



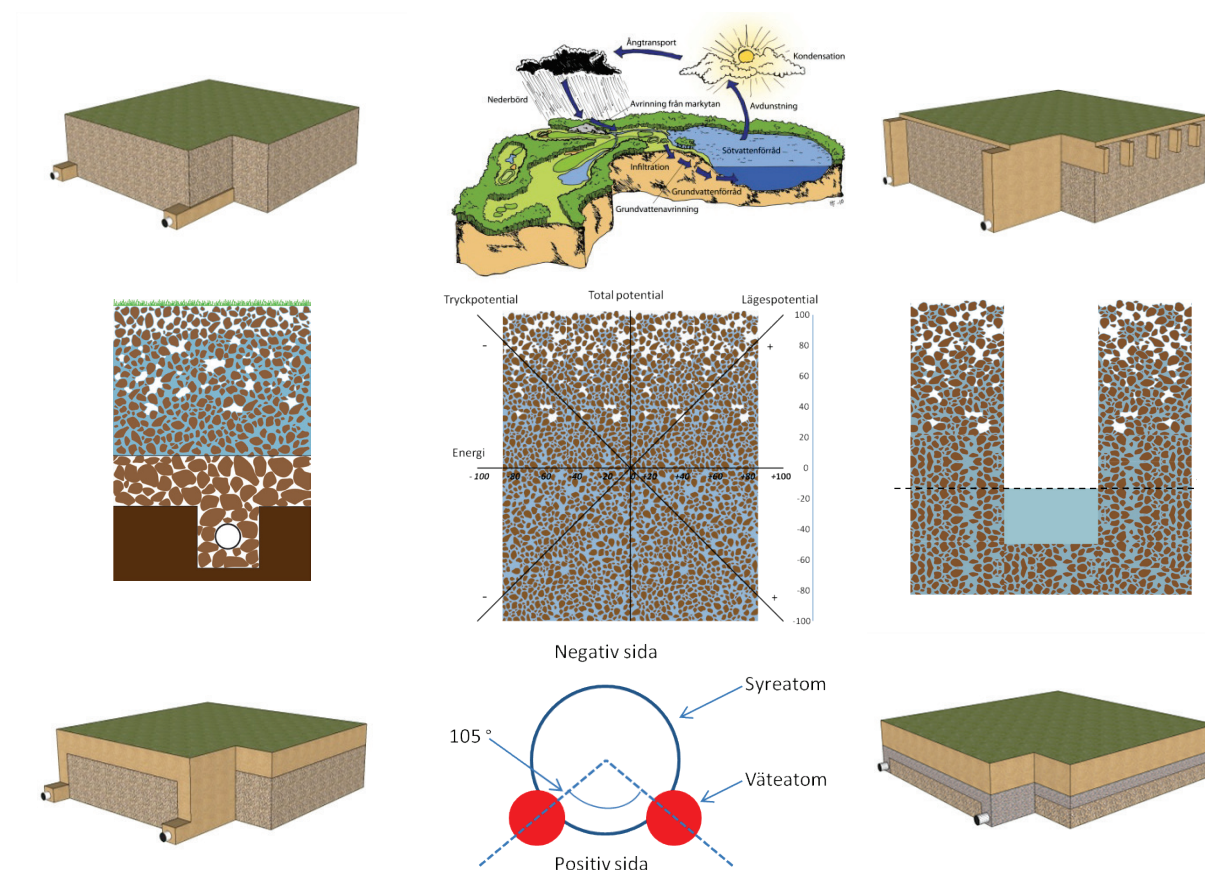
# Växtbäddar och avvattningslösningar för sportgräsytor

– påverkan på dräneringsintensitet och förhållandet mellan luft och vatten i jorden

## Rootzones and drainage solutions for sports lawns

- the impact on drainage intensity and the ratio between air and water in the soil

*Kent Fridell*



## **Växtbäddar och avvattningslösningar för sportgräsytor**

– påverkan på dräneringsintensitet och förhållandet mellan luft och vatten i jorden

### **Rootzones and drainage solutions for sports lawns**

– the impact on drainage intensity and the ratio between air and water in the soil

*Kent Fridell*

**Handledare:** Eva-Lou Gustafsson, SLU, Område för landskapsutveckling

**Biträdande handledare:** Kaj Rolf, SLU, Område för landskapsutveckling

**Examinator:** Jesper Persson, SLU, Område för landskapsutveckling

**Omfattning:** 30 hp

**Nivå och fördjupning:** *Avancerad D*

**Kurstitel:** Individuell kurs, självständigt arbete i teknologi D

**Kurskod:** IN0722 (Teknologi D)

**Examen:** Magisterexamen

**Ämne:** Teknologi

**Utgivningsort:** Alnarp

**Utgivningsmånad och -år:** juni 2011

**Omslagsbild:** Hanna Fors & Kent Fridell

**Serienamn:** Självständigt arbete vid LTJ-fakulteten, SLU

**Elektronisk publicering:** <http://stud.epsilon.slu.se>

**Nyckelord:** Avvattning, dränering, vattenpotential, golf, fotboll, sportgräsytor, fairway, växtbäddar, infiltration, hydraulisk konduktivitet, dagvatten

## **FÖRORD**

Detta självständiga arbete med huvudtiteln ”Växtbäddar och avvattningslösningar för sportgräsytor” har skrivits i kursen Individuell kurs, självständigt arbete i teknologi D . Det omfattar 30 hp på D-nivå i ämnet Teknologi och har genomförts på område landskapsutveckling vid Sveriges lantbruksuniversitet (SLU) i Alnarp.

Jag vill tacka Kungliga Drottningholms Golfklubb och då särskilt course manager Erik Dahl för all hjälp med material till fallstudien samt synpunkter på arbetet. Vill även rikta ett stort tack till bankonsulent Kim Sintorn på Svenska Golf förbundet, golfbanearkitekt Johan Benestam och min vän Bert Sandell. De har varit till stor nytta i mitt arbete att hitta information om avvattning och vatten i jorden. Under arbetets gång har de alltid ställt upp på att svara på frågor när jag ringt. Ett jättestort tack riktar jag till min handledare Eva-Lou Gustafsson och biträdande handledare Kaj Rolf på området för landskapsutveckling vid SLU. De har varit till mycket stor hjälp under arbetets gång och gett mig konstruktiv feedback på arbetet. Mina vänner och då särskilt Horatiu som visat sitt stöd och tålamod under arbetets gång, vill jag ge ett speciellt tack till.

*Kent Fridell*

Alnarp 2011-05-06

## SAMMANFATTNING

Kraven på gräsytor kvalité inom sportsektorn har under de senaste decennierna ökat kraftigt, exempelvis hur snabbt ytorna blir spelbara efter regn, hur de klarar av att motstå svampangrepp och att överleva vintern utan skador. Det har visat sig att funktionen på avvattningen har stor betydelse för att kunna svara upp på dessa högre kvalitetskrav. Inom sportsektorn  r målet med avvattningsystemet just att  ka markens lämplighet för rekreation, vilket innebär en gräsyta med hög spelkvalité. Detta uppnås genom att snabbt leda bort överskottsvatten så att marken  terf r förmågan att klara trafikbelastning samt genom att skapa en växtbädd med en f r gräset gynnsam fördelning mellan luft- och vattenfyllda porer. Vilken förmåga avvattningsystemet f r i form av intensitet, kapacitet och hur mycket luft/vatten som finns i växtbädden, kan i praktiken kan vara svårt att säga utan att ha först gjort beräkningar. Det som komplicerar det hela  r att det  r många faktorer som samverkar och att dessa faktorer ofta förändras både vertikalt, horisontellt och med tiden i en växtbädd, i och med att porsystemets utseende i jorden lätt förändras. Därför är det viktigt att förstå hur de grundläggande markfysikaliska lagarna påverkar vattnet i jorden. I detta arbete presenteras därför en bred och djup litteraturstudie över vattnet i växtbädden och vad som påverkar det.

Vilken mekanisk energimängd vattnet har i förhållande till sin omgivning, är det som styr i vilken riktning som vatten kommer att förflytta sig och med vilken hastighet samt hur mycket vatten som hålls kvar i jordprofilen. I och med att vattnet strömmar i ett porsystem skapas en friktionsförlust. Porsystemets utseende inverkar på friktionsf rlustens storlek och därmed hastigheten på flödet. Porsystemet skapar  cks  en kvarhållande kraft vilken inverkar på mängden vatten som blir kvar i jorden. Hur stor denna kraft blir styrs av porernas storlek och därmed av utseendet på porsystemet, vilket i sin tur styrs av jordens struktur och textur. Därmed kommer valet av jord och skötselregim, i stor utsträckning att påverka mängden vatten och luft som hålls kvar i växtbädden samt vilken flödeshastighet på vattnet som kan skapas.

Målet med fallstudien har varit att undersöka med vilken intensitet täckdikning, spår-/slitsdränering och sandkapping kan avvattna en sportgräsyta och vilka konsekvenser de kommer att ha på förhållandet luft/vatten i profilen. Två olika scenarier har jämförts. I scenario 1 faller det dimensionerande regnet n r grundvattenytan ligger på 700 mm djup och i scenario 2 har växtbäddens buffrande förmågan tagits bort och därmed inträffar regnet n r bädden  r vattenmättad. Beräkningar har gjorts utifrån förutsättningarna som fanns på Kungliga Drottningholms Golfklubb.

I scenario 1 klarar alla avvattningslösningar att ta hand om det dimensionerande regnet på 32,5 mm, förutsatt att regnets varaktighet  r 24 timmar och grundvattenytan ligger på ett djup av 700 mm när regnet startar. Det som g r att konstruktionerna klarar av regnet  r att växtbädden har tillräkligt stor buffrande förmåga (kapacitet) och att det dimensionerande regnet inte kräver någon hög dräneringsintensitet.

Kommer det dimensionerande regnet n r växtbädden  r mättad eller frusen och därmed ingen buffrande förmåga finns, utan all nederbörd måste tas hand om med samma intensitet som regnet faller (förutsättningen i scenario 2), ställs konstruktionens dräneringsintensitet på prov och nu syns en skillnad mellan avvattningslösningarna. T ckdikningssystemet klar nu inte av att ta emot mer än drygt hälften av nederbörden, medan spår-/slitsdräneringen och sandkappingen har en dräneringsintensitet (2,8 mm/h respektive 1,8 mm/h) som överstiger behovet på 1,35 mm/h.

