samma beräkning men använd nu Moodys diagram och anta att vattentemperatur är 10˚C.

2.6.15 [överkurs] Vilken hastighet har vattnet ut ur behållaren (dvs punkt 2 i figuren)? Vattennivån i behållaren ligger på (z+0,5 m). Det kan antas att energiförlusterna kan försummas och att α=1.



2.6.16 [överkurs] Vilken nivå har vi i behållaren när flödet är 0,01 m^3/s, z = +5,00 m, tilläggsförlusten (i det här fallet inströmningsförlusten) är lika med noll, och α=1?



2.6.17 [överkurs] I en projektplan från 60-talet undersöktes möjligheten att försörja Hamburg med vatten från Vänern. Detta skulle ske i en stålrörsledning ϕ 2000 mm. Avståndet mellan Göteborg och Hamburg är 700 km, invånarantalet 2 miljoner som antas ha en specifik vattenförbrukning på 350 l/pd. Hur stort tryckfall (m vattenpelare) skulle erhållas i en sådan ledning? Räkna med k = 0,5 mm.

2.6.18 [överkurs]
a) Bestäm den diameter som erfordras för en horisontal trätub (k = 0,5 mm) för att den skall leda 1,5 m^3/s vatten vid ett tryckfall av 1:1000.
b) Vad blir vattenföringen i ledningen vid samma tryckfall, om ekvivalenta sandråheten efter en tid ökat till 1,0 mm?

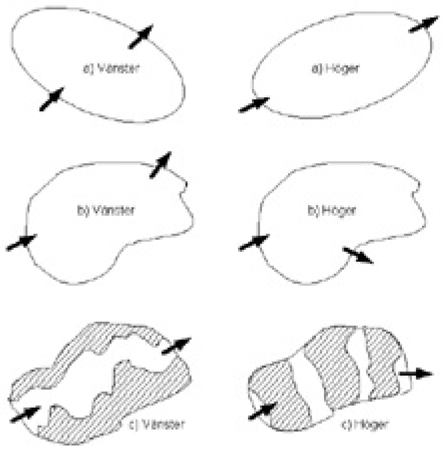
2.6.19 [överkurs] Dimensionera en råvattenledning som skall vara 15 km lång och ha kapaciteten 0,2 m^3/s vid en energiförlust på maximalt 25 m. Röret är av stål. Använd råheten k = 1 mm. Temperatur 5˚C. Använd de standarddimensioner som ges här (Rörbranchens standardkatalog).

Beteckning			Utvändig			Godstjocklek
DN			Diameter mm			mm
200			219			4,0
250			273			4,5
300			324			4,5
350			356			5,0
400			406			5,6
500			508			6,3
600			610			6,3
700			711			7,1

3. Dammhydraulik och rening

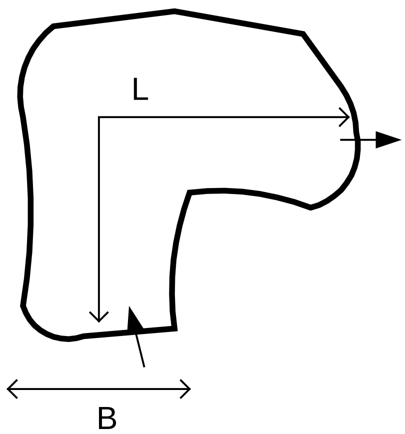
3.1 Dammhydraulik

3.1.1 Här är tre par med olika utformningar. Ange om det vänstra eller det högra alternativet har den bättre hydrauliska effektiviteten. Ringa in rätt svar.



3.1.2 Resultatet från ett spårämnesförsök i en våtmark visar att den aktuella uppehållstiden för inkommande vatten är 58 timmar. a) Hur stor är den effektiva volymen och b) Hur stor är den effektiva volymskvoten?

<u>Våtmarksdata</u>
Medelflöde vid spårämnesförsöket Q_{medel} = 10 l/s
Medeldjup, d = 1 m
Våtmarkens längd, L = 100 m
Våtmarkens bredd, B = 30 m



ÖVNINGSUPPGIFTER I VATTENBYGGNAD FÖR LANDSKAPSINGENJÖRER

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

Notera att symboler, uttryck och former kan skrivas på olika sätt inom fysik och matematik

10 multiplicerat med 3 kan skrivas: 10 3 eller 10·3, och på samma sätt skrivs symboler som: A· B eller bara AB.

$\frac{A}{B}$ kan skrivas som A/B

$A\sqrt{B}$ kan skrivas som A·ROT(B)

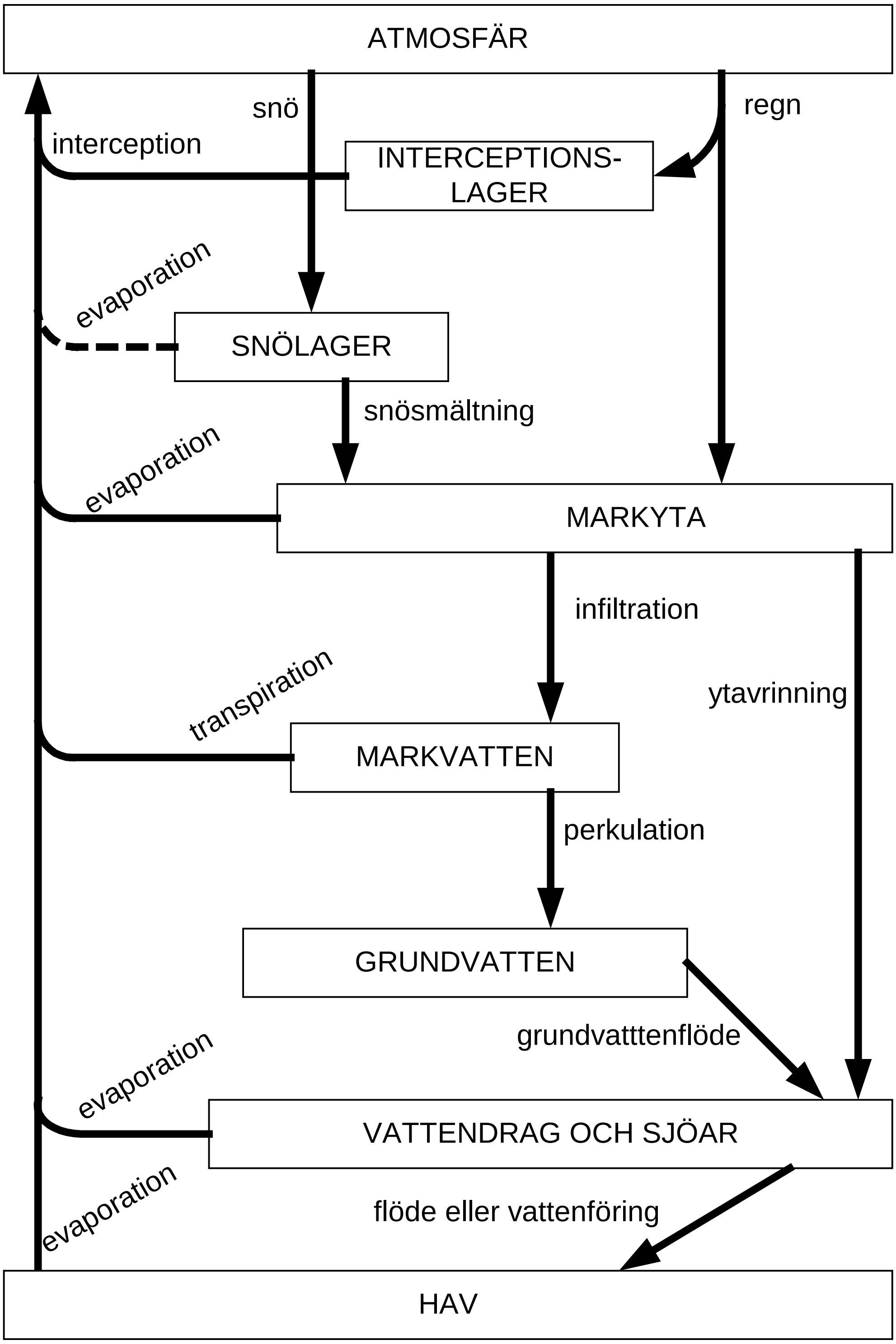
A^2 kan skrivas som A^2

De två senaste sätten kommer inte att användas här.

1. HYDROLOGI

1.1 Hydrologiska begrepp, massbalans och avdunstning

1.1.1



1.1.2

a) Medelvärdesmetoden, $P = \dfrac{62{,}5 + 77{,}5 + 145 + 37{,}5}{4} = 81\,\text{mm}$

b) [överkurs] Thiessens metod, P = 77 mm

c) [överkurs] Isohyetal metoden, P = 74 mm

1.1.3

Lösningside: beräkna mättnadsångtryck (e_s) och sen aktuell ångtryck (e_a) genom att använda luftfuktigheten. Sätt sen in värdena och lös ekvationen.

Mättnadsångtryck vid 25 C^0 är cirka 32 mbar, se figur

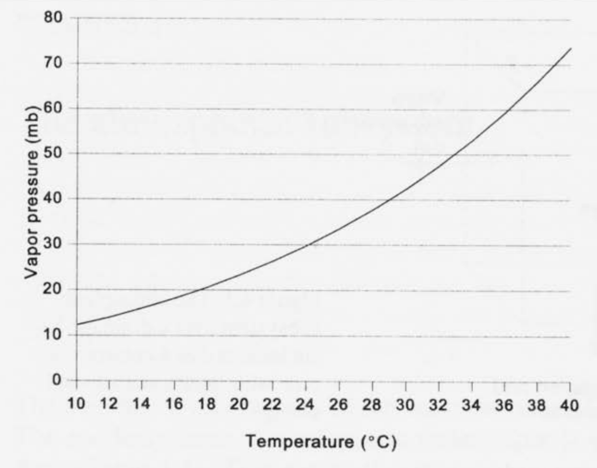


Figure 4.2. Saturation vapor pressure over water versus air temperature.

Aktuellt ångtryck $e_a = f{\cdot}e_s$ = 0,40 ·32 = 13 mbar

$$E = 0{,}122 u_4 (e_s - e_a)$$

E = 0,122·1,8 · (32-13) = 4,2 mm/dygn

Svar: a) Evaporationen för sjön är 4,2 mm/dygn. b) Om luftfuktigheten ökar till 80 % minskar avdunstningen till 1.4 mm/dygn och om vindhastigheten ökar med 100 % (till 3,6 m/s) ökar avdunstningen till 8,3 mm/dygn.

1.1.4

Svar: E = 7,8 mm/dygn

1.1.5

Svar: E = 0,6 mm/dygn

1.1.6
Svar: f = 0,95 eller 95 %

1.1.7
Svar: a) 125 m^3/dygn, b) 3750 m^3 och 3750 000 l

1.1.8
Svar: 30 m^3/dygn och 4,3 mm

1.1.9
Utgå från kontinuitetsekvationen och gör en vattenbalans. Evaporationen för sjön kan beräknas enligt:
$$I_s + I_g + P = E + O_s + O_g + (S_2 - S_1)$$

Värdena sätts in och ger att E = 3 000 m^3.

Om medelevaporationen är 1,5 mm/dag, så blir det cirka 45 mm på en månad.
$A = V/h$ = 3000/0,045 = 67 000 m^2, dvs 6,7 ha.

Svar: Evaporationen blir 3000 m^3 och sjöns yta är cirka 67 000 m^2.

1.1.10
Svar: Avdunstningen är 296 mm.

Lösning: Avdunstningen = nederbörd - avrinning

Räkna om nederbörden till en volym genom att ta nederbörden · arean [m^3/år]. Räkna sen om avrinningen till en volym 51·3600·24·365 [m^3/år]. Gör sedan om volymen till en höjd, genom sambandet att volym/yta är lika med en höjd.

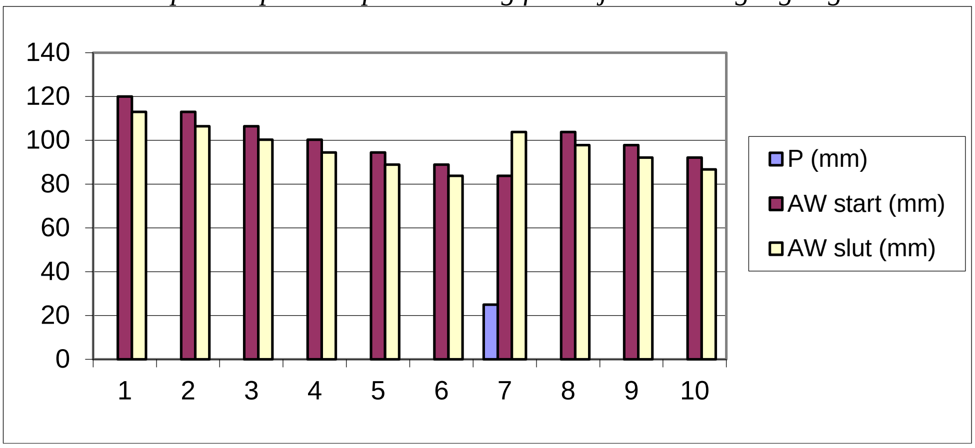
1.1.11
En vattenbalans ger att läckaget är 2640 m^3, vilket innebär att det sker en infiltration på 2,9 mm/dygn.

1.1.12 [överkurs]

Tid [dagar]	***ETp* [mm]**	*P* [mm]	*AW* start [mm]	*AW/AWC*	***ET* [mm]**	*AW slut* [mm]
1	**7**	0	120	1,00	**7**	113
2	**7**	0	113	0,94	**6,6**	106,4
3	**7**	0	106,4	0,89	**6,2**	100,2
4	**7**	0	100,2	0,83	**5,8**	94,4
5	**7**	0	94,4	0,79	**5,5**	88,9
6	**7**	0	88,9	0,74	**5,2**	83,7
7	**7**	25	83,7	0,70	**4,9**	103,8
8	**7**	0	103,8	0,87	**6,1**	97,7
9	**7**	0	97,7	0,81	**5,7**	92
10	**7**	0	92	0,77	**5,4**	86,7
Totalt efter 10 dagar	**70 mm**				**58,4 mm**	

Svar: 58 mm

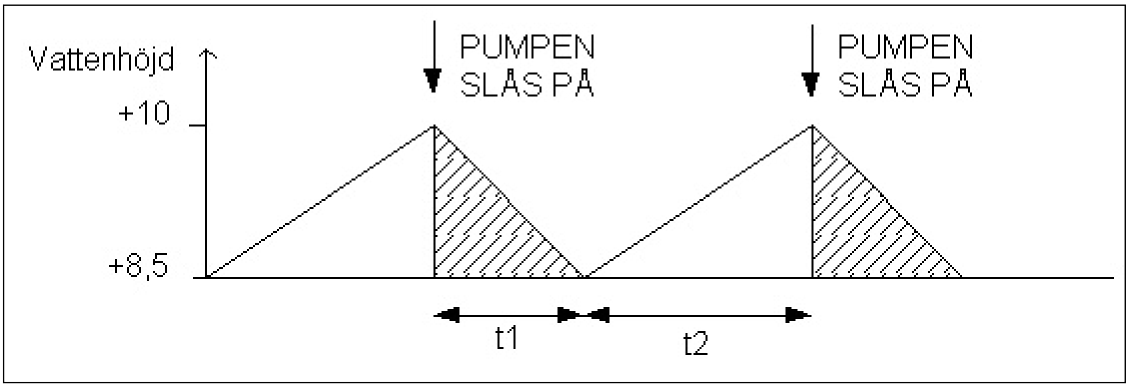
Tabell 1. Evapotranspiration på 7 mm/dag för en jord med utgångsläget 120 mm vatten.



1.1.13 [överkurs]

Svar: 17 min 40 sek

Ide:



t1 är den tid då pumpen går
t2 är den tid då pumpen inte går
Den sökta tiden (T) som vi söker är lika med (t1+t2)

V_{in} = 0,006 (t1+t2)
V_{ut} = 0,015 t1

Vi vet att t2 = V/Q_{in} = (π $0{,}9^2$ (10-8,5))/0,006 = 636 s

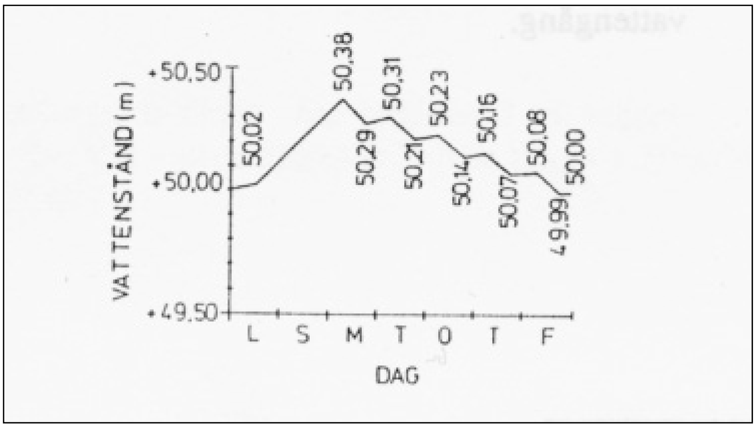
0,006 (t1+t2) = 0,015 t1

0,006 t1+ 0,006 t2 = 0,015 t1
0,006 t1+ 0,006 ·636 = 0,015 t1
t1 = 0,006·636/(0,015-0,006) = 424 s

T = (t1+t2) = 424 + 636 = 1060 s = 17 min och 40 s

1.1.14 [överkurs]

Svar: Vattenståndet varierar enligt figuren.



Lösning:

Q_{in} = konstant 28,9 m^3/s
$A = 10 \cdot 10^6$ m^2
Startnivå: +50,00 m

1. lördag 00.00 till 12.00 (6 h)
V_{in}: 12 h · Q_{in}
V_{ut}: 12 h · 25 m^3/s

V (som tillkommer) = 12·3600· (Q_{in} -25)
Δh = [12·3600· (Q_{in} -25)]/A = 0,02 m

nivå (lördag 12.00): +50,02 m

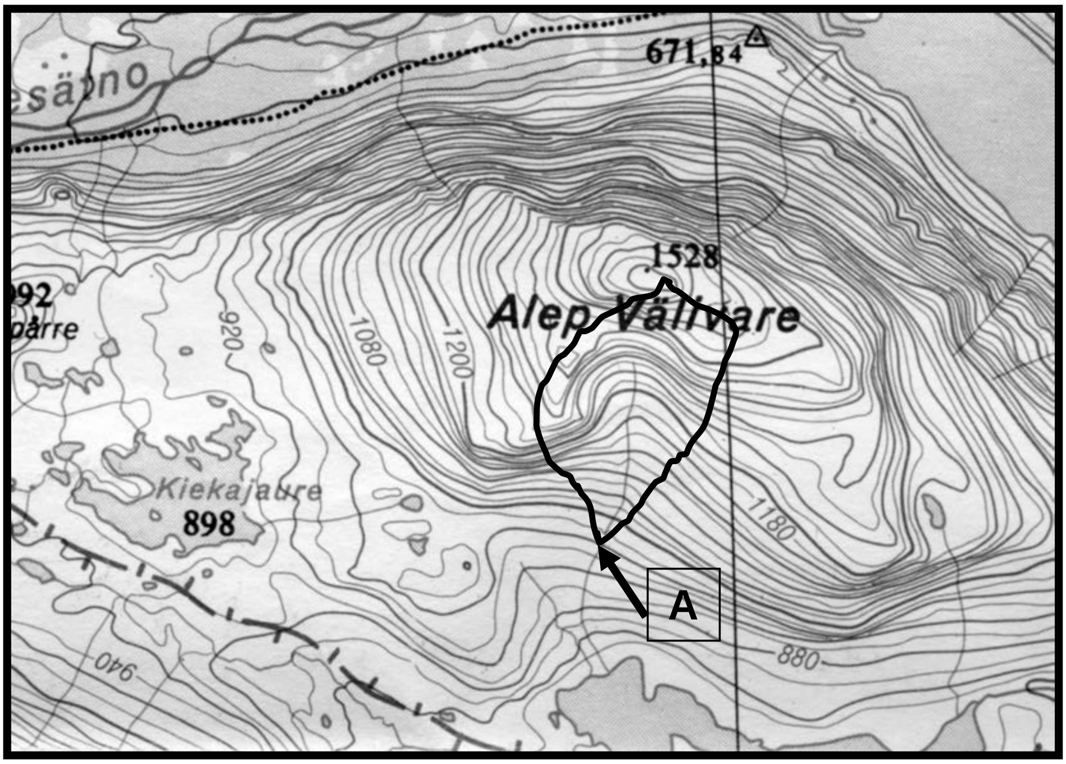
2. lördag 12.00 till mån 06.00 (42 h)
Vin: 42 h · Q_{in}
Vut: 42 h · 5 m^3/s

V (som tillkommer) = 42·3600· (Q_{in} -5)
Δh = [42·3600· (Q_{in}-5)]/A = 0,36 m

nivå (måndag 06.00): +50,38 m

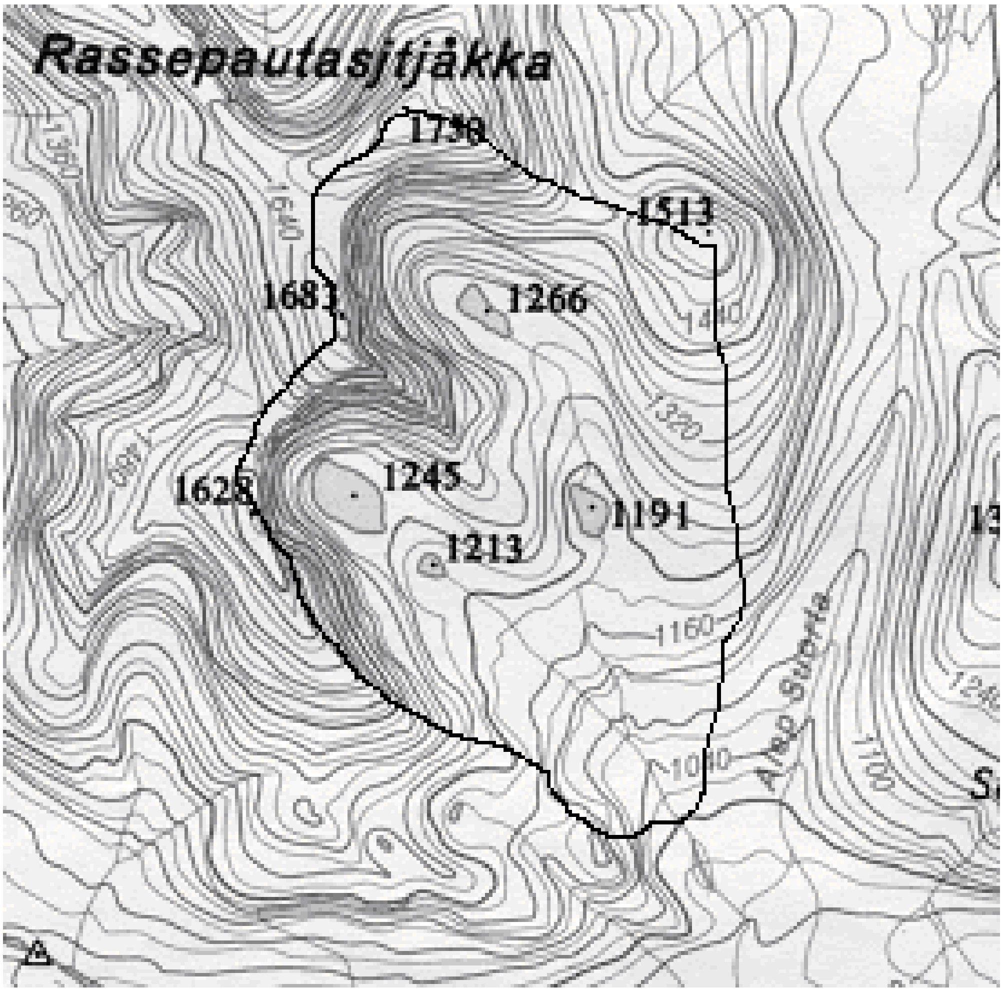
1.2 Avrinningsområde och ytavrinning från naturmark