Av det behov av tid som framkommit i studien av hur många dagar det tar för avvattningslösningen att få tillbaka grundvattenytan till ursprunglig nivå, kan utläsas att evapotranspirationen har större betydelse på förmåga att få växtbädden till dräneringsjämvikt. Som exempel tar det för scenario 2 för täckdikningen 24 dygn att dränera bort 32,6 mm nederbörd. Under samma period kommer 48 mm att avdunsta om avdunstningen sätts till 2 mm/dygn.

## SUMMARY

The demands of sport lawns quality have in recent decades greatly increased, for example how fast the surface becomes playable after rain, how it resist fungal attack and winter injuries. It has been shown that the function of the drainage system is very important to be able to respond to these higher standards of quality. In the turfgrass sport sector the goal of drainage is to increase the soil's suitability for recreation, which means a lawn with high playing quality. This is achieved through a quickly regain of the soils ability to manage traffic loads, and by creating a rootzone that generate a favourable balance between air and water filled pores for the turfgrass. What ability the drainage systems have in generating an intensity, capacity, and how much air/water is in the rootzone, will in practice be difficult to say without making first a calculation. The complication is that there are many factors that interacts and that these factors often change both vertically, horizontally and with time in the rootzone, because the characteristics of the pore system in the soil easily changes. It is therefore important to understand how the basic laws of soil physics affect the water in the soil. In this thesis, therefore a broad and deep literary study of the water properties in the rootzone and what factors affects it.

Which level of mechanical energy the water has in relation to its environment are controlling the direction in which water will move, and with what speed and what amount of water is retained in the soil profile. When water flows into a pore system a friction loss is created. The characteristics of the pore system have an impact on size of frictions loss and the speed of the water flow. Pore system also generates a retention force which affects the amount of water remaining in the soil. The magnitude of this force is affected by the size of the pore, which in turn is controlled by soil structure and texture. The choice of soil and maintenance regime will therefore greatly affect the amount of water and air in the rootzone and the rate of water flow that can be created.

The goal of this study was to examine which drainage intensity subsurface drainage, excavated slit drains, sand injected slit drains and sand capping will create on a sport lawn area and what impact it will have on the air/water ratio in the profile. Two different scenarios have been compared in the study. In scenario 1 the design rain comes when the ground water table is at a depth of 700 mm and in scenario 2 has the buffering capacity of the rootzone been removed and the design rain comes when the bed is saturated. The case study and the calculations are based on the conditions that existed at the Kungliga Drottningholms Golf Klubb.

In scenario 1, all drainage solutions managed to handle and take care of the design rain of 32.5 mm, when the duration of the rain is 24 hours and the water table is at a depth of 700 mm when the rain starts. The thing that makes that the construction can take care of the amount and intensity of the rain is that the buffering capacity of the rootzone is large enough and the intensity of the rain does not require high drainage intensity.

Had the design rain coming when the rootzone is saturated or frozen and with this no buffering capacity exist, instead the construction must manage to take care of the rain in the same intensity as it falls (the case in scenario 2), set the drainage intensity of the construction on a test and now a difference between drainage solutions appears. The subsurface drainage system can now only receive half of the precipitation, while excavated slit drain with sand injected slit drains and sand capping has a drainage intensity (2.8 mm/h and 1.8 mm/h), which exceeding the need of 1.35 mm/h.

The high need of time to low the ground water table to its original level, result in that evapotranspiration is more important in the process to reach field capacity in the rootzone. For example, it takes with subsoil drainage 24 days to drain the 32.6 mm rainfall in scenario 2. During the same period, 48 mm of water will evaporate from the lawn if the evaporation is set to 2 mm/day.

## Innehållsförteckning

INLEDNING .....	1
Bakgrund .....	1
Syfte .....	1
Frågeställningar .....	1
Avgränsning .....	1
METOD OCH MATERIAL .....	2
Genomförande .....	2
Litteraturstudie .....	2
Fallstudie av en golfbana .....	2
VATTNETS LAGRING OCH FLÖDE PÅ OCH I EN VÄXTBÄDD .....	3
Faktorer som påverkar förhållandet mellan vatten och luft i växtbäddens porsystem .....	3
Adhisionskraft/Adsorption/Vidhäftning/Kohesion .....	5
Ytspänning/Menisk .....	5
Kapillaritet .....	5
Energikonceptet/ Vattenpotential .....	7
Energi former som påverkar den totala vattenpotentialen .....	8
Avvattnande tryck/Vattenavledande tryck .....	12
Vattenretentionskurva/Bindningskurva/Bindningskaraktistika .....	13
Volymdiagram med dräneringskurva .....	14
Kapillär stigning .....	15
Hysteresis .....	17
Jordens vattenbindande förmåga .....	17
Faktorer som påverkar vattenflödet i växtbäddens .....	19
Mättad och omättad hydraulisk konduktivitet .....	19
Darcys lag för beräkningar av mättade och omättade flöden .....	23
Partikelhastighet & fingerflöde .....	25
Infiltration/Infiltrationskapacitet .....	25
Vattnets infiltration vid tjälning .....	27
Perkolation/Perkolationskapacitet .....	27
Inströmnings- och utströmningsområde .....	28
AVVATTNING AV SPORTGRÄSYTOR .....	28
Allmänt om golfbanans avvattning .....	28
Avvattningsplan .....	29
Undersökningar och informations inhämtning .....	30
Val av dimensionerande regntintensitet .....	30
Andel av nederbörden som kommer att belasta ett avvattningssystem .....	31
Återkomsttid .....	31
Avrinningsområde & vattendelare .....	32
Avdunstning (Evaporation/Transpiration) .....	32
Olika avvattningslösningar .....	33
Typ av växtbädd och dess inverkan på avvattning .....	34
Ytavvattning .....	35
Effekt av släntlutning och konstruktion på ytvattenavrinningen .....	36
Ytvattenbrunnar .....	37
Anvisning/Svackdike/Kanal .....	38
Öppna diken/Kantdiken .....	38
French drains .....	39
Dimensionera och räkna på avvattningssystem för omhändertagande av ytvatten .....	39
Beräkning av dimensionerande vattenföring för ytvattenbrunnar, diken och trummor ..	40

Rationella metoden.....	41
Avvattningssystem med slitsar och spår .....	44
Sandkapping och växtbäddar .....	48
Val av sandmaterial.....	49
Dressning för att behålla sandens egenskaper i sandkappingen.....	52
Kvantiteten organiskt material som gräsarten bildar.....	53
Modifiering av växtbädden genom att blanda material.....	54
Markavvattning genom reglering av grundvattenytan med täckdikning. ....	54
Filter-/täckningsmaterial .....	56
Dimensionera och räkna på avvattningssystem för reglering av mark- och grundvatten ...	57
Hooghoudts formel.....	59
Dumms ekvation .....	66
Tryckvatten/Artesiskt vatten, Utströmningsområden .....	67
Kungliga Drottningholms Golfklubb .....	68
Klubbens historik .....	68
Bakgrund till renoveringen.....	69
KDRGKs målsättningar .....	70
Förutsättningar .....	70
Växtbädden.....	70
Avvattningssystem .....	72
Grundvattnet.....	73
Nederbörd.....	73
Maskar .....	75
Föreslagna åtgärder .....	75
Förmågan hos det befintliga avvattningssystemet att avleda nederbörd.....	76
Förutsättningar vid beräkning av avvattningsförmåga.....	76
Beräkningarna .....	79
Scenario 1. Dräneringsintensitet och grundvattenytans förändring .....	79
Scenario 2. Dräneringsintensitet .....	81
Tidsåtgång för att sänka grundvattenytan .....	82
Spår och slitsars dräneringsförmåga .....	84
Ytvattenbrunnar.....	86
Dressningsbehov för att behålla växtbäddens egenskaper .....	88
Växtbäddsmaterialets och avvattningslösningens påverkan på förhållandet mellan luft och vatten i porerna .....	89
DISKUSSION.....	94
Litteratur.....	94
Fallstudie .....	96
SLUTSATSER.....	101
REFERENSER.....	101
Litteratur.....	102
Personligt meddelande .....	104
BILAGOR.....	105
Bilaga 1. ....	105
Bilaga 2. ....	107
Bilaga 3. ....	109
Täckdikning.....	109
Spår-/slitsdränering .....	110
Sandkapping .....	111

# INLEDNING

## Bakgrund

Kraven på golfanläggningar och fotbollsplaner spelytekvalité har under de senaste decennierna ökat kraftigt, t.ex. hur snabbt ytorna blir spelbara efter regn, hur de klarar av att motstå svampangrepp och att överleva vintern utan skador. Bygghandlingar, anvisningar, kvalitetssäkring, dimensionerings- och konstruktionsråd i skrifter samt kunskapen hos de olika aktörerna, har inte hängit med i denna utveckling. Detta har lett till att många anläggningar har idag stora problem att uppnå den spelytekvalité som efterfrågas. Många klubbar har därför behov av att renovera sina spelytor och se över avvattningssystemen pga. fel och brister vid anläggandet och i den fortsatta skötseln.

Under hösten 2007 startades ett Partnerskapsprojekt (Upphandlings- och byggråd för golfsektorn – förstudie) för att bland annat undersöka hur avvattningsfrågor behandlades i byggprocessen och hur resultatet har blivit på anläggningarnas avvattning. I projektet deltog personer från Sveriges lantbruksuniversitet (SLU) i Alnarp, Svenska Golförbundet (SGF) och representanter från de olika aktörerna i byggprocessen.

Resultatet av ovan nämnda studie visar:

- på tydliga brister i kunskap hos aktörerna i frågor gällande avvattning av intensivt skötta gräsytor
- på ett tydligt behov att ta fram nya dimensionerings- och konstruktionsråd inom avvattningsfrågor
- att i de allra flesta fall finns kunskapen men inte samlad och förpackad med fokus mot golfsektorn
- att en sammanställning av kunskap och erfarenhet inom avvattning saknas och behov föreligger.

Detta arbetes mål är att försöka fylla upp eller minska de luckor som ovan nämnda studie har identifierat. Skapa en tydligare bild av vilka avvattningslösningar som passar bäst för olika situationer och dräneringsintensiteter samt den påverkan på förhållandet luft/vatten de har.

## Syfte

Examensarbetets mål är att:

- Höja förståelse och kunskap om avvattning av golfbanor.

## Frågeställningar

- vad styr hur vatten infiltreras, lagras och transporteras på och i växtbädden?
- vilken/vilka avvattningslösningar bör användas till vilka förutsättningar och hur ska olika avvattningslösningar vara konstruerade och dimensionerade för att fungera effektivt, enligt litteraturen?
- hur borde ovan nämnda konstruktioner vara konstruerade med tanke på hur vattnet rör sig på och i växtbädden samt i vilka sammanhang bör de användas?
- vilken dräneringsintensitet kommer de föreslagna avvattningslösningar på KDRGK att kunna få och vilken påverkan på förhållandet luft/vatten har de samt vilken/vilka kommer att klara klubbens uppsatta mål?

## Avgränsning

Arbetet har fokuserat och utgått ifrån förutsättningar och krav som gäller på en golfanläggning i Skandinavien och då på de mer intensivt trafikerade ytorna. När det gäller



frågeställningen hur vatten infiltreras, lagras och transporteras både på och i växtbädden ligger fokus på alla typer av gräsytor. De övriga frågorna kommer att avgränsas till att fokusera på fotbollsplaner, fairway- och semiruffytor. Ekonomiska aspekter behandlas generellt övergripande i arbetet.

## **METOD OCH MATERIAL**

### **Genomförande**

Det självständiga arbetet tar fram och beskriver aktuell kunskap kring avvattning. För att nå detta mål gjordes en litteraturstudie inriktad på facklitteratur, vetenskapliga artiklar och rapporter. För att få en förankring mot praktiken och få en bild av vilken effekt olika avvattningslösningar ger upphov till kompletterades litteraturstudien med en fallstudie.

### ***Litteraturstudie***

Två stycken litteraturstudier har gjorts i detta arbete. Den första fokuserar på vad det är som styr och påverkar vattnets flöde i jorden samt hur mycket luft/vatten som finns i växtbädden. Den andra litteraturstudien undersöker vilka avvattningslösningar som finns och hur de bör vara konstruerade och till vilka förutsättning de passar. Litteratursökning har gjorts i databaser som är tillgängliga via SLU och då främst i *Turfgrass information files* och i *Soil science*. För litteratursökning har även *Google* och böcker använts.

### ***Fallstudie på en golfbana***

För att få kunskap om och förståelse för vilken dräneringsintensitet och kapacitet olika dräneringslösningar kan ge upphov till samt deras påverkan på förhållandet vatten/luft i växtbädden, har en fallstudie gjorts på Kungliga Drottningholms Golfklubb (KDRGK). Klubben har inför sin renovering tagit fram tre stycken förslag på renoveringsalternativ för sina fairwayytor. I studien har beräkningar utförts på vilken dräneringsintensitet de olika förslagen kommer att få och vilken påverkan de kommer att ha på luft-/vattenförhållandet i växtbädden. De föreslagna renoveringsåtgärderna har sedan analyserats hur väl de stämmer med litteratur och uppfyller klubbens mål.

Författaren vill göra läsaren uppmärksam på att de dräneringsintensiteter som har räknats fram bygger på flera antaganden och att fler undersökningar behöver göras för att komma mer rätt i dimensioneringen, innan någon renovering görs. Framför allt behöver fler prover tas på var grundvattenytan ligger samt växtbäddens infiltrations- och perkolationskapacitet. För att få ett bättre underlag till beräkningarna har data från liknande jordar inhämtas från rapporter där jordar har grundligt analyserats på SLU i Ultuna. Författaren anser därför att de framräknade värdena ger en adekvat bild av vilken dräneringsintensitet som kan förväntas, av de olika lösningarna och hur väl de uppfyller klubbens mål. Under arbetets gång har besök gjorts på Kungliga Drottningholms Golfklubbs bana, för att få en bättre förståelse för förutsättningarna på platsen.

För att skapa en bättre bild av vilka konsekvenser och dräneringsintensiteter lösningarna ger upphov till har två olika scenarior skapats där beräkningar utförts. Vid uträkningar av vilka dräneringsintensiteter de olika lösningarna kan skapa har Hooghoudts formel använts.

Denna studie är inget beställningsarbete, utan Kungliga Drottningholms Golfbana har använts för att skapa en förankring mot en verklig situation.

## VATTNETS LAGRING OCH FLÖDE PÅ OCH I EN VÄXTBÄDD

För att kunna diskutera olika växtbäddar och avvattningssystem är det viktigt att först förstå hur de grundläggande markfysikaliska lagarna påverkar vattnet i jorden. Detta är speciellt viktigt i sportsammanhang där dräneringsegenskaperna är av stor betydelse för tillgängligheten för spel och gräsyntans kvalitet (McIntyre & Jakobsen, 2000). De flesta golfbanor bevattnar sina intensivt skötta gräsytor regelbundet och en förståelse hur vattnet transporteras och hålls kvar i bädden är av stor vikt, för att effektivt kunna utnyttja sitt bevattningssystem och skona miljön från onödig belastning. Målet med den första delen av rapporten är att genom en litteraturstudie beskriva och förklara de grundläggande markfysikaliska lagarna kring vattnets förflyttning och bindning i växtbädden och därmed svara på frågeställningen hur infiltreras, lagras och transporteras vatten på och i växtbädden?

### Faktorer som påverkar förhållandet mellan vatten och luft i växtbäddens porsystem

Det lösa jordlager som ligger ovanpå berggrunden och som har påverkats av växtlighet och klimat kallas för mark. Människan går ofta in och påverkar marken med syfte att åstadkomma bättre funktionsegenskaper för att t.ex. öka ytans avkastning eller lämplighet som sportyta. Förändringarna innebär oftast att ytans topografi ändras, nytt material tillförs i eller ovanpå marken. När människan har gått in och påverkat marken på detta sätt kallas det lösa jordlagret istället för växtbädd.

På en golfbana har de flesta spelytors jordlager blivit påverkade av människan och benämns därför som växtbäddar. Vid anläggning har växtbäddarna med olika omfattning grävts ut, lagts på, flyttats om, jordförbättrats och dränerats. Den mest utpräglade växtbädden på en golfbana är greenen. Här har det ursprungliga markmaterialet oftast bytts ut helt för att kunna möta funktionskraven. Fotbollsplaner, tee och fairway har en växtbädd som kan bestå mer eller mindre av ursprungsmaterialet på plats. Det som bestämmer mängden nytt material är klubbens funktionskrav på ytan och egenskaperna på det ursprungliga materialet.

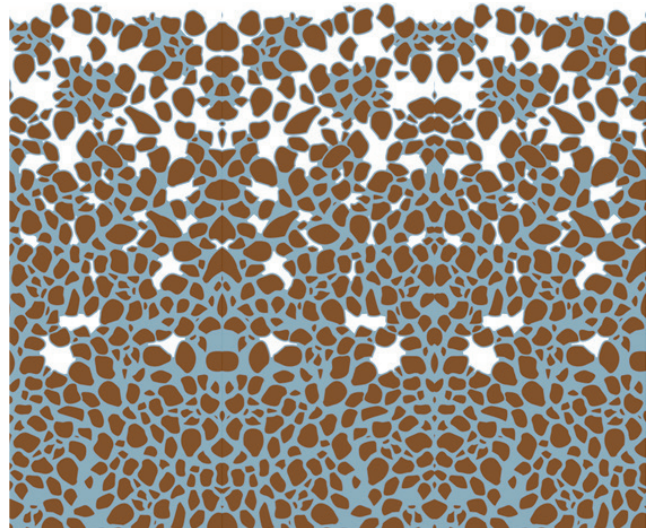
En jord består av tre huvudelement, fast material, vätska och gas. Vätskan i växtbädden är i form av vatten, med däri lösta kemiska ämnen. Gasen är i form av luft med andra proportioner än atmosfärluften och det fasta materialet består av organiskt material och mineralpartiklar, vilka bildar jordens "skelett". Mineraldelen av det fasta materialet kallas även för oorganiskt material och är i form av partiklar/korn med olika mineralsammansättning och storlek.

För att växtens rötter ska få en bra miljö krävs det att växtbädden innehåller alla delar. Det räcker inte bara att dessa element finns, utan volymfördelningen mellan är också viktig p.g.a. att de bestämmer jordens förmåga att dränera, förankra växten och förse den med vatten, näring och luft. Ett bra jordmaterial för sportgräs, har när överskottsvattnet dränerats bort förhållandena ca 50 % fast material (därav några procent organiskt), 20 - 30 % vatten och 20 - 30 % luft. Sjunker andelen luft av den totala volymen under 10 %, föreligger risk att rötterna dör av syrebrist.

Mellan mineralpartiklarna och det organiska materialet finns hålrum, så kallad porer. Dessa porer har förbindelse med varandra och bildar ett så kallat porsystem och det är i detta hålutrymme som gasen och vätskan finns, se figur 1. Porsystemet kan vara mer eller mindre fyllt med vatten eller luft. Detta förhållande varierar ständigt på grund av avdunstning från markytan (evaporation), växternas konsumtion (transpiration) och nederbörd, men även

porernas storlek och avstånd till grundvattnet är av stor betydelse. Det ideala är att runt 50 % av porvolymen är fylld med vatten och 50 % är fylld med luft, i den zon där rötter finns (Brady & Weil, 2008). Här bör noteras att vatten och luft konkurrerar om porutrymmet, så ökar andelen vatten minskar andelen luft.

Hur porerna och porsystemet ser ut påverkas av jordens struktur (aggregat/enkelkorn, se kapitlet om *Struktur*) och kornstorleksfördelningen (textur). Formen och storleken på porerna bestämmer i sin tur hur fördelningen av vatten och luft blir i växtbädden, vid olika inverkan på avståndet till grundvattenytan.



Figur 1. Visar på att porsystemet töms mer och mer på vatten desto högre upp i växtbädden man studerar.

Varför är det viktigt att det finns syre och ett kontinuerligt utbyte av gasen i jorden? Anledningen är, att från fotosyntesen i bladmassan produceras socker som transporteras ner via floemet till rötterna. Nere i rötter spjälkas sockret sedan i respirationen och energi frigörs vilket bland annat används för att ta upp näring. Vid spjälkning av sockret åtgår det syre vilket måste tas upp via rötterna från jorden. Om inte syretillförseln (diffusionen), vilken styrs i stor omfattning av volymsandelen luftfyllda porer i växtbädden, är tillräcklig kommer respirationen att avta. Därför är det viktigt att sörja för en bra syreomsättning i växtbädden så växten kan omvandla sockret till energi och ta upp näring och vatten.