1.2.1
Svar:



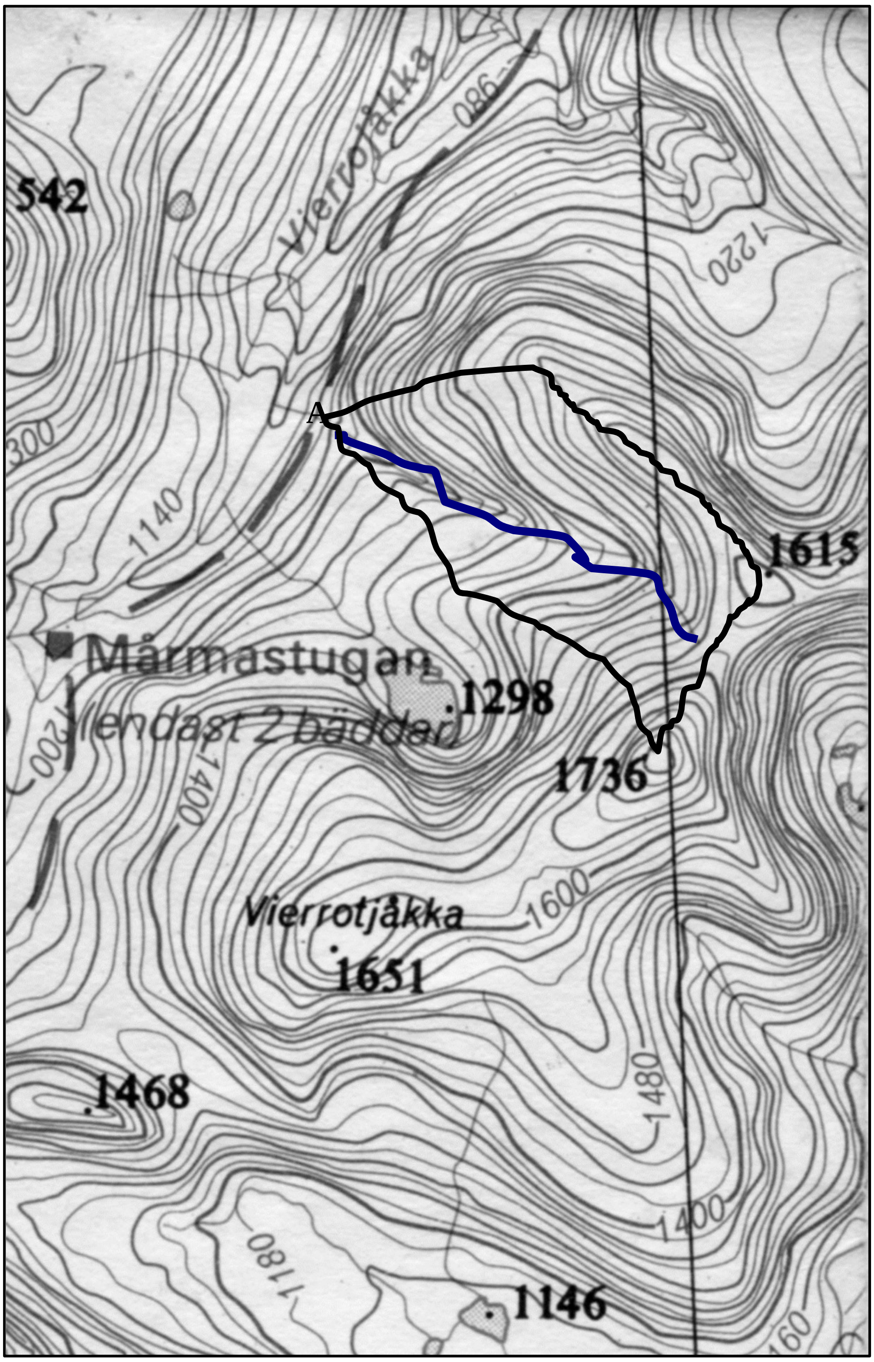
1.2.2

Svar:


Rassepautasjtjåkka
1730
1513
1683
1266
1440
1320
1640
1628
1245
1191
1213
1160
1040
1100
Alep Suorta

1.2.3

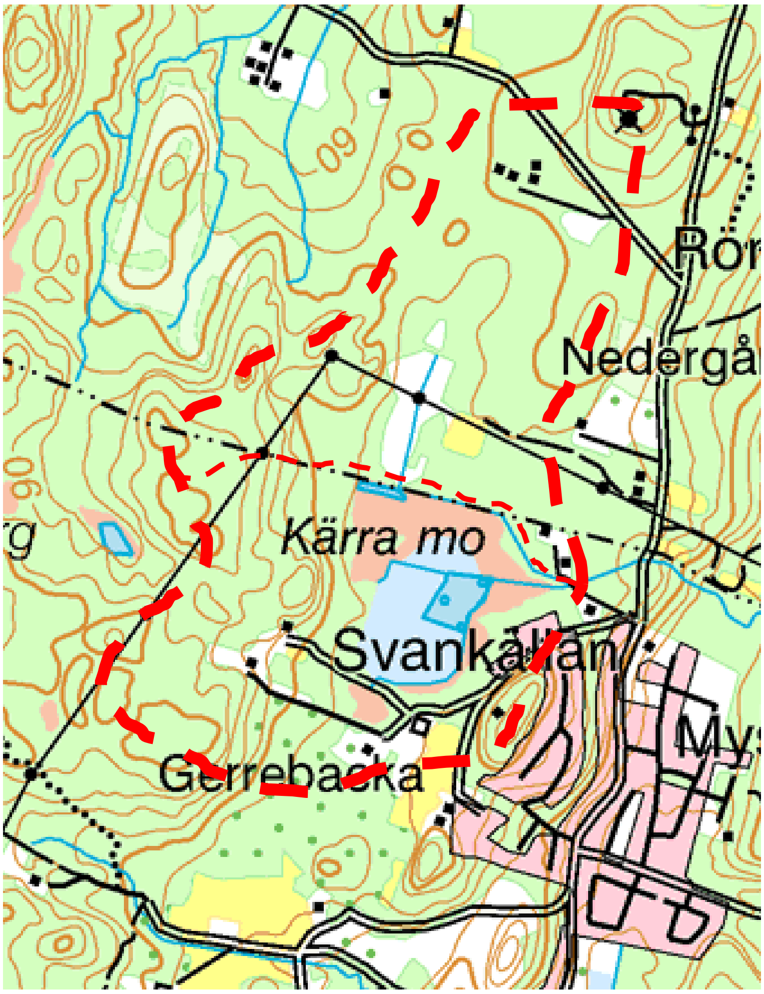
Svar:



542
Vierrotjåkka
086
1220
300
1140
A
1615
Mårmastugan
(endast 2 bäddar)
1298
1200
1400
1736
1600
Vierrotjåkka
1651
1468
1480
1400
1180
1146
160

1.2.4

Svar: Den tjocka röda linjen anger hela avrinningsområdet för Svankällan.



1.2.5 [överkurs]

Rååns avrinningsområde i slutet av 1900-talet.

a) Rita in vattendragen

b) Ange ”stream order” och antal

Stream order	antal
1	31
2	8
3	1

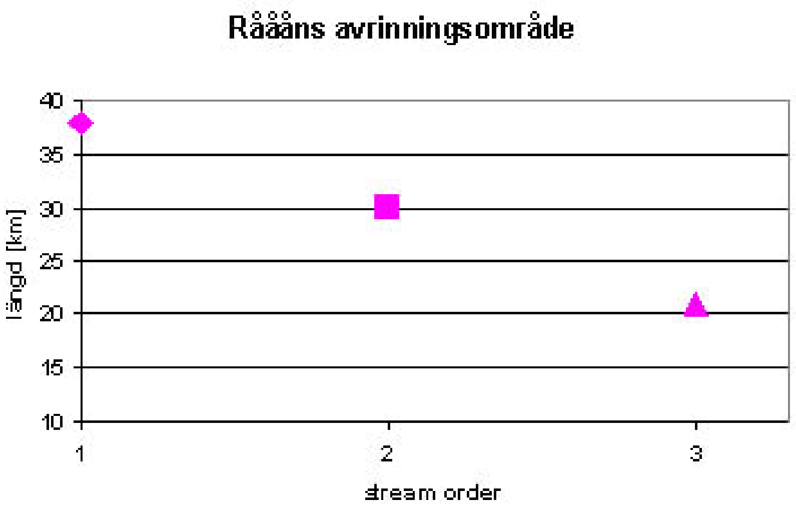
c) Beräkna bifurcation ratio (medelvärdet)

Stream order	antal	Bifurcation kvot
1	31	
2	8	31/8 = 3,9
3	1	8/1 = 8

Medelvärde på Bifurcation kvoten = (3,9+8)/2 = 6

d) Beräkna längden på vattendragen för alla ordningar,
Plotta *L*= *f* (stream order).

Stream order	Summa längd	relation
1	37,5 km (54 cm)	
2	29,8 km (43cm)	29,8 /37,5 = 0.8
3	20,8 km (30 km)	20,8/29,8 = 0,7



e) Beräkna avrinningsområdets densitet

$$\frac{\sum L}{\sum A} = \frac{37.5 + 29.8 + 20.8}{200} = 0.44$$

1.2.6 [överkurs]

Rååns avrinningsområde i början av 1800-talet

a) Rita in vattendragen

b) Ange ”stream order” och antal

Stream order	antal
1	72
2	18
3	2
4	1

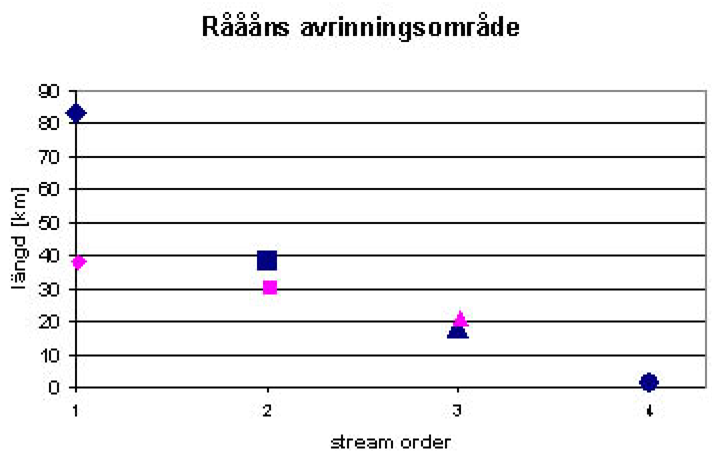
c) Beräkna bifurcation ratio (medelvärdet)

Stream order	antal	Bifurcation kvot
1	72	72/18 = 4
2	18	182 = 9
3	2	2/1 = 2
4	1	

Medelvärde på Bifurcation kvoten = 5

d) Beräkna längden på vattendragen för alla ordningar,
Plotta $L = f$ (stream order).