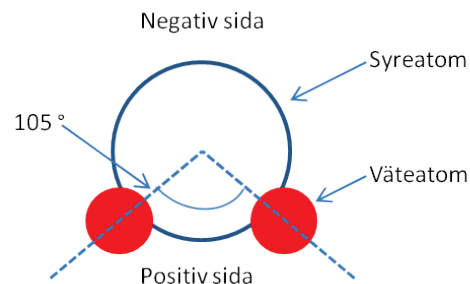
Som ett exempel på hur viktigt det är att jorden hela tiden kan byta ut  $\text{CO}_2$  mot  $\text{O}_2$ , nämner McCoy (2009), att i en 300 mm djup växtbädd med gräsrötter tar syret slut efter 22 – 43 timmar om inget nytt syre tillförs. Med hjälp av ett instrument kan syrediffusionen mellan markluft och atmosfärluft mätas vilket kallas för *Oxygen diffusion rate* (ODR) och som bör vara mellan 20 – 40  $\text{mg O}_2 \text{ cm}^2/\text{min}$ .

För att en växtbädd skall kunna tillfredställa rötternas behov och därmed uppnå ovan nämnda nivå, behövs det mellan 10 – 20 volym % luftfyllda porer i jorden. Uppnås inte den volymsandelen utan det under längre perioder är lägre, blir resultatet en gles gräsyta med grunt rotsystem, som lätt angrips av sjukdomar och invaderas av oönskade arter som t.ex. vitgröe (*Poa annua*). McCoy 2009

Precis som syre är vatten livsnödvändigt för gräset och det gäller att skapa en växtbädd som klarar av att magasinera vatten till växtens behov. Som nämndes ovan konkurrerar luft och vatten om porvolymen och det gäller därför att uppnå ett förhållande där både syre och luft finns i tillräcklig mängd. Vad som styr om en por är fylld med vatten eller luft bestäms av flera faktorer och kräver en förståelse kring vattnets uppbyggnad och mekaniska energi.

Vad är vatten? Vattenmolekylen består av en syreatom som har bundet till sig två väteatomer ( $\text{H}_2\text{O}$ ). Hur dessa väteatomer placerar sig rent geometriskt i förhållande till syreatomen illustreras i figur 2. Som framgår av figuren placerar sig väteatomerna med en vinkel på  $104,5^\circ$  i förhållande till syreatomen. Denna placering resulterar i att vattenmolekylen får en

positiv sida där väteatomerna är positionerade och en negativ sida där syreatomen är. När en molekyl har en positiv sida och en negativ som vatten har, kallas den för dipol. Att vattenmolekylerna har en positiv och en negativ sida, gör att de dras till varandra. Den positiva sidan dras till den negativa sidan hos en annan vattenmolekyl. Detta resulterar bland annat i att en del av nederbörden håller sig kvar/binds i växtbädden genom attraktion till markpartiklar och andra vattenmolekyler. Hade



Figur 2. Väteatomernas placering på en syremolekyl vilket resulterar i att vattenmolekylen får en positiv och en negativ sida.

denna egenskap inte funnits hade allt vatten dragits ner av jordklotets gravitationskraft (dränerats bort). Attraktion till andra molekyler och atomer ger även vattnet andra speciella egenskaper som t.ex:

- att vatten förblir i vätskeform vid högre temperatur än andra molekyler med samma molekylvikt, vilka då har gått över till gasform
- en hög smält- och kokpunkt
- en hög ytspänning (tension)
- fungerar bra som lösningsmedel
- adsorberas (vidhäftar) på fasta ytor som exempelvis mineralpartiklar
- att densiteten och tyngden är som störst vid 4° C

### ***Adhensionskraft/Adsorption/Vidhäftning/Kohesion***

Mineralpartiklarnas yta har normalt sett någon form av laddning. Det vanligaste är att de är negativt laddade. Genom att vattenmolekylen är dipol attraheras och binds den därför lätt till markpartiklarnas laddade yta. De dras mot varandra precis som den positiva och negativa änden på två magneter. Denna bindning mellan vatten och markpartikel kallas för adsorption eller vidhäftning och uppstår på grund av adhesionskraft.

Partikeln drar inte bara till sig ett lager med vattenmolekyler utan flera lager binds upp. Den bindande kraften blir dock svagare ju längre ifrån markpartikeln vattnet är. Attraktionen är normalt sett starkare mellan markpartikeln och vattnet (adhesionen) än vad bindningen är mellan vattenmolekyler (kohesionen). Det vill säga, de binds/packas tätare ihop och därmed blir deras gemensamma energistatus lägre. Vid denna sammanbindning frigörs det energi vilket kan mätas genom att temperaturen stiger. För att ta bort vattnet från markpartikeln går det däremot åt energi/kraft.

### ***Ytspänning/Menisk***

Den enskilda vattenmolekylen i en vattenmassa attraheras i alla riktningar till de vattenmolekyler som finns runt den. När vattenmolekylen möter luft, som den gör vid en vattenyta, är attraktionskraften mellan vattenmolekylerna, den så kallade kohesionskraften, större än den mellan vatten och luft. Denna ovilja hos vatten att vilja blanda sig med luft gör att det bildas som en hinna (menisk) som håller ihop vattenmolekylerna och hindrar dem från att beblanda sig med luften. Det är denna kraft som kallas för ytspänning och som får en vattendroppe att hålla sig samman till en rund droppe.

### ***Kapillaritet***

Om ett mycket smalt glasrör förs ner i en bägare med vatten kommer vattenytan att ställa sig högre upp i glasröret än i bägaren. Orsaken till förändringen är de båda krafterna adhesion (vattnets bindning till ett fast material, i detta fall glasrörets väggar) och ytspänning, vilken

relaterar till bindningen mellan vattenmolekylerna (kohesion). Den gemensamma kraft som bildas när dessa båda krafter samverkar och som får vattnet att stiga upp i exempelvis ett glasrör, kallas för kapillärkraft.

Studeras fenomenet noggrannare syns det att vattenmolekylerna sprider sig utmed glasrörets insida med hjälp av adhesionskraften. Samtidigt håller kohesionskrafterna ihop vattenmolekylerna och skapar en ytspänning som resulterar i en bågformad (konkav) yta mellan vattnet och luften på insidan av röret. Denna bågformade yta som bildas i övergången mellan vatten och luft kallas för menisk.

Under menisken i glasröret bildas ett lägre tryck i vattnet (på grund av kapillärkrafterna) än i det vattnet som finns på utsidan av röret, vilket leder till att vattnet förflyttar sig upp i röret. Detta fortgår tills vikten (lägesenergin) av vattenpelaren som bildas inne i glasröret har skapat ett mottryck på grund av gravitationskraften och som gör att ett jämviktstillstånd skapas. Mer om hur den mekaniska energin påverkar vattnet se rubriken *Vattenpotential & Energikoncept*.

Porsystemet i en jord kan liknas vid ovan nämnda glasrör där kapillärkraften får vatten att stiga upp i jorden från grundvattenytan. Det som bestämmer hur högt upp vattnet stiger i ett porsystem/rör är radien ( $r$ ) på röret/porerna, vattnets densitet och därmed temperatur, storleken på ytspänningen och adhesionskraften.

Den uppåtriktade kraften som skapas i glasröret via kapillärkraften kan räknas ut på följande sätt enligt formel 1 (Ritzema, 2006).

$$F \uparrow = y \times \cos \alpha \times 2\pi r \quad (1)$$

$F \uparrow$  = uppåtriktad kraft (N)

$y$  = ytspänningen som uppkommer mellan luften och vattnet ( $y = 0,073 \text{ N/m}$  vid  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ )

$\alpha$  = kontaktvinkel mot det fasta materialet (glasröret) ( $\cos \alpha \approx 1$ )

$2\pi r$  = meniskens omkrets (m)

Den nedåtriktade kraften som skapas av tyngdkraftens inverkan på vattenpelaren i glasröret kan räknas ut på följande sätt enligt formel 2 (Ritzema, 2006).

$$F \downarrow = \pi r^2 h \times \rho \times g \quad (2)$$

$F \downarrow$  = nedåtriktad kraft (N)

$\rho$  = densiteten på vatten ( $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$ )

$g$  = tyngdaccelerationen orsakad av gravitationen ( $g = 9.81 \text{ m/s}^2$ )

$h$  = höjden av den kapillära stigningen (m), ibland används  $h_t$  = tension

Är den uppåtriktade kraften lika stor som den nedåtriktade är det balans i formeln och vattnet står still, se formel 3.

$$\pi r^2 h \times \rho \times g = y \times \cos \alpha \times 2\pi r \quad (3)$$

Ovanstående formel 3, kan även skrivas på följande sätt och säger då hur högt vattnet kan stiga.

$$h = \frac{2y \times \cos \alpha}{\rho \times g \times r} \quad (4)$$

Om vattnet har en temperatur på 20 grader kan ekvationen förenklas genom att räkna ut redan fasta värden och då får den följande utseende, formel 5. I formeln ska både  $r$  och  $h$  anges i cm. Av formeln går det att utläsa att ju smalare rör desto större undertryck skapas i vattnet under menisken av kapillärkrafterna och därmed kan vattnet stiga högre innan gravitationskraften förmår att utjämna och skapa ett nytt jämviktsläge (Brady & Weil, 2008).

$$h = \frac{0,15}{r} \quad (5)$$

Nedanstående förenklade formel kan också användas. Skillnaden är att  $r$  byts ut mot  $d_v$  som står för ekvivalent pordiameter och  $h$  har ersatts av  $h_t$  (high tension).

$$h_t = \frac{0,3}{d_v} \quad (6)$$

Om vi återgår till bägaren med vatten igen och sticker ner ett ännu smalare glasrör kommer vattenytan att stiga ännu högre upp i röret med hjälp av kapillärkrafterna.

Uppkomsten av kapillärkrafter sker bara när det både finns luft och vatten i porerna i marken. Den kapillära kraften uppkommer således bara i markvattenzonen. I grundvattenzonen finns ingen luft och därmed ingen kapillärkraft.

### ***Energikonceptet/ Vattenpotential***

Allt material runt omkring oss har olika former av energi knutet till sig. De energiformer som påverkar hur mycket energi som är knutet till vatten i en viss punkt, är temperatur, tryck, adsorption till ytor, gravitation, hastighet och osmotisk energi. Summeras energiformerna ihop för en viss punkt eller nivå i marken, erhålls den totala energimängden som finns i vattnet på den punkten.

Inom hydrologin och markfysiken används ibland begreppet potential istället för energi. Med ordet potential syftas på vattnets förmåga att utföra ett arbete. Det vill säga hur mycket energi som är knutet till vattnet vid en punkt eller hur mycket arbete/energi som måste tillsättas eller som kan alstras vid förändring av en enhet vatten från ett tillstånd eller läge, till ett nytt. Som hjälpmedel för att lättare kunna förstå och beräkna grund- och markvattenströmning används i litteraturen båda begreppen.

Summeras vattnets olika potentialer ihop uppnås den totala vattenpotentialen. Den totala vattenpotentialen är i dessa sammanhang av vattnets läges-, tryck- osmotisk och hastighetspotential.

Potentialer kan uttryckas med tre olika enheter. Energi/enhet massa (joule/kg), energi/enhet volym ( $1 \text{ J/m}^3 = 1 \text{ N/m}^2 = 1 \text{ Pascal (Pa)} = \text{kraft/enhet area}$ ) eller i form av energi/enhet tyngd. Det vill säga tyngden från höjden av en vätskepelare t.ex. meter vattenpelare (mvp) eller millimeter kvicksilverpelare (mmHg).

Det finns ett förhållande mellan enheterna kraft/enhet area och höjd vätskepelare som är följande:  $1 \text{ kPa} \approx 0,098 \text{ mvp} \approx 0,01 \text{ bar}$ . Det finns även en enhet som bygger på logaritm och som används vid stora undertryck (tension) som heter pF. Där  $pF 1 = 0,1 \text{ mvp} = 1 \text{ kPa}$  och  $pF 2 = 1 \text{ mvp} = 10 \text{ kPa}$  osv. Genom att dividera portrycket i kPa med vattnets densitet ( $\rho$ , och

uttalas rå) i  $\text{kg/m}^3$  och tyngdaccelerationen ( $g = 9,81\text{m/s}^2$ ) får man fram vattenpelarens höjd i *mvp*. Nedan följer en omvandlingstabell mellan olika enheter och uttryckssätt (tabell 1).

Tabell 1. Relationen mellan olika enheter och motsvarande por som töms på vatten

Höjden av en vätskepelare <i>cmvp</i> (cm)	Portryck Bar	Portryck kPa	Ekvivalent pordiameter när vatten töms
0	0	0	-
10,2	-0,01	-1	300
102	-0,1	-10	30
306	-0,3	-30	10
1020	-1,0	-100	3

Vatten som är ovan grundvatten ytan hålls kvar av de kapillära krafterna vilket leder till att vattnet här får en reducerad förmåga att utföra ett arbete, alltså negativ (minskad) energi och potential.

För att lättare kunna beskriva vilken vattenpotential och energimängd vattnet har i en punkt, utgår man från en referenspunkt och jämför med den. I de sammanhang som detta arbete berör används grundvattenytan i marken som referenspunkt, vilket innebär att vatten som har atmosfärstryck (1013 hPa) används (Ritzema, 2006).

Material strävar hela tiden att gå från en högre total energinivå till en lägre total energinivå. På samma sätt förflyttar sig vattnet i en jordprofil från en högre energinivå till en lägre. Genom att räkna ut den totala potentialen vattnet har på olika nivåer, går det att få reda på vilken riktning vattnet kommer att röra sig samt hur stor den drivande kraften är.

Förståelse och kunskap om vattenpotentialen är av stor betydelse för att förstå vattentransport, upptag av vatten och hur växtbäddar bör vara konstruerade och dimensionerade (Ritzema, 2006). Som exempel kan nämnas att en växtbädd för en green, som är byggd enligt United State Golf Associations (USGA) rekommendationer, bygger på kunskapen om att vatten inte kan gå från en lägre energinivå till en högre. Vattnet i såbäddsmaterialet har vanligtvis lägre vattenpotential än vad det kommer att få om det förflyttar sig in i dräneringsgruslagret som ligger under. Därför stannar vatten kvar i sandjorden ovan dräneringsgruset och kommer bara att tränga in i dräneringsgruset när dräneringsjämvikt överskrids.

### **Energi former som påverkar den totala vattenpotentialen**

När potentialen uttrycks i energi/enhet volym eller massa används symbolen  $\Psi$  (*psi*) för att visa att det är frågan om en potential, som t.ex.  $\Psi_o$  vilket står för osmotisk potential. I formel 7 redovisas de olika potentialerna och hur de betecknas. Tryckpotentialen ( $\Psi_p$ ) har här delats upp i kapillär- och hydrostatisk potential.

$$\Psi_t = \Psi_g + \Psi_o + \Psi_m + \Psi_h + \Psi_v \quad (7)$$

$\Psi_t$  = Total vattenpotential

$\Psi_g$  = Lägespotential

$\Psi_o$  = Osmotisk potential

$\Psi_m$  = Kapillär potential

$\Psi_h$  = Hydrostatisk potential

$\Psi_v$  = Hastighetspotential

I sammanhang där vattenpotentialen uttrycks i energi/enhet tyngd byts symbolen  $\Psi$  ut mot  $H$  (se formel 8) vilket syftar på engelskans *head*.  $H$  = vätskepelarens höjd och uttrycks i mvp eller cmvp.

$$H_t = H_g + H_o + H_p + H_v \quad (8)$$

$H_t$  = Total vattenpotential

$H_g$  = Lägespotential

$H_o$  = Osmotisk potential

$H_p$  = Tryck potential

$H_v$  = Hastighetspotential

*Lägespotential* ( $\Psi_g/H_g$ ). Det arbete som krävs för att flytta en enhet vatten från en referenshöjd till den aktuella höjden kallas för lägespotentialen eller gravitationspotentialen. I resonemanget ovan med glasröret motsvarar lägespotentialen den nedåtriktade kraften. Gravitationspotentialen är positiv i och med att det frigörs energi (arbete kan utföras t.ex. få en turbin att snurra) när vattnet återförflyttas till referenshöjden.

Formel 9 kan användas för att beräkna lägesenergi och då uttryckt i energi/enhet volym. Vid beräkning av energi/enhet vätskepelare används formel 10. Av formeln går det att utläsa att gravitationspotentialen blir större med ökad höjd från referens (Brady & Weil, 2008).

$$\Psi_g = V \times \rho \times g \times h \quad (9)$$

$$H_g = h \quad (10)$$

$\Psi_g$  = Lägespotential uttryckt som energi/enhet volym (Pa)

$H_g$  = Lägespotential uttryckt som vätskepelarens höjd (mvp)

$\rho$  = Densiteten på vatten ( $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$ )

$g$  = Tyngdaccelerationen orsakad av gravitationen ( $g = 9.81 \text{ m/s}^2$ )

$h$  = Höjden från referenspunkten (m)

$V$  = Volymen ( $\text{m}^3$ )

*Tryckpotential* ( $\Psi_p/H_p$ ). Tryckpotential ( $\Psi_p$  eller  $H_p$ ) är det arbete som krävs för att ändra en enhet vatten som har atmosfärstryck (vatten i grundvattenytan) till det aktuella trycket i vattnet vid mätpunkten. Detta innebär att tryckpotentialen är skillnaden mellan tryckenergin i det aktuella vattnet och atmosfärstrycket. Tryckpotentialen delas ibland upp i två potentialer, hydrostatisk potential ( $\Psi_h$ ) och kapillär potential ( $\Psi_m$ ). Den sist nämnda benämns i vissa sammanhang även som matrixpotential, bindningspotential eller bindningstryck). Den hydrostatiska potentialen uppkommer i vatten som är under grundvattenytan (referenspunkten) och är i form av ett övertryck. Att den hydrostatiska potentialen är positiv har du fått erfarenhet av genom den tryckökning som sker när du exempelvis dyker i en bassäng.

Kapillärpotentialen uppkommer där det finns ämnen som med hjälp av kapillärkrafterna kan binda vatten till sig, som exempelvis läskpapper, kapillär rör, handduk och porer i marken. Härmed uppstår en kapillär potential i vatten som är ovan grundvattenytan och är i form av ett negativt tryck (undertryck). I denna situation går det åt kraft/energi för att ta bort vattnet. Kapillärpotentialen motsvarar den uppåtriktade kraften som beskrevs i diskussionen kring vattnets stigning i glasrör ovan. I det resonemanget framkom det att ju mindre poren är, desto hårdare binds vattnet och därmed blir undertrycket större. Alltså uppstår en negativ potential



och energinivå och därmed sänker kapillärpotentialen den totala vattenpotentialen, medan den hydrostatiska potentialen är positiv och leder till en höjning av den totala potentialen. Där den hydrostatiska potentialen och kapillärpotentialen möts i marken är trycket i vattnet 0 vilket innebär att grundvattenytan ligger här (Brady & Weil, 2008). Nedan redovisas formeln för beräkning av tryckpotentialen uttryckt som energi/enhet volym eller vätskepelarens höjd, se formel 11 respektive 12 (Hendriks, 2009).

$$\Psi_p = V \times P \quad (11)$$

$$H_p = \frac{P}{\rho \times g} \quad (12)$$

$\Psi_p$  = Tryckpotential (Pa)

$H_p$  = Tryckpotential (mvp)

$V$  = Volym ( $m^3$ )

$P$  = Tryck ( $N/m^2$ )

$\rho$  = Densiteten på vatten ( $\rho = 1000 \text{ kg}/m^3$ )

$g$  = Tyngdaccelerationen orsakad av gravitationen ( $g = 9.81 \text{ m}/s^2$ )