Stream order	Summa längd	relation
1	83 km	83/38 = 2,2
2	38 km	38/18 = 2,1
3	18 km	18/1 = 18
4	1 km	



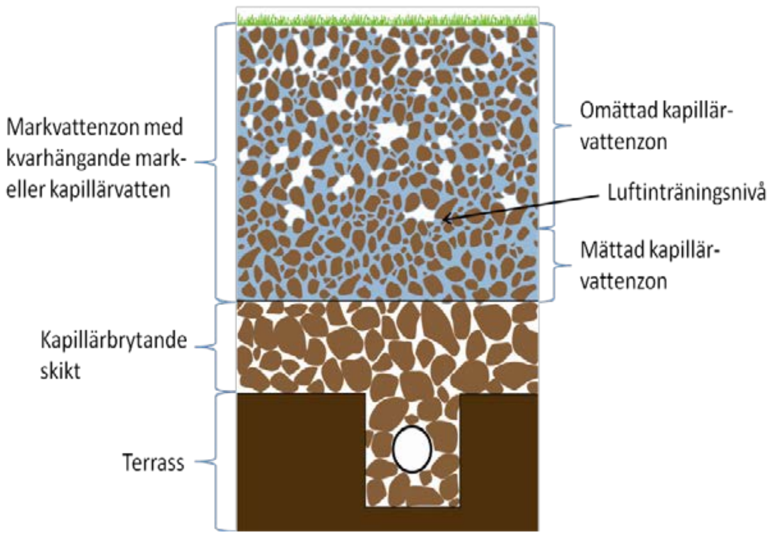
e) Beräkna avrinningsområdets densitet

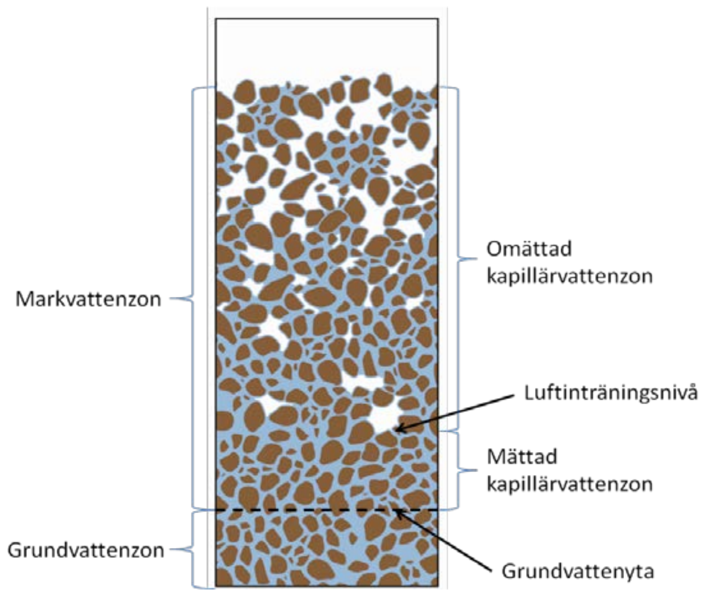
$$\frac{\sum L}{\sum A} = \frac{83+38+18+1}{200} = 0,7$$

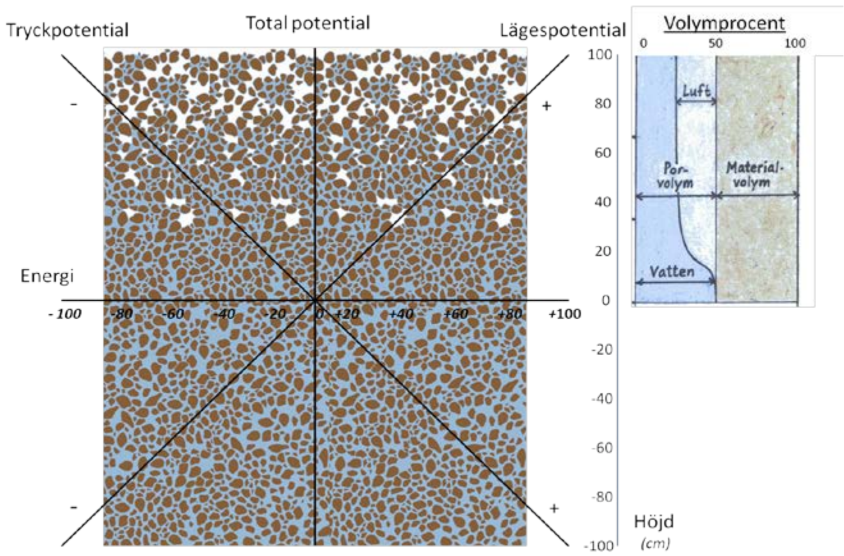
Anm: Genom att se på förändringen på avrinningsområdets densitet syns det tydligt att avrinningsområdet i stor omfattning är utdikat.

1.3 Mark

Allmänt om mark
1.3.1 Namnsätt zoner/delar och flöden på figurer nedan.







1.3.2
Svar: 6,5 mm kommer vattenlagret bli.

Infiltration
1.3.3
Svar: Effektiv infiltrationshastighet 38,88 mm/h och infiltrationsdjup 38,88 mm.

$$v_e = \frac{f}{n_e - \theta} = \frac{7}{0{,}36 - 0{,}18} = 38{,}88 \text{ mm/h}$$

$$infiltrationsdjup = \frac{P}{n_e - \theta} = \frac{7}{0{,}36 - 0{,}18} = 38{,}88 \text{ mm}$$

1.3.4
Svar: Effektiv infiltrationshastighet 70 mm/h och infiltrationsdjup 70 mm.

$$v_e = \frac{f}{n_e - \theta} = \frac{7}{0{,}36 - 0{,}26} = 70 \text{ mm/h}$$

$$infiltrationsdjup = \frac{P}{n_e - \theta} = \frac{P}{0{,}36 - 0{,}26} = 70 \text{ mm}$$

1.3.5
Svar: 77 mm nederbörd klarar växtbädden innan det blir vatten på ytan.

$$infiltrationsdjup\ 350\ mm = \frac{P}{n_e - \theta} = \frac{P}{0{,}45 - 0{,}23} \quad P = 77 \text{ mm}$$

1.3.6
Svar det finns 157,5 mm vatten i växtbädden/enhet yta.

$0{,}45 \cdot 350 = 157{,}5$ mm

Darcy
1.3.7
Svar: Den mättade hydrauliska konduktiviteten är i materialet 425 mm/h.

$$Q = -K \cdot A \cdot \frac{\Delta h}{\Delta x} = 6000cm^3 = K \cdot 113cm^3 \cdot \frac{25}{20}$$

$$6000 = K \cdot 113 \cdot 1{,}25 \quad 6000 = K \cdot 141{,}25 \quad \frac{6000}{141{,}25} = K = 42{,}5\ cm/h = 425\ \text{mm/h}$$

Q måste justeras så att mängden per timme sätts in i formeln eller justeras upp, efteråt!

$K = \frac{1000}{141{,}25} = 7{,}08\ cm$ 7,08 cm = 70,8 mm/10 min ≈ 425 mm/h

1.3.8
Svar: 15,36 mm horisontell hydraulisk konduktivitet och 3,26 mm vertikal hydraulisk konduktivitet.

$$K_h = \frac{K_1 h_1 + K_2 h_2}{h_1 + h_2} = \frac{75 \cdot 100 + 20 \cdot 300 + 2 \cdot 550}{100 + 300 + 550} = 15{,}36\ \text{mm/h}$$

$$K_v = \frac{h}{\left(\frac{h_1}{K_1} + \frac{h_2}{K_2} + \frac{h_3}{K_3}\right)} = \frac{950}{\frac{100}{75} + \frac{300}{20} + \frac{550}{2}} = \frac{950}{1{,}33 + 15 + 275} = 3{,}26\ \text{mm/h}$$

1.3.9
Svar: Grundvattenytan kan sänkas med 0,11 mm/h.

$$Kvot = \frac{0{,}5}{5} = 0{,}1$$

$$q = 0{,}1 \cdot 55 = 5{,}5\ \text{mm/h}$$

$$q = 5{,}5 \cdot 0{,}02 = 0{,}11\ \text{mm/h}$$

1.3.10
Svar: Förhållandet ligger på 1:500

$$förhållande = \frac{0{,}11}{55} = 0{,}002\ av\ K_s\ eller\ 500\ gånger\ mindre\ \text{än}\ K_s$$

1.3.11
Svar: Dräneringsintensitet på 0,25 mm/h och ett förhållande på 1:222.

$$q = 5{,}5 \ \cdot 0{,}045 = 0{,}25 \text{ mm/h}$$

$$förhållande = \frac{0{,}25}{55} = 0{,}0045 \ av \ K_s \ eller \ 222 \ gånger \ mindre \ \text{än} \ K_s$$

1.3.12
Svar: Dräneringsintensiteten är nu 0,176 mm/h.

$$Kvot = \frac{0{,}8}{5} = 0{,}16$$

$$q = 0{,}16 \times 55 = 8{,}8 \text{ mm/h}$$

$$q = 8{,}8 \ \times 0{,}02 = 0{,}176 \text{ mm/h}$$

Som framkommer av uträkningarna är den horisontella strömningen i jord väldigt liten. Lägg märke till att det vi har räknat nu på är mättad strömning i grundvattenzonen och därmed är det stora porerna med och medverkar till flödet. I markvattenzonen där makroporerna inte är vattenfyllda och det därmed inte medverkar i flödet blir strömningen ännu lägre.

1.3.13
Svar: Fallhöjden är nu 0,5 m.

$$h = W - H = 0{,}9 - 0{,}4 = 0{,}5 \text{ m}$$

Hoodhoudt

1.3.14
Svar: K_h = 26 mm/h och v = 0,8 mm/h.

$$K_h = \frac{K_1 h_1 + K_2 h_2}{h_1 + h_2} = \frac{50 \cdot 150 + 20 \cdot 550}{150 + 550} = 26 \text{ mm/h}$$

$$v = \frac{4Kh^2}{S^2} = \frac{4 \cdot 26 \cdot 700^2}{8000^2} = 0{,}8 \text{ mm/h}$$

De finns flera olika alternativ att förbättra avvattningen av ytan i exemplet vilka kommer att ge olika för- och nackdelar. Att lägga täckdikningsrören på ett större djup är ett alternativ för att öka på hastigheten och där med avvattningsintensiteten. I det flesta sammanhang är det inte ekonomisk möjligt. Att lägga täckdikningsrören tätare är ett annat alternativ för att bättra på intensiteten. Även detta är ur ekonomisk synvinkel tveksamt.

1.3.15
Svar: K_h = 23 mm/h och v 11 mm/h.

$$K_h = \frac{K_1 h_1 + K_2 h_2}{h_1 + h_2} = \frac{50 \cdot 150 + 20 \cdot 1250}{150 + 1250} = \frac{7500 + 25000}{1400} = 23 \text{ mm/h}$$

$$v = \frac{4Kh^2}{S^2} = \frac{4 \cdot 23 \cdot 1400^2}{4000^2} = \frac{180320000}{16000000} = 11 \text{ mm/h}$$

1.3.16
Svar: Det sammanvägda K_s-värdet blir 2725 och v blir 2 respektive 0,5 mm/h.

$$K_h = \frac{K_1 h_1 + K_2 h_2}{h_1 + h_2} = \frac{300 \cdot 300 + 10000 \cdot 100}{300 + 100} = \frac{90000 + 1000000}{400} = 2725 \text{ mm/h}$$

Uppgiften om det sammanvägda K_s värdet och avstånden mellan spåren som är 1 m samt bredden som är 7,5 cm kan föras in i Hooghoudts modifierade formel. Beräkna v.

$$v = \frac{4Kh^2 b}{S^2 D} = \frac{4 \cdot 2725 * 400^2 \cdot 75}{8000^2 \cdot 1000} = \frac{130800000000}{64000000000} = 2 \text{ mm/h}$$

$$v = \frac{4Kh^2 b}{S^2 D} = \frac{4 \cdot 10000 \cdot 100^2 \cdot 75}{8000^2 \cdot 1000} = \frac{30\,000}{64\,000} \approx 0{,}5 \text{ mm/h}$$

Under ett dygn kommer ovanstående exempel att kunna ta emot och dränera bort <u>48</u> mm vatten på ytan till slitsarna, mellan täckdikesrören.

1.3.17
Svar: Det sammanvägda K_s-värdet blir 7575 och v blir 5,7 mm/h.

$$K_h = \frac{K_1 h_1 + K_2 h_2}{h_1 + h_2} = \frac{300 \cdot 100 + 10000 \cdot 300}{100 + 300} = \frac{30000 + 3000000}{400} = 7575 \text{ mm/h}$$

$$v = \frac{4Kh^2 b}{S^2 D} = \frac{4 \cdot 7575 \cdot 400^2 \cdot 75}{8000^2 \cdot 1000} = \frac{363600\,000\,000}{64\,000\,000\,000} \approx 5{,}7 \text{mm/h}$$

Genom att minska lagret med sandblandningen och öka gruslagret i samma omfattning uppnås i detta fall en ökning med <u>185</u> %.

1.3.18
Svar: v = 450 mm/h.

$$\frac{30\ dm^3/min}{4\ m} = 7{,}5 \text{ dm}^3\text{/min/lpm}$$

Dräneringsröret klarar av att ta emot 7,5 l/längdmeter dräneringsrör i spåret. Om spåret är 75 mm brett kan dräneringsröret i spåret ta emot en vattenhastighet (v) på 450 mm/h?

$$v = \frac{Q}{A} =$$

A = 10 dm · 0,75 dm = 7,5 dm^2

$$\frac{7{,}5\ dm^3/min}{7{,}5\ dm^2} = 1\ dm/min = 100\ mm/min = 6000\ \text{mm/h}$$

Precis som i de tidigare fallen justeras dräneringsintensiteten (v) mot att spåret tar emot nederbörd från hela ytan.

$$\frac{b}{D} = \frac{75}{1000} = 0{,}075\ kvot$$

$q_d = v \cdot kvot$ = 6000 · 0,075 = 450 mm/h

Om vi bortser ifrån att grässvålen ovanför spårdräneringen inte klarar av att släppa igenom 6000 mm/h, kommer spårdränering med dräneringsrör att klara att ta emot en nederbörd (v) på 450 mm/h.