*Osmotisk potential* ( $\Psi_o/H_o$ ). Organiska och oorganiska ämnen som är lösta i vatten kan kvarhålla (elektrisk attraktion mellan molekyler) vatten till sig och därmed begränsa vattnets förmåga att förflytta sig. Som exempelvis har salter denna egenskap att begränsa och därmed öka den kraft som krävs för att förflytta vattenmolekylerna (potentialen sänks och blir negativ i förhållande till referensen). Normalt sett har den osmotiska potentialen liten betydelse för den totala vattenpotentialen och massflöden av vatten. Det krävs nämligen en halvgenomtränglig hinna (semipermeabelt membran) som bara släpper igenom vattnet, för att den osmotiska effekten ska infinna sig och bli märkbar. Den osmotiska potentialen kan däremot ha stor betydelse för upptaget av vatten till roten. Detta beror på att roten har ett halvgenomträngligt membran (hinna) som måste passeras av salterna, vilket de inte kan utan en aktiv insats från roten. Däremot kan vatten passera i båda riktningar. Vattnet kommer att förflytta sig till det område där den lägsta osmotiska potentialen finns. Om jorden har gödslats med stora mängder näring har det skapats en stor negativ osmotisk potential i markvattnet. Denna skillnad i osmotiska potential måste roten övervinna genom att skapa en större negativ osmotisk potential inne i roten, än vad som är utanför, om den ska kunna ta upp något vatten. Saltkoncentrationen och därmed den osmotiska potentialen kan bli så hög att vatten sugts ut från rotsystemet och växten får vattenbrist trots att det finns gott om vatten i marken (Brady & Weil, 2008). Nedan redovisas formeln för beräkning av tryckpotentialen uttryckt som energi/enhet volym eller vätskepelarens höjd, se formel 13 enligt Brady & Weil (2008) respektive 14 (Hendriks, 2009).

$$\Psi_o = V \times -M \times R \times T \quad (13)$$

$$H_o = -\frac{M \times R \times T}{\rho \times g} \quad (14)$$

$\Psi_o$  = Osmotisk potential (Pa)

$H_o$  = Osmotisk potential (mvp)

$V$  = Volym ( $m^3$ )

$M$  = Koncentration av det lösta ämnet ( $\text{mol}/m^3$ )

$R$  = Allmänna gaskonstanten (ca  $8,3145 \text{ J}/\text{mol K}$ )

$P$  = Tryck ( $N/m^2$ )

$T$  = Temperatur (K)

*Hastighetspotential ( $\Psi_v/H_v$ ).* Hastighetspotential är detsamma som rörelseenergi (kinetisk energi) i en viss punkt. Vid beräkningar av mark- och grundvattenströmning är hastigheten på vattnet liten och därmed utesluts den från ekvationen. När vattenströmning i rör, kanaler eller ovan jord ska beräknas har hastighetspotential stor påverkar och måste därmed ingå i formeln (Brady & Weil, 2008). Nedan redovisas formeln för beräkning av tryckpotentialen uttryckt som energi/enhet volym eller vätskepelarens höjd, se formel 15 respektive 16 (Hendriks, 2009).

$$\psi_v = V \times \frac{\rho \times v^2}{2} \quad (15)$$

$$\psi_v = \frac{v^2}{2 \times g} \quad (16)$$

$\Psi_o$  = Osmotisk potential (Pa)

$H_o$  = Osmotisk potential (mvp)

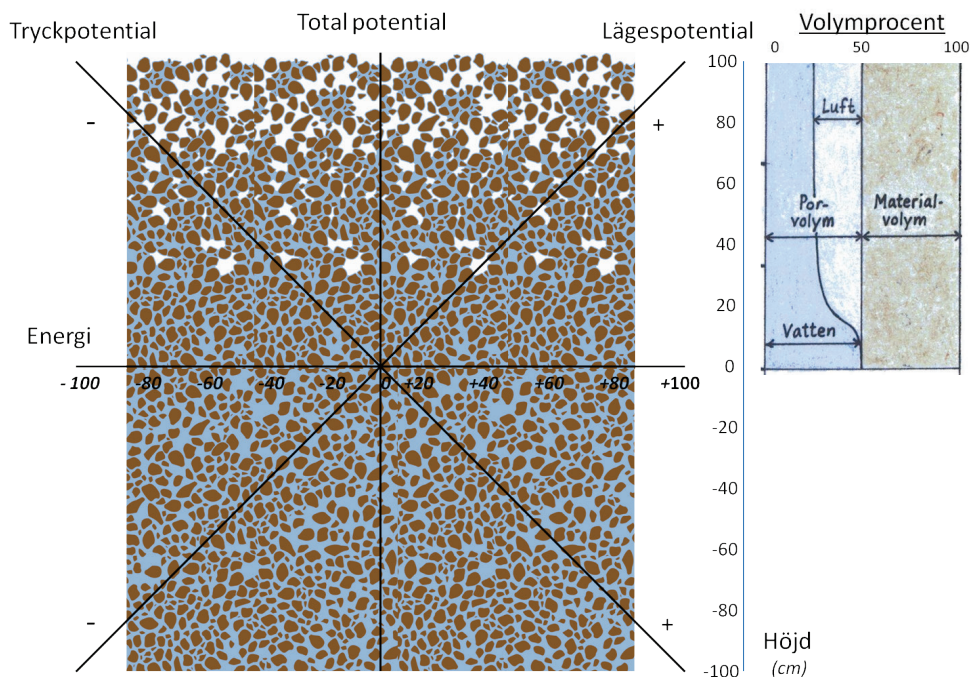
$V$  = Volym ( $m^3$ )

$\rho$  = Densiteten på vatten ( $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$ )

$g$  = Tyngdaccelerationen orsakad av gravitationen ( $g = 9.81 \text{ m/s}^2$ )

$v$  = Hastighet (m/s)

*Total vattenpotential ( $\Psi_t/H_t$ ).* Hur de olika energiformerna/potentialerna påverkar den totala vattenpotentialen kan utläsas i figur 3. Figuren illustrerar också att tryckpotentialen kan beskrivas som en rät linje, med minus 45 graders lutning i förhållande till vattenpotentialen.



Figur 3. Visar hur läges-, tryck- och total vattenpotential förhåller sig till referensnivå och varandra i en jord. Volymdiagrammet till höger visar hur fördelningen i volymprocent mellan luft, vatten och fast material förändras med avståndet till grundvattenytan.

I avvattningssammanhang kan hastighetspotentialen och den osmotiska potentialen normalt sett utelämnas, vid beräkning av den totala vattenpotentialen. Det innebär att den totala vattenpotentialen ( $\Psi_t$ ) i markvattenzonen är summan av punktens höjd ( $\Psi_g$ ) från referensen och den höjd från referensnivån vattenytan ställer sig i en tensiometer ( $\Psi_p$ ).

Under vissa speciella förutsättningar kan andra faktorer behöva adderas till vattenpotentialekvationen som t.ex. när olika temperatur eller gastryck förekommer och om det finns en hög halt av lera som kan krympa och svälla (Brady & Weil, 2008).

### ***Avvattnande tryck/Vattenavledande tryck***

Vatten hålls kvar i jorden på ett motsvarande (ekvivalent) sätt som den kapillära uppstigningen i små rör. Stora porer ("grova rör") binder vatten svagt och små porer (smala rör) binder vatten starkare. Den relativt svaga gravitationskraften har bara förmågan att dränera bort vattnet från de större porerna  $\approx 0,1$  mm eller större.  $0,1$  mm är en grov siffra och beror på förhållandena på platsen. Siffran är medtagen för att få en grov uppfattning vilka porer olika krafter kan tömma. Växter klarar av att skapa ett större negativt tryck (undertryck) än gravitationskraften och kan därmed ta bort vatten, från mindre porer ( $> 0,0002$  mm). Avdunstningen (evaporationen) från markytan är en ännu större kraft och klarar av att avleda vatten från ännu mindre porer än växterna.

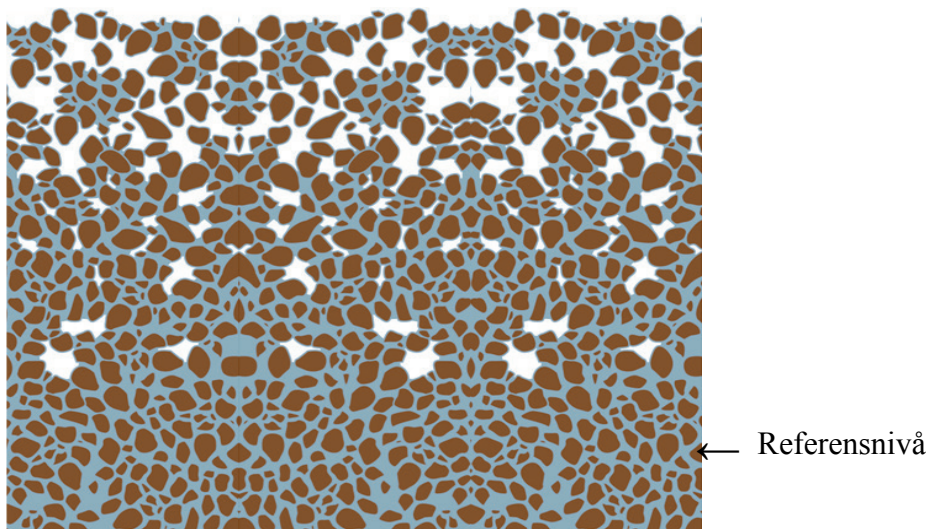
I ett jordblock som är totalt vattenmättat (alla porer är vattenfyllda) finns det inga kapillärkrafter (ingen övergångszon mellan vatten, luft och markpartiklar). Då har vi ett tillstånd på vattnet i jordblocket som innebär att trycket är i grund och botten noll och vattnet är fritt. Det vill säga, det är inte bundet av kapillärkrafterna. Samma förhållanden råder nu i jordblocket, som för vatten som finns precis under grundvattenytan.

Låter vi jordblocket utsättas för gravitationskraften, växternas upptag (transpiration) och evaporationen till atmosfären kommer de största porerna först att tömmas och sedan allt eftersom, mindre och mindre porer. Undertrycket i det vatten som är kvar blir större ju mer vatten som bortförs. Det vill säga vattnet binds starkare och starkare. Det avvattnande tryck som vattnet utsätts för i jordblocket, kan översättas till vilken motsvarande (ekvivalent) pordiameter som krävs, för att klara att hålla kvar vatten i poren, mot det avvattnande tryck som finns. Nedanstående formel 17 kan användas vid beräkning av vilken pordiameter som krävs (Brady & Well, 2008).

$$r = \frac{0,15}{h(\Psi_g)} \quad (17)$$

$r$  = ekvivalent pordiameter (cm)  
 $h$  = avvattnande tryck (cmvp)  
 $\Psi_g$  = lägespotentialen (kPa)

Som kan utläsas av formeln påverkas det avvattnande trycket av höjden från referensnivån vilket illustreras i figur 4.



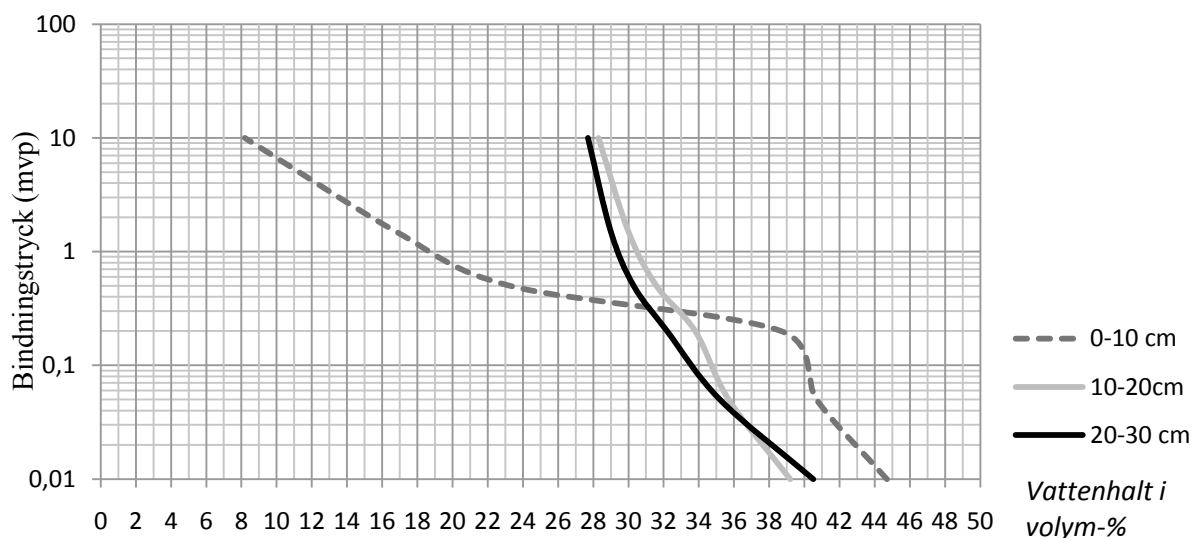
Figur 4. Visar att det avvattande trycket ökar med ökande höjd över referensnivån vilket resulterar i minskande vattenhalt i profilen med ökande avstånd till referensnivån.

### Vattenretentionskurva/Bindningskurva/Bindningskaraktistika

Som vi har sett påverkar porstorleken i kombination med hur stort det avvattande trycket är hur pass fylld poren och porsystemet är och därmed hur mycket vatten som kan dräneras eller vara tillgängligt för växten. Som nämnts tidigare påverkas porsystemets utseende av jordens struktur och textur. Därmed har varje jord en egen förmåga och karaktär att hålla kvar och binda vatten. I och med det har varje jord en egen karaktär på hur mycket vatten som hålls kvar på olika djup.

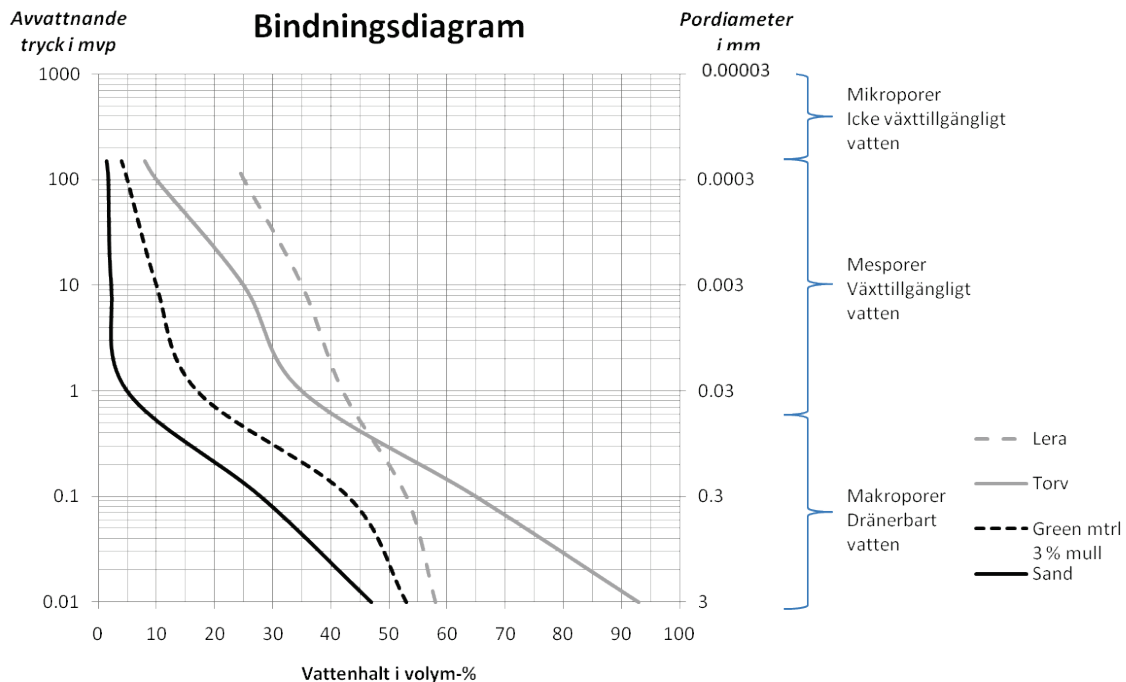
En jords förmåga att hålla kvar vatten kan fås fram genom att utsätta ett prov på jorden för olika avvattande tryck. Processen börjar med att ett vattenmättat prov på jorden vägs och sedan placeras på en avvattningsbädd. Sedan utsätts provet för större och större avvattande tryck genom att referensnivån (grundvattenytan) till provet sänks.

Exempel på hur bindningsdiagram med bindningskurvor kan se ut, se figur 5 och 6.



Figur 5. Vattenretentionsdiagram med bindningskurvor för en jord på tre olika djup. (0-10, 10-20, 20-30 cm)

I bindningsdiagrammet visar den horisontella axeln (X-axeln) mängden vatten i volymprocent av jordens totala volym och den vertikala axeln (Y-axeln), hur stort undertrycket (kapillär potential  $\Psi_m$ ) är i vattnet i enheten Pascal eller mvp. Notera att Y-axel visar undertrycket logaritmiskt och att enheten även kan vara pF eller bar. Hur bindningskurvan kommer att se ut påverkas främst av jordens struktur när det gäller lägre undertryck än -100 kPa. Vid större undertrycket än -100 kPa är det jordens textur som styr kurvans utseende. Alltså påverkar packning som är en form av strukturförstörelse den nedre delen av kurvan och därmed mängden stora porer.

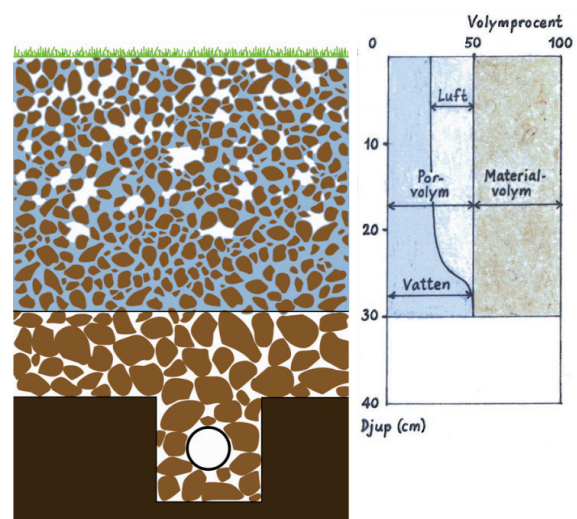


Figur 6. Vattenretentionsdiagram med bindningskurvor för en lera, torv, sand och ett greenmaterial med 3 % mullhalt. Bindningskurvorna bygger på mätningar gjorda vid SLU.

### Volymsdiagram med dräneringskurva

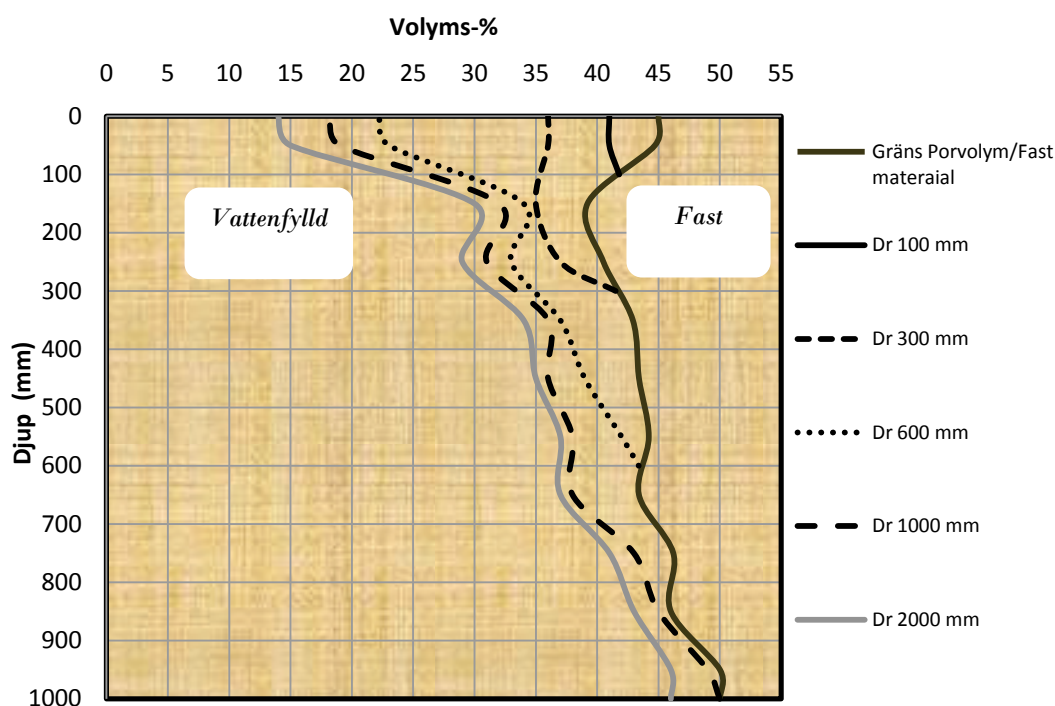
Från ett bindningsdiagram med bindningskurvor går det att erhålla uppgifter som kan användas för att konstruera ett volymsdiagram med dräneringskurvor. Ett sådant diagram beskriver vatteninnehållet på olika djup i en växtbädd ovanför en grundvattenyta eller ett kapillärbrytande skikt, som t.ex. i en green uppbyggd enligt USGAs rekommendationer, se figur 7. Dräneringskurvan som skapas indikerar hur mycket av porsystemet som är vattenfyllt respektive luftfyllt för olika djup vid dräneringsjämvikt.