1.3.19
Sandkappingens förmåga att dränera till spårdräneringen blir 27 mm/h.

$$v = \frac{4Kh^2}{S^2} = \frac{4 \cdot 300 \cdot 150^2}{1000^2} = \frac{27\ 000\ 000}{1\ 000\ 000} = 27\ \text{mm/h}$$

1.3.20
Svar: Tryckfallshöjden som skapas med vald konstruktion från grundvattenytan till botten på dräneringsrören blir 150 + 160 = **310 mm.**

Den höjd som vattnet passera igenom jorden blir **150 mm.**

Vid en grundvatten yta på 0 mm från markytan, med ett fall på 2 % och ett dräneringsrörs avstånd på 8,0 m skapas en dräneringsintensitet på **0,21 mm/h**.

$$v = \frac{Kh_1h_2}{S^2} = \frac{300 \cdot 310 \cdot 150}{8000^2} = \frac{13\ 950\ 000}{64\ 000\ 000} = 0{,}2\ \text{mm/h}$$

För alla ovan nämnda lösningar fås en ojämn avvattning av ytan beroende på att sträckan som vattnet ska flytta sig och potentialgradienten skiljer sig över ytan. Genom att bygga en konstruktion med ett dräneringslager under växtbäddsmaterialet elimineras det.

1.3.21
Svar: K_v blir 19 mm/h vs 20 mm/h.

$$K_v = \frac{h}{\left(\frac{h_1}{K_1} + \frac{h_2}{K_2} + \frac{h_3}{K_3} o.s.v\right)} = \frac{750}{\left(\frac{200}{100} + \frac{550}{15}\right)} = \frac{750}{(2 + 36{,}7)} \approx 19 \text{ mm/h}$$

Vad blir den sammanvägda vertikala mättade hydrauliska konduktiviteten om du sedan dressar ut under några år ett sandlager uppe på som är 50 mm tjockt och har ett K_s på 200 mm/h?

$$K_v = \frac{800}{\left(\frac{50}{200} + \frac{200}{100} + \frac{550}{15}\right)} = \frac{800}{(0{,}25 + 2 + 36{,}7)} \approx 20 \text{ mm/h}$$

Som kan utläsas av resonemanget ovan om täckdikessystem, har terrassens hydrauliska konduktivitet större påverkan på den slutliga dräneringskapacitetsnivån än växtbädds-materialet. Att sörja för en hög hydraulisk konduktivitet i terrassen är av största vikt (McIntyre & Jacobsen, 2000).

En annan viktig aspekt med en terrass med hög genomsläpplighet kontra en som i princip är ogenomsläpplig är att den fortsätter sänka den mättade kapillärvattenzonen. Sänkning av den zonen fortsätter även efter det att dräneringsrören har sänkt grundvattennivån så den ligger i höjd med dräneringsrören. Detta blir extra viktigt när dräneringsrören ligger runt en halv meter eller grundare. För att ett täckdikessystem skall fungera där en växtjord är lagd på en terrass med låg genomsläpplighet, måste rören ligga på ett avstånd av maximalt 2 m och växtjorden vara minst 250 mm djup (McIntyre & Jakobsen, 2000).

1.4 Sannolikheter

1.4.1
Svar: Sannolikheten är 1/5 dvs 20 % i (a) och 80 % i (b), eftersom sannolikheten är (1-0,20).

1.4.2
Svar: Sannolikheten är 10 % i (a) och 90 % i (b).

1.4.3
Svar: Sannolikheten är 73 %. Ledtråd: $(1\text{-}0.1)^3$

1.4.4
Svar: Sannolikheten är 51 %. Ledtråd: $(1\text{-}0.2)^3$

1.4.5
Svar: sannolikheten är 14 %.

Sannolikheten *p* att ett 20 års regn kommer att inträffa under kommande året är
$P = 1/20 = 5$ %

Sannolikheten att det inte ska inträffa är (1-*p*) dvs 95 %. Sannolikheten för att det ska inträffa under de närmsta 3 åren är:

$1\text{-} (1\text{-}p)^n = 1\text{-}(1\text{-}0{,}05)^3 = 14{,}3$ %

1.4.6
Svar: Ett kort svar är att man i regel definierar risk som en sammansättning mellan sannolikhet och konsekvens. Om sannolikheten är lika men konsekvensen är större i fallet om motorvägen, så blir också bedömningen att risken där är betydligt större.

1.5 Avrinning från naturmark

1.5.1

Beteckningar

Avrinningsområde	N [km^2]
Vattenföring	Q [m^3/s]
Specifik vattenavrinning	q [l/s km^2]
Sjöyta, total inom N	S [km^2]
Sjöyta, närmast uppströms belägen sjö	S_k [km^2]
Återkomsttid	T [månader/år]
Korrigerad sjöprocent	P_k [%]

Se i kapitel 2.3 Naturmark.

Avrinningsområdet är mindre än 10 km^2

1. Givet: Avrinningsområde N = 0,53 km^2

2. Givet: Sjöyta, total inom N, S = 0,01 km^2

3. Givet: Korrigerad sjöyta, total inom N, S_k = 0,01 km^2

   Korrigerad sjöprocent $P_k = ((S + S_k)/N)\ 100 = 3{,}8$ %

4. Mq fås i figur 2.3 och ligger kring 16-18 l/s km^2, sätt ett medelvärde.

   Mq= 17 l/s·km^2

5. $MQ = Mq\ N\ 10^{-3} = 17 \cdot 0{,}53 \cdot 10^{-3} = 0{,}00901$ m^3/s
   MQ = 9,0 l/s

6 Diagram I Figur 2.4 ger 8,8 dvs.
MHQ/MQ = 8,8

vilket ger att $MHQ = 8{,}8 \cdot 0{,}0090\ 1 = 0{,}0793$ [m^3/s]

MHQ = 79 l/s

7 Justeringsfaktorer enligt figur 2.2 är 1,5

8 $MHQjust = MHQ \cdot 1{,}5 = 0{,}0793 \cdot 1{,}5 = 0{,}1190$ m^3/s
$MHQjust$ = 120 l/s

Enligt kap 2.3.4 beräkning av HHQ_{50}

För P_k 3,8 % används följande ekvation:

$HHQ_{50} = MHQjust \cdot 3 = 119 \cdot 3 = 357$ l/s

HHQ_{50} =360 l/s

Enligt kap 2.3.5 beräkning av *MLQ*
MLQ = 0

Enligt kap 2.3.6 beräkning av *LLQ*
LLQ = 0

Sammanfattningsvis blir vattenföringarna följande:

Typflöden under året	Svankällan [l/s]
HHQ_{50} (högsta högvattenföring)	360
MHQ (medeltal av högsta årliga vattenföring)	120
MQ (medelvattenföring)	9.0
MLQ (medellågvattenföring)	0
LLQ (lägsta lågvattenföring)	0

2. DAGVATTEN

2.1 Rationella metoden

2.1.1
Svar: **a)** 83 l/s, 5-årsregn
b) 62 l/s, 2-årsregn

Lösning:
Använd rationella metoden $q = A \cdot \varphi \cdot i$ (sid 92 i P104)

A = 3 ha
$\varphi = (0{,}5 \cdot 0{,}9 + 2{,}5 \cdot 0{,}1) / (0{,}5 + 2{,}5) = 0{,}23$
i för 5 år 120,3 l/s ha
i för 2 år är 89,2 l/s ha

a) $q = 3 \cdot 0{,}23 \cdot 120{,}3 = 83{,}0\ l/s = 83$ l/s

b) $q = 3 \cdot 0{,}23 \cdot 89{,}2 = 61.55\ l/s = 62$ l/s

2.1.2
Svar: Nej! För de kortvariga hög intensiva regnen (vilka är dimensionerande i en urban miljö) spelar det ingen roll var i Sverige vi är.

2.1.3
Svar: **a)** 305 l/s, 1-årsregn
b) 650 l/s, 10-årsregn

Använd rationella metoden $q = A \cdot \varphi \cdot i$

$\varphi = (1{,}5 \cdot 0{,}9 + 1{,}5 \cdot 0{,}8 + 3 \cdot 0{,}1) / 6 = 0{,}475$

a) Intensiteten är 106,9 l/s ha
$q = A\ \varphi\ i = 6 \cdot 0{,}475 \cdot 106{,}9 = 304{,}66\ l/s = 305$ l/s

b) Intensiteten är 228 l/s ha
$q = A\ \varphi\ i = 6 \cdot 0{,}475 \cdot 228 = 649{,}8\ l/s = 650$ l/s

2.1.4
Svar: Se i tabellen nedan:

Regnets varaktighet [min]	$V = (A \cdot \varphi \cdot i) \cdot t$	V [avrundat till hela m^3]
5	(6·0,475·313,5) 5·60/1000	268
10	(6·0,475·228) 10·60/1000	390
20	(6·0,475·151) 20·60/1000	516
60	(6·0,475·71,4) 60·60/1000	733

Lösning:
Mängden vatten som tillrinner är lika med flödet · varaktigheten på regnet (dvs $V = q \cdot t$). Flödet är angett i l/s och måste därför räknas om från 1 s till antal minuter och från liter till m^3. OBS! Detta är inte den verkliga volymen nederbörd som faller i och med att i blockregn räkans inte för- och efterregn med.

2.1.5.1
Svar: Använd rationella metoden....men räkna först ut hur stor del av arean som är verksam. Vattnets hastighet är 0,5 m/s, d.v.s. det verksamma området är sträckan som vattnet hinner transportera sig på 5 min.
Om regnets varaktighet är 5 min = 5 · 60 s, blir L = 150 m (0,5 m/s · 300 s).

5 min
$Q_{dim} = A \cdot \varphi \cdot i = 0{,}6 \cdot 0{,}9 \cdot 184{,}4 = 99{,}57$ *l/s, d.v.s. flödet är* ***100* l/s**.

100 *l/s* $\cdot\, 60 \cdot 5 / 1000 =$ ***30* m³**

10 min
$Q_{dim} = A \cdot \varphi \cdot i = 0{,}8 \cdot 0{,}9 \cdot 134{,}1 = 96{,}552$ *l/s, d.v.s. flödet är* ***97* l/s**.

97 *l/s* $\cdot\, 60 \cdot 10 / 1000 =$ ***58,2* m³**

2.1.5.2
Svar: Använd rationella metoden

12 timmar
$Q_{dim} = A \cdot \varphi \cdot i = 0{,}8 \cdot 0{,}95 \cdot 7{,}7 = 5{,}85$ *l/s, d.v.s. flödet är* ***5,9* l/s**.

$5{,}9$ *l/s* $\cdot\, 60 \cdot 60 \cdot 12 / 1000 = 254{,}88 =$ ***255* m³**

OBS! Jämför skillnader i volym och intensitet mellan 10 min och 12 h. 10 min har hög intensitet och liten volym medan 12 h har stor volym men lågt flöde.

2.1.5.3
Svar: Använd rationella metoden

12 timmar
$Q_{dim} = A \cdot \varphi \cdot i = 0{,}8 \cdot 0{,}95 \cdot 11{,}8 = 8{,}97$ *l/s, d.v.s. flödet är* ***9* l/s**.

9 *l/s* $\cdot\, 60 \cdot 60 \cdot 12 / 1000 = 388{,}8 =$ ***389* m³**

2.1.5.4
Svar: Använd rationella metoden....men räkna först ut hur stor del av arean som är verksam. Vattnets hastighet är 0,4 m/s (grövre asfalt), d.v.s. det verksamma området är sträckan som vattnet hinner transportera sig på 5 min. Om regnets varaktighet är 5 min = 5·60s, blir L = 120 m (0,4m/s·300s).

5 min
$Q_{dim} = A \cdot \varphi \cdot i = 0{,}48 \cdot 0{,}1 \cdot 184{,}4 = 8{,}85$ *l/s, d.v.s. flödet är* ***8,9* l/s**.

8,9 l/s · 60 · 5 / 1000 = 2,67 = ***2,7*** **m^3**

10 min
Q_{dim} *= A · φ ·i = 0,8 · 0,1 · 134,1 = 10,73 l/s, d.v.s. flödet är* ***10,7*** **l/s**.

10,7 l/s · 60 · 10 / 1000 = 6,42 = ***6,4*** **m^3**

OBS! Jämför skillnader i rinntid, volym och intensitet mellan uppgift 2.1.5.1.med tät asfalt och denna uppgift.

2.1.5.5
Svar: Använd rationella metoden

12 timmar
Q_{dim} *= A · φ · i = 0,8 · 0,2 · 11,8 = 1,88 l/s, d.v.s. flödet är* ***1,9*** **l/s**.

1,9 l/s · 60 · 60 · 12 / 1000 = 82,08 = ***82*** **m^3**

2.1.5.6
Svar: Använd rationella metoden.

120 min
Q_{dim} *= A · φ · I ·* f_c *= 0,125 · 0,7 · 43,1 · 1,2 = 4,53* l/s = **4,5 l/s**

4,5 l/s · 60 · 120 / 1000 · 1,3 = 42,12 m^3 = **42 m^3**

2.2 Infiltration

2.2.1
Svar: Minst 0,5 m bör det vara mellan markytan och högsta grundvattennivå.

2.2.2.1
Svar: Använd formeln för flödeshastighet på översilningsyta

$$v = \frac{d^{2/3} \times S^{1/2}}{n}$$

$$v = \frac{0{,}025^{2/3} \cdot 0{,}05^{1/2}}{0{,}15} = \frac{0{,}08 \cdot 0{,}22}{0{,}15} = 0{,}12 \text{ m/s}$$

Låg risk föreligger för erosion i.o.m. att hastigheten är under 1,5 m/s.

2.2.2.2
Svar: Använd formeln för flödeshastighet på översilningsyta.

$$v = \frac{d^{2/3} \cdot S^{1/2}}{n}$$

$$v = \frac{0{,}025^{2/3} \cdot 0{,}2^{1/2}}{0{,}15} = \frac{0{,}08 \cdot 0{,}45}{0{,}15} = 0{,}24 \text{ m/s}$$

2.2.2.3
Svar: Använd formeln för flödeshastighet på översilningsyta

$$v = \frac{d^{2/3} \cdot S^{1/2}}{n}$$

$$v = \frac{0{,}025^{2/3} \cdot 0{,}5^{1/2}}{0{,}15} = \frac{0{,}08 \cdot 0{,}71}{0{,}15} = 0{,}38 \text{ m/s}$$

2.2.3
Svar:
- *grundvattenytan ligger på 0,75* – grundvattenytan ligger på ett djup som möjliggör infiltration.
- *infiltrationsyta är dubbelt så stor som den bidragande täta ytan* – 20 p
- *humusjord på morän eller grovsiltbas, måttlig humushalt* – 5 p
- *mineraljord – siltig morän* – 5 p
- *lutning 1,5 %* - 5 p
- *etablerad gräsyta* – 3 p
- *hårt slitage – 0 p*

Total summa: 38 poäng
Allt dagvatten kan infiltreras mot grönytan.

2.2.4
Svar:
- *infiltrationsyta 60 % av den bidragande täta ytan* – 5 p
- *humusjord på sandbas* – 7 p
- *mineraljord – sand* – 7 p
- *lutning 8 %* - 3 p
- *nyanlagd gräsyta* – 0 p
- *hårt slitage – 0 p*

Total summa: 22 poäng

Någon mer åtgärd för att omhänderta dagvattnet är att rekommendera. Risken är stor med tanke på det höga slitaget att ytan inte infiltrerar all nederbörd. Med tanke på att terrassen består av sand kan det räcka med någon form av konstruktion som tar hand om överskottsvattnet och tar hand om det genom att perkolera ner det i terrassen.

2.3 Dimensionering biofilter

2.3.1
Använd dig av formlerna i formellsamlingen.

2.3.1.1
Svar: Använd dig av formel för maximal tömningsflöde och genomsnittlig tömningshastighet..

$$v = K_s \cdot \frac{h_{\max} + d}{d}$$

$$v = 0{,}05 \cdot \frac{0{,}2 + 0{,}5}{0{,}5}$$

$$v = 0{,}07 m/h$$

$$Q_{\max} = K_s \cdot A \cdot \frac{h_{\max} + d}{d}$$

$$Q_{\max} = 0{,}05 \cdot 10 \cdot \frac{0{,}2 + 0{,}5}{0{,}5}$$

$$Q_{\max} = 0{,}7 m^3/h$$

$$q_{ut} = K_s \cdot A \cdot \frac{0{,}5 \cdot h_{\max} + d}{d}$$

$$q_{ut} = 0{,}05 \cdot 10 \cdot \frac{0{,}5 \cdot 0{,}2 + 0{,}5}{0{,}5}$$

$$q_{ut} = 0{,}6 m^3/h$$

2.3.1.2
Svar: Använd dig av formel för maximal infiltrationshastighet.

$$v = K_s \cdot \frac{h_{\max} + d}{d}$$

$$v = 0{,}05 \cdot \frac{0{,}3 + 0{,}5}{0{,}5}$$

$$v = 0{,}1 m/h$$

$$Q_{\max} = K_s \cdot A \cdot \frac{h_{\max} + d}{d}$$

$$Q_{\max} = 0{,}05 \cdot 10 \cdot \frac{0{,}3 + 0{,}5}{0{,}5}$$

$$Q_{\max} = 0{,}8 m^3 / h$$

$$q_{ut} = K_s \cdot A \cdot \frac{0{,}5 \cdot h_{\max} + d}{d}$$

$$q_{ut} = 0{,}05 \cdot 10 \cdot \frac{0{,}5 \cdot 0{,}3 + 0{,}5}{0{,}5}$$

$$q_{ut} = 0{,}65 m^3 / h$$

2.3.1.3
Svar:

$$V_{erf} = (V_{in} - V_{ut})_{max}$$

$$V_{in} = f_c \cdot i \cdot A_{red} \cdot 0{,}06 \cdot t_r$$

$$V_{in} = 1{,}2 \cdot 228 \cdot 0{,}9 \cdot 0{,}0225 \cdot 0{,}06 \cdot 10$$

$$V_{in} = 3{,}324 \mathrm{m}^3$$

$V_{ut} = (\frac{A_{mag}}{2} \cdot K + q_{ut}) \cdot 60 \cdot t_r$ exinfiltration tas bort iom att vi inte har uppgifter om detta i uppgiften

$$V_{ut} = q_{ut} \cdot 60 \cdot t_r$$

0,65m^3/h = 0,00018 m^3/s

$$V_{ut} = 0{,}00018 \cdot 60 \cdot 10$$

$$V_{ut} = 0{,}108 \mathrm{m}^3$$

$$V_{erf} = (V_{in} - V_{ut})_{max}$$

$$V_{erf} = (3{,}324 - 0{,}108)_{max}$$

$V_{erf} = 3{,}2m^3$

$10m^2 \times 0{,}3\ m = 3\mathrm{m}^3$
Fattas 0,2 m^3 för att hela nederbörden får en regn med 10 minuters varaktighet och med en återkomsttid på 10 år skall få plats eller infiltrerar i regnbädden.

2.3.1.4
Svar:

$$\frac{10}{225} = 0{,}044 = 4{,}4\ \%$$

Regnbäddens yta är 4,4 % av avrinningsområdet.

2.3.1.5
Svar:

$$\frac{V_{erf}}{A_{red}} = \left(f_c \times i \times 0{,}06 \times t_r - \frac{\left(A_{mag} \times K + q_{ut}\right)}{A_{red} \times 2} \times 60 \times t_r \right)_{\max}$$

0,00018 m^3/s = 0,18 l/s

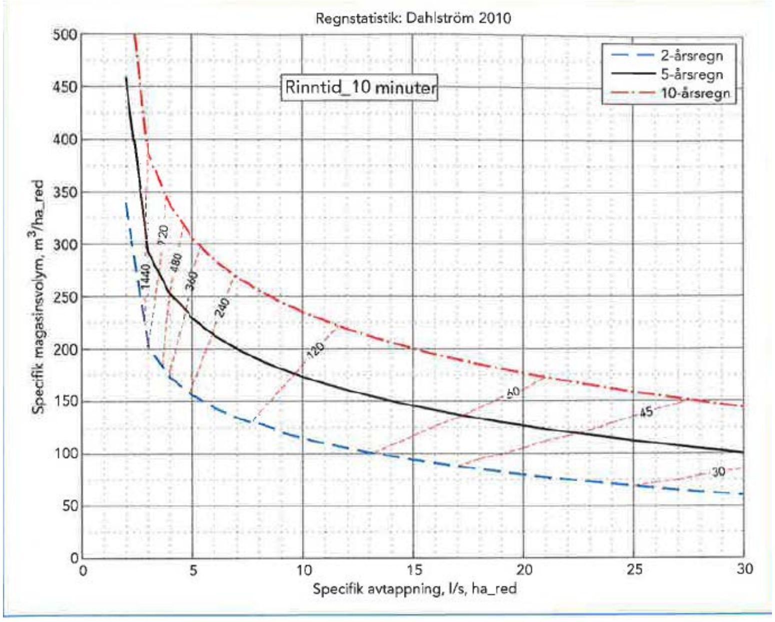
A_{red} och ha_{red} två olika uttryck för samma sak

$$\frac{0{,}18 l/s}{0{,}02025 A_{red}} = 8{,}89 l/s \cdot A_{red}$$

$$\frac{V_{erf}}{A_{red}} = l/s \cdot A_{red}$$

Enligt figuren nedan blir ett knappt 120 minuters regn dimensionerande och det kräver en specifik magasinsvolym på ca 125 m^3/A_{red}. För regnbädden i uppgiften krävs härmed en magasinvolym på

125m^3/A_{red} x 0,02025 A_{red} = 2,53 m^3



Figur 6.13 *Diagram for dimensionering av utjämningsmagasin med hänsynstagande till rinntid (= 10 minuter). Kurvorna baserar sig på intensitets-varaktighetssamband enl. Dahlström (2010) och ekvation 8-2. Sifferangivelser vid snedställda tunna linjer anger den regnvaraktighet (minuter), som varit dimensionerande.*

2.4 Kanalströmning

2.4.1
Svar: **a)** Personerna har mätt ett äldre vatten vid utloppet som inte kan relateras till det nytagna provet vid inloppet.
b) Strömningen är subkritisk.

Lösning för a)
Jämför våghastighet och strömhastighet.
Q_m = 20 l/s
A = 10 m^2
dvs en medelhastighet på vattnet på 2 mm/s

Den teoretiska tiden för vattnet att passera sjön beräknas enligt:
$t_n = L/U_m$ = 80/0,002 = 40 000 s = 11 timmar

Den teoretiska (eller nominella) tiden för ett vattenpaket att passera är alltså 11 h.

Våghastigheten C genom sjön är:
$$C = \sqrt{gh} = \sqrt{10 \cdot 1} = 3{,}1 \text{ m/s}$$

Den teoretiska tiden för vågen att passera sjön beräknas enligt:
$t_n = L/U_m$ = 80/3,1 = 25 s

Flödespulsen, genererad av regnet, passerar på 25 s.

Lösning för b)
Strömnings tillståndet kan mätas genom Foudes tal F:

$$F = \frac{U}{C} = \frac{U}{\sqrt{gh}} = \frac{0{,}002}{3{,}1} = 0{,}0006 < 1$$

Froudes tal F <1 vilket visar att det är subkritisk strömning.

2.4.2
Svar: Flödet är 108 m^3/s

Lösning:

Om man utgår från Mannings formel så ser man vad vi vet respektive vad vi inte vet:

$Q^2 = S\, M^2\, A^2\, R^{4/3}$

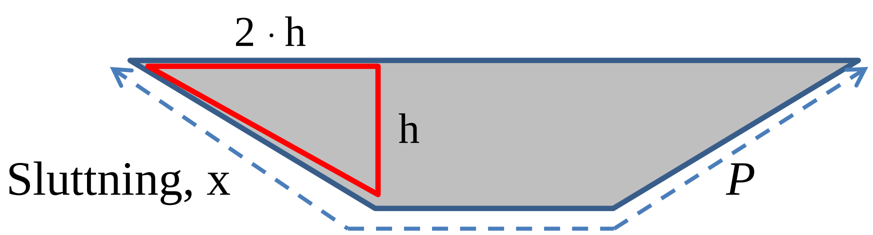
Vi vet *M*, *S* och *B* respektive djupet *h*. Då ska vi räkna ut *A* och *R*.