Genom att inhämta information från bindningsdiagrammet går det att simulera hur förhållandena mellan luft och vatten kommer att förändras, för olika dräneringsdjup.



Figur 7. Profil av en green uppbyggd enligt USGAs rekommendationer, med ett volymsdiagram med dräneringskurva som visar fördelningen mellan vatten, luft och fastmaterial vid dräneringsjämvikt.

Exempel på volymsdiagram med dräneringskurvor för olika djup till grundvattnet, se figur 8. I figuren kan utläsas hur dräneringskurvan förändras med djupet på dräneringsnivån och därmed hur mängden luftfyllda porer ökar vid markytan när djupet till grundvattenytan ökar.



Figur 8. Volymdiagram med dräneringskurvor för dräneringsdjup mellan 0.1 m – 2.0 m.

### Kapillär stigning

Från grundvattenytan kan vatten stiga upp i jordzonen ovan, med hjälp av kapillärkrafterna. Med vilken hastighet och hur högt upp vattnet kan stiga skiljer sig från jord till jord, beroende på att porsystemets utseende skiljer sig. Tabell 2 ger en indikation på värden för olika jordar med avseende på stighöjd och hastighet.

Tabell 2. Stighöjd och hastighet för några olika jordar. Bygger på Eriksson, m fl. (2005)

Kornstorelekar (mm)	Stighöjd (cm) på		Maximal stighöjd (cm)
	24 timmar	48 timmar	
5-2	2,2	-	2,5
2-1	5,4	6,0	6,5
1-0,5	11,5	12,3	13,1
0,5-0,2	21,4	23,0	24,6
0,2-0,1	37,6	39,6	42,8
0,1-0,05	53,0	57,5	105,5
0,05-0,02	115,3	136,0	ca 200
0,02-0,01	48,5	92,2	> 250
0,01-0,005	28,5	-	-
0,005-0,002	14,3	-	-
0,002-0,001	5,5	-	-

Vid grundvattenytan råder atmosfärstryck på vattnet i markporeerna och kapillärpotentialen ( $\Psi_m$ ) och den hydrostatiska potentialen ( $\Psi_h$ ) är här noll. Precis ovanför grundvattenytan finns

en markzon (mättad kapillärvattenzon) vars porsystem är helt vattenfyllt, se figur 9 och 10. Det avvattande trycket är inte tillräckligt stort här för att lyckas dränera något vatten från porerna. Ju högre upp från grundvattenytan vi kommer desto större blir det avledande trycket i vattnet och till slut så stort att kapillärkrafterna och den menisk som de skapar, inte längre klarar av att hålla kvar vatten i de största porerna utan de börjar dräneras på vatten och ersättas med luft.

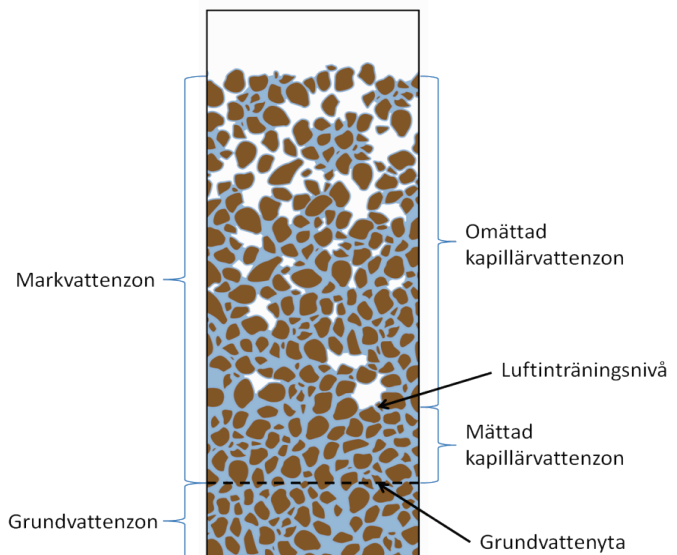
Den nivå i jorden där atmosfärsluft tränger in i porerna heter luftinträgningsnivå (se figur 9). Består jorden av grövre material blir gränsen rätt skarp och tydlig medan den i en finare jord blir mer diffus.

Hur hög den mättade kapillärvattenzonen (eng. capillary fringe) blir, styrs av jordens struktur och textur. Enligt McIntyre & Jacobsen (2000) rör det sig om en höjd på några millimeter för grovkorniga jordar till flera hundra millimeter för finkorniga täta jordar. Enligt Larsson (2008) tabell 3, Adam (1982) tabell 4 och Gibbs & Adam (1994) tabell 5 har följande höjder uppmäts på den mättade kapillärvattenzonen.

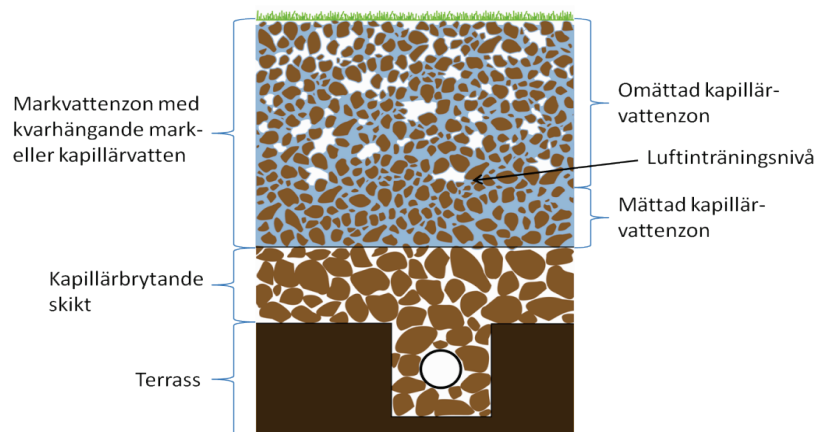
För såbäddsmaterial till greener uppbyggda enligt USGA rekommendationer ligger luftinträgningsnivån på ca 100 mm när materialet är placerat ovanpå ett dräneringsgrusmaterial, som stämmer med USGA:s rekommendationer (McCoy, 2009 [www]). Enligt McIntyre & Jakobsen (2000) ligger luftinträgningsnivån på ca 200 mm upp från grundvattenytan för en lättlera. Hur hög den mättade kapillärvattenzonen blir påverkas av hur tät jorden är. Kompakteras jorden kommer den mättade kapillärvattenzonen att höjas och därmed kan det skapas sämre förutsättningar för en bra miljö för gräsrotter.

Tabell 3. Luftinträgningsnivåer beroende på om materialet är fast eller löst lagrat (Larsson, 2008)

Jordart	Luftinträgningsnivå (mm)	
	Lös lagring	Fast lagring
Grovsand	30 – 120	40 – 150
Mellansand	100 – 350	120 – 500
Finsand	300 – 2000	40 – 3500
Grovsilt	1500 – 5000	2500 – 8000
Mellansilt-finsilt	4000 – 10000	6000 – 10000
Lera	> 8000	> 10000



Figur 9. Markprofil med namn på de olika zonerna med vatten och var luftinträgningsnivån finns.



Figur 10. USGA green i profil med namn på de olika zonerna med vatten.

Tabell 4. Redovisar hur hög den mättade kapillärvattenzonen och den mättade hydrauliska konduktivitet är för olika jordar med olika medelstorlek på partiklar (Adams, 1982)

Diameter på medelstorlekspartikeln	Partikel spännvidd (mm)	Mättad kapillärvattenzon (mm)	Mättad hydraulisk konduktivitet (mm/h)
0.1	0,06 – 0,125	900	130
0.2	0,125 – 0,25	400	360
0.4	0,25 – 0,5	220	600
0.8	0,5 – 1,0	120	5400
1.5	1,0 – 2,0	60	15800

Tabell 5. Luftinträgningsnivå för olika jordar (Gibbs & Adams, 1994)

Namn	Kornstorlekar spännvidd (mm)	Luftinträgningsnivå (mm)
Fingrus	2 – 5	25
Mycket grovsand	1 – 2	50
Grovsand	0,6 – 1	100
Mellansand	0,12 – 0,6	200
Finsand	0,06 – 0,12	400
Mycket finsand	0,063 – 0,06	860
Grovsilt	0,02 – 0,063	2160
Finsilt	0,002 – 0,02	6860

### **Hysteresis**

Beroende på om jorden har varit vattenfylld och sedan dränerats, eller om växtbädden får sitt vatten från t.ex. en grundvattenyta med hjälp av kapillärkrafter, kommer luftinträgningsnivån att hamna på olika nivåer. Man talar om luftinträgningsnivå vid dränering (sjunkning) respektive stigning. Anledningen till att luftinträgningsnivån hamnar på olika nivåer, så kallade hysteresis, beror bland annat på olikheten i porstorlek, som i sin tur skapar olika fenomen som exempelvis den så kallade ”flaskhalseffekten” (ink bottleneck effect).

”Flaskhalseffekten” uppkommer när en makropor är omringad av mindre porer. Den större makroporen kan då inte tömmas på vatten förrän undertrycket i vattnet är så stort, att de mindre porerna inte klarar av att hålla kvar sitt vatten. Detta leder till att fler porer kommer att vara vattenfyllda och zonen med kapillärbundet vatten blir högre vid dränering än vid stigning. Motsatt förhållande uppkommer vid stigning. Grövre porer kan här hindra vatten från att stiga upp till porer som skulle vara vattenfyllda med tanke på storleken vid det rådande undertryck. Vid stigning kan även luft bli instängt i porer som omringas av mindre porer, i och med att de mindre fylls först och därmed hindrar luften från att komma ut. Detta även om undertrycket inte är stort nog för att hindra vatten att komma in. En följd effekt av detta är en lägre perkolationshastighet i och med att inte alla porer, som teoretiskt sett skulle vara med och medverka i jordens perkolationskapacitet kan det. På grund av hysteresiseffekten är det viktigt att jordar som jämförs med varandra, har undersökts med samma