$A = B \cdot h + 2 \cdot h \cdot h = 132\ \mathrm{m}^2$

R är den hydrauliska radien och beräknas genom (se i formelsamlingen):

$R = A/P$

För att räkna ut *P* (streckad linje) måste vi beräkna sluttningen x (botten *B* är given liksom att släntlutningen är 1:2)



Så

P = x + B + x

Pytagoras sats ger

$(x)^2 = (2h)^2 + (h)^2$

$x = \sqrt{(2h)^2 + (h)^2}$

x = 13,4 m

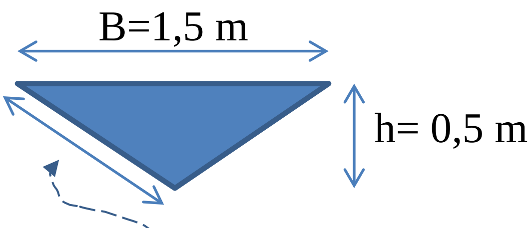
P = 13,4 + 10 + 13,4 = 36,8 m

$R = A/P$ = 132/36,8 = 3,58

$Q^2 = S\,M^2\,A^2\,R^{4/3} = 1 \cdot 10^{-4} \cdot 35^2 \cdot 132^2 \cdot 3{,}58^{4/3}$ = 11 706

Q = 108 m^3/s

2.4.3
Svar: Q = 59 l/s



Lösning:

$Q^2 = S\,M^2\,A^2\,R^{4/3}$

$Q = \sqrt{SM^2A^2R^{4/3}}$

S =1/500 = 0,002 = $2 \cdot 10^{-3}$

$A = 0{,}5 \cdot (1{,}5/2)$ = 0,375 m^2

$x^2 = (1{,}5/2)^2 + 0{,}5^2$

x = 0,901 m

$P = x + x = 1{,}803$

$R = A/P$ = 0,375 /(0,375+0,375) = 0,208

Q = 0,0589 m^3/s = 58,9 l/s

2.4.4
Svar: Mannings tal är lika med 15

Lösning:

Utgå från Mannings formel

$Q^2 = S\,M^2\,A^2\,R^{4/3}$

Bryt ut M

$M = \sqrt{Q^2/SA^2R^{4/3}}$

Sätt in värdena

$M = \sqrt{0{,}095^2/(0{,}005 \cdot 0{,}2^2 \cdot 0{,}3^{\frac{4}{3}})}$

$M = 15$

2.2.5
Svar: 3 %

Lösning:

$Q = 5$ m^3/s
$h = 0{,}6$ m
$M = 60$

$Q^2 = S\,M^2\,A^2\,R^{4/3}$
$S = Q^2/(\,M^2\,A^2\,R^{4/3})$

$R = A/P$
$A = (0{,}6\cdot1) + (0{,}6\cdot0{,}6)\cdot2/2 = 0{,}96$ m^2
$P = B$ + 2hyp, då hyp är hypotenusan
$h = 0{,}6\cdot\sqrt{2} = 0{,}848$
$P = 1+2\cdot0{,}848 = 2{,}70$
$R = A/P = 0{,}96/2{,}70 = 0{,}356$

$S = 5^2/(\,60^2\,0{,}96^2\,(0{,}356)^{4/3}) = 0{,}03 = 3$ %

2.4.6
Svar: $Q = 1{,}5$ m^3/s

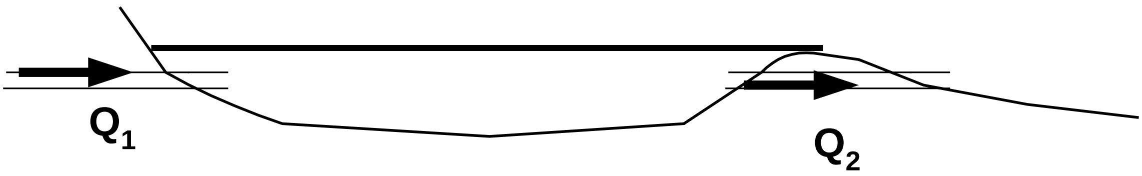
2.4.7
Svar: a) Flödet 10,6 m^3/s
b) Subkritisk strömning

S = 1 ‰
M = 60
P = 2,83·2+1 = 6,66
$R = A/P$ = (4+2)/6,66 = 0,901
$Q^2 = S\, M^2 A^2 R^{4/3}$
Q = 10,6 m^3/s

$U = Q/C$ = $U/\sqrt{gy}$ = 1,7/$\sqrt{2g}$ = 0,4 < 1

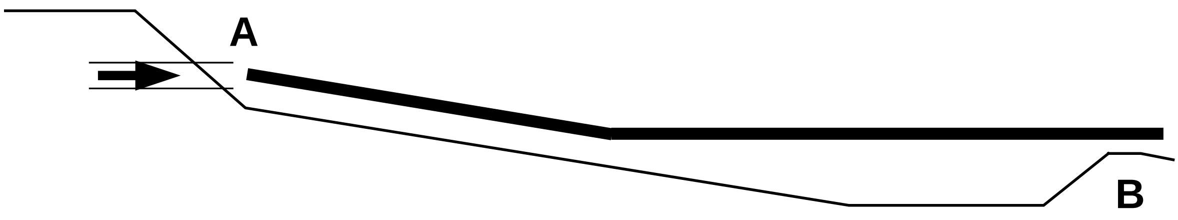
2.4.8
Svar: Q = 7,0 m^3/s

2.4.9
Svar:



Eftersom Q_2 är mindre än Q_1 så måste en del av vattnet gå över krönet.

2.4.10
Svar:



2.4.11
Svar: I och med att tvärsnittsytan minskar så får vi enligt energiekvationen en ökad hastighet och en lägre vattennivå just över klacken.

2.4.12
Svar: **a)** Lutningen för det meandrande vattendraget är 1,1 ‰ och för det raka vattendraget 1,7 ‰.

Lutningen S = 5,0/4700 = 0,0011 = 1,1 ‰ (meandrande vattendrag)
Lutningen S = 5,0/3000 = 0,0017 = 1,7 ‰ (rakt vattendrag)

b)
Svar: Medelhastigheten för det meandrande vattendraget är 0,26 m/s och för det raka vattendraget 0,41 m/s.

$$Q = \sqrt{SM^2 A^2 R^{4/3}} = \sqrt{0{,}0011 \cdot 20^2 \cdot 1{,}0^2 \cdot 0{,}25^{4/3}} = 0{,}26 m^3/s$$

ger att
$V = Q/A$ = 0,26/1 = 0,26 m/s (meandrande vattendrag)

$$Q = \sqrt{SM^2 A^2 R^{4/3}} = \sqrt{0{,}0017 \cdot 25^2 \cdot 1{,}0^2 \cdot 0{,}25^{4/3}} = 0{,}41 m^3/s$$

ger att
$V = Q/A$ = 0,41/1 = 0,41 m/s (rakt vattendrag)

2.4.13 [överkurs]

Svar: **a)** Vid flödet 1000 l/s har kanalen ett vattendjup på 1,26 m. **b)** Vid ett Mannings tal på 15 $m^{1/3}/s$ så kommer vattenytan att stiga till 1.68 m, vilket betyder att kanalen kommer att svämma över. Svar: nej.

2.4.14 [överkurs]

Svar: **a)** Q = 11,3m^3/s

Svar **b)** djupet är kring 2,7 m

I uppgift b får man ställa upp en ekvation där h är obekant och sen räkna för hand eller m.h.a. ett program. En lösning kan se ut så här:

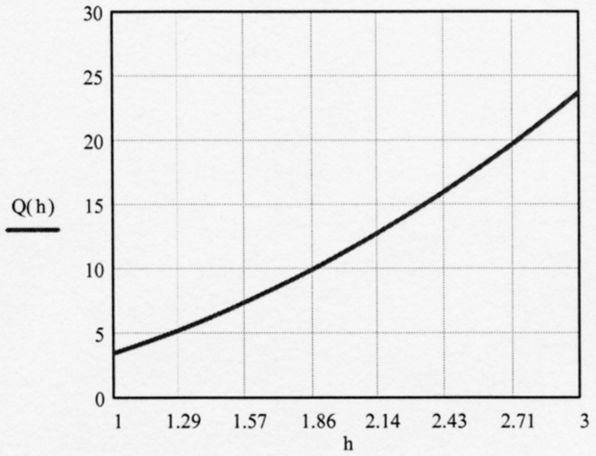
$h := 1, 1.1 .. 3$

$lut := 0.0005$

$M := 30$

$B := 5$

$$Q(h) := \sqrt{lut \cdot M^2 \cdot (B \cdot h + (h \cdot h))^2 \cdot \left[\frac{\left(B \cdot h + h^2\right)}{2 \cdot \left(\sqrt{h^2 + h^2}\right) + B}\right]^{\frac{4}{3}}}$$



2.5 Flödesmätning

2.5.1

Svar: 380 l/s

Lösning:

Hastigheten är 5/14 dvs 0,385 m/s
Om tvärsnittsarean då är 1 m^2 så blir flödet 0,384 m^3/s eller 384 l/s

2.5.2

Svar: Hastigheten i ån är 0,31 m/s och flödet 220 l/s.

Lösning:

T_{medel} = (46+50+51)/3 = 49 s

A= 0,55·1,3 = 0,715 m^2

Hastigheten $U = L/T_{medel}$ = 15/49 = 0,306 m/s

$Q = U{\cdot}A$ = 0,219 m^3/s

2.5.3
a) svar kan inte ges då h måste vara minst 3 cm för att man ska kunna använda formeln för rektangulärt skibord i formelsamlingen.

b) Svar: 4,5 l/s

Lösning: Använd formeln för rektangulärt skibord med sidokontraktion.

$$Q = Ce\left(\frac{2}{3}\right)\sqrt{2g}\,(h)^{1.5}\,be$$

Ce är cirka 0,59 då h/p är 0,03/0,3=0,1; och b/B = 0,50/2,0=0,25
Tabell ger att k_b= 0,0024

$be = b + k_b$= 0,50+0,0024 = 0,50

Insatt i ekvationen ovan ger att Q = 0,0045 m^3/s

2.5.4
Svar: Flödet är 19 l/s.

$$Q = 0.59\left(\frac{2}{3}\right)\sqrt{2g}\,0.4027(0.09)^{1.5} = 0.0189$$

2.5.5

Svar: Flödet är 4,3 l/s

Lösning:

$$Q = 0.578\left(\frac{8}{15}\right)\tan\frac{90}{2}\sqrt{2g}\,(0.10)^{2.5} = 0.0043$$

2.5.6

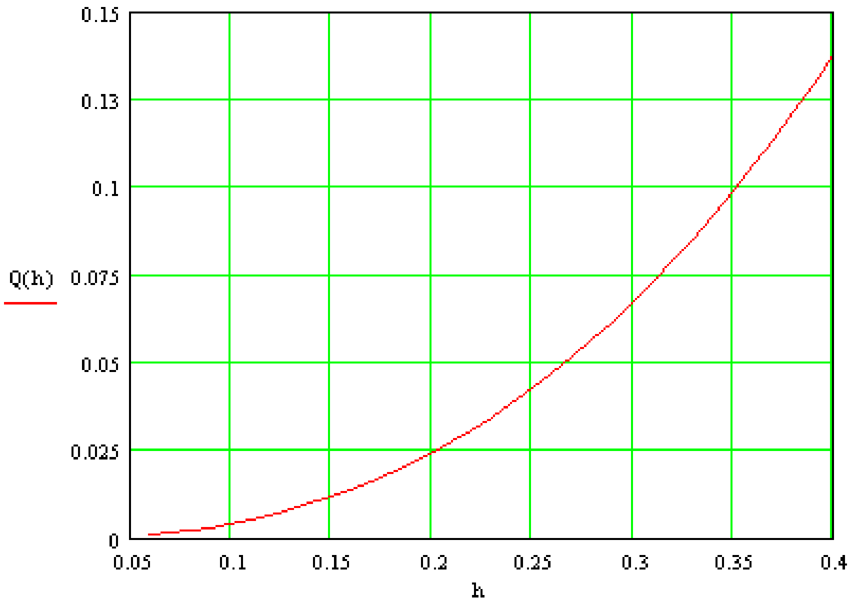
Svar: Flödet är 1,2 l/s

Lösning:

$$Q = 0.578\left(\frac{8}{15}\right)\tan\frac{90}{2}\sqrt{2g}\,(0.06)^{2.5} = 0.0012$$

2.5.7

Svar: Se figur, skala i m^3/s respektive m.



2.5.8

Svar: 250 l/s

Ledning: $Q = V \cdot A = (L/T) \cdot A$

2.6 Rörströmning

2.6.1

Svar: **a)** 6 l/s
b) 0,006 m^3/s
c) 520 000 l/dygn (518 400 l/dygn)

Ledning: $Q = V/t$.

2.6.2
Svar: **a)** 4 300 m^3 (4 320 m^3)
b) samma (det är ju samma flöde).

2.6.3
Svar: 10 000 m^3 (10 368 m^3)

Ledning: tiden är 3·24·3 600 *s*, och $Q = V/t$.

2.6.4
Svar: 2,0 l/s.

2.6.5
Svar: **a)** flödet är 5 l/s
b) medelhastigheten är 0,25 m/s

Ledning: $Q = V/t = A \cdot v$.

2.6.6

Svar: **a)** Eftersom diket klarar 15 l/s och flödet från regnet ligger kring 2 l/s så är det ingen fara.
b) Diket tar emot 24 m^3.

Lösning:
$Q = (A \cdot h)/t = (0{,}012 \cdot 2000)/(3 \cdot 3600) = 0{,}0022\ m^3/s$
$V = A \cdot h = 0{,}012 \cdot 2000 = 24\ m^3$

2.6.7
Svar: När vattnet går från A till B så ökar vattnets hastighet och med det så minskar även trycket.

Energiekvationen ger oss:

$$\left(z+\frac{p}{\rho g}+\alpha\frac{U^2}{2g}\right)_A=\left(z+\frac{p}{\rho g}+\alpha\frac{U^2}{2g}\right)_B+h_t+h_f$$

Efter en omgång förenklingar fås sambandet

$$\left(\frac{p}{\rho g}+\alpha\frac{U^2}{2g}\right)_A=\left(\frac{p}{\rho g}+\alpha\frac{U^2}{2g}\right)_B+h_t$$

Enligt kontinuitetsprincipen kan inte vatten försvinna, vilket gör att flödet är samma genom A som B. Och eftersom flödet $Q = A \cdot U$ så följer att $U = Q/A$. Vad vi direkt kan säga då är att U_A är mindre än U_B eftersom tvärsnittsarean minskar. Vidare är tilläggsförlusten större än 0. För enkelhets skull kan vi ersätta trycktermen med en tryckhöjd H och får då:

$$\left(H_A+\alpha\frac{U^2}{2g}\right)_A=\left(H_B+\alpha\frac{U^2}{2g}\right)_B+h_t$$

eller

$$\left(H_A-H_B\right)=\left(\alpha\frac{U_B^2}{2g}-\alpha\frac{U_A^2}{2g}\right)+h_t$$

2.6.8

Svar: Ledningen måste minst ha lutningen 0,6 % eller 6 ‰.

2.6.9

Svar: Det dimensionerande flödet är cirka 170 l/s.

Lösning:

Om fyllnadsgraden *h/D* är givet 80 %, så blir kvoten Q/Q_{fylld} lika med 88 %. Det sökta värdet Q = 0,88·190 l/s = 167 l/s

2.6.10

Svar: Det dimensionerande flödet är cirka 123 l/s.

Lösning:

En fylld sektion ger flödet 140 l/s (då lutningen är 6 ‰ och diametern 400 mm) och om fyllnadsgraden *h/D* är givet 80%, så blir kvoten Q/Q_{fylld} lika med 88 %.

Detta ger att Q = 0,88·140 l/s = 123 l/s

2.6.11
Svar: h = 860 mm

Lösning:
k = 1,0 mm
S = 1 ‰
$Ø$ = 1800 mm
Q = 1,4 m^3/s

Colebrook ger att
S = 1 ‰
$Ø$ = 1800 mm
Q = 3600 m^3/s

q/q_{fylld} = 1400/3600 = 0,389

ger att
h/d = 48 %

då d = 1800 mm fås höjden h till 0,48·1800 = 864 mm

2.6.12
Svar: Ledning ϕ 600 mm

Lösning:
k = 1,0 mm
Q = 0,2 m^3/s
S = 0,5-4 ‰

Q_{mini} = 0,06 m^3/s

Ø	S	hastighet
200		
300	< 30 ‰	
400	6 ‰	
500	2.6 ‰	1 m/s
600	1 ‰	0,7 m/s
800	kring 0,2 ‰	

2.6.13
Svar: Q = 700 l/s

2.6.14

Med Colebrook:
a) Svar: $h_f = 0$
Flödet $q = 0{,}5$ l/s finns inte med i diagrammet, förlusten är försumbar.

b) Svar: $h_f = 1{,}06$ m
$q = 50$ l/s och diametern 400 mm ger 0,53 ‰, $h_f = 2000 \cdot 0{,}53 \cdot 10^{-3} = 1{,}06$ m

c) Svar: $h_f = 100$ m
$q = 500$ l/s och diametern 400 mm ger 50 ‰, $h_f = 2000 \cdot 50 \cdot 10^{-3} = 100$ m

[**överkurs] Med Moody:**
a) Svar: $h_f = 0.22$ mm
$Re = (0{,}004 \cdot 0{,}4)/1.308 \cdot 10^{-6} = 1200$
$k/D = 1 \cdot 10^{-3}/0.4 = 0{,}0025$

f fås ur moodys diagram, $F = 0.055$
$hf = 0{,}055 \cdot (2000/0{,}4) \cdot (4\ 10^{-3})^2 / (2\ g) = 0{,}00022$ m

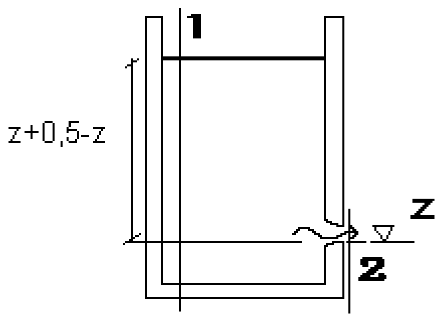
b) Svar: $h_f = 1{,}06$ m
$R = 120 \cdot 10^3$
$F = 0{,}026$
$h_f = 0{,}026 \cdot (2000/0{,}4) \cdot (0{,}4)^2 / (2\ g) = 1.06$

c) Svar: $h_f = 102$

2.6.15 [överkurs]
Svar: Hastigheten $U = \sqrt{g}$ [m/s]

Lösning: Lös problemet med energiekvationen.

$$\left(z + \frac{p}{\rho g} + \alpha \frac{U^2}{2g}\right)_1 = \left(z + \frac{p}{\rho g} + \alpha \frac{U^2}{2g}\right)_2 + h_t + h_f$$



Anta att tilläggs- och friktionsförlusterna är =0.

Vi kan vidare anta att vattenhastigheten i behållaren är liten i punkt 1.

Eftersom trycket vid hålet där strålen går ut är lika med atmosfärstrycket, gör att ekvationen kan skrivas:

$$\left(\frac{p}{\rho g}\right)_1 = \left(\alpha\frac{U^2}{2g}\right)_2$$, där tryckhöjden är lika med (z+0,5) -z

Eftersom den vänstra termen är lika med tryckhöjden (i nivå z), blir det:

$$\left(\alpha\frac{U^2}{2g}\right)_2 = 0{,}5$$

och om man sätter alfa lika med 1, dvs att det inte är någon ojämn hastighetsfördelning, så blir hastigheten:

$$U = \sqrt{g} \qquad \text{[m/s]}$$

2.6.16 [överkurs]
Svar: Nivån ligger på 5,26 m

Lösning: Lös problemet med energiekvationen och allmänna friktionsformeln. Ta sen reda på friktionskoefficienten genom Moodys diagram.

$$\left(z+\frac{p}{\rho g}+\alpha\frac{U^2}{2g}\right)_1 = \left(z+\frac{p}{\rho g}+\alpha\frac{U^2}{2g}\right)_2 + h_t + h_f \qquad (1)$$

$$h_f = f\,\frac{LU^2}{D2g} \qquad (2)$$

ekv. 2 i ekv.1 ger:

$$\left(z+\frac{p}{\rho g}+\alpha\frac{U^2}{2g}\right)_1 = \left(z+\frac{p}{\rho g}+\alpha\frac{U^2}{2g}\right)_2 + h_t + f\,\frac{LU^2}{D2g}$$

Efter ett par förenklingar kvarstår:

$$\left(z+\frac{p}{\rho g}\right) = z + \left(\frac{U^2}{2g}\right)_2 + f\,\frac{LU^2}{D2g}$$, där kvoten p/(ρg) är lika med (H-z)

$$\left(z+(H-z)\right)=z+\left(\frac{U^2}{2g}\right)_2+f\,\frac{LU^2}{D2g}$$

Hastigheten blir då:

$$U=\frac{Q}{A}=\frac{0,01}{(0,1/2)^2\pi}=1,27\quad [\text{m/s}]$$

Beräkna Reynolds tal (*Re*), och anta en vattentemperatur på +10 grader och beräkna den kinomatiska viskositeten:

$$\text{Re}=\frac{UD}{\nu}=\frac{1,27*0,1}{1,3*10^{-6}}=1*10^5$$

$$\frac{k}{D}=\frac{0,1*10^{-3}}{0,1}=1*10^{-3}$$

ur Moodys diagram fås då att *f* = 0,022

$$\left(H\right)=\left(\frac{U^2}{2g}\right)_2+f\,\frac{LU^2}{D2g}=\frac{1,27^2}{2g}+0,022\frac{10*(1,27)^2}{0,1*2g}=5,26\quad [\text{m}]$$

2.6.17 [överkurs]
Svar: h_f = 1470m

Lösning:
k = 0,5 mm
L = 700 000 m
Ø = 2000 mm
Q = 0,350·2·10^6 = 700 000 m^3/d = 8,1 m^3/s

S = 2,1 ‰
h_f = 2,1·10^{-3} ·700 000 = 1470 m

2.6.18 [överkurs]
Svar: **a)** ϕ = 1250 mm
b) *Q* = 1,4 m3/s

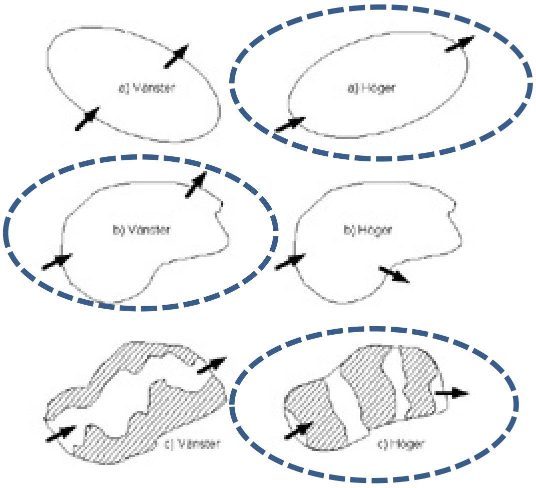
2.6.19 [överkurs]

Svar: DN600

3. Dammhydraulik och rening

3.1 Dammhydraulik

3.1.1



3.1.2

Svar**: a)** den effektiva volymen är 2100 m^3.
b) den effektiva volymskvoten ligger kring 70 % vilket är i linje med det värde man får med Thackstones ekvation (72 %). Detta är rimligt eftersom en böjd damm ska ge liknande värde som en avlång damm.

Lösning för a):
Samband för dammhydraulik finns i formelsamlingen.

t_{mean} = 58·3600 s

$t_n = V_{tot}/Q_{medel}$

$V_{eff} = (t_{mean}/t_n) \cdot V_{tot}$

Lösning för b):
Samband för dammhydraulik finns i formelsamlingen.

$e_1 = t_{mean}/t_n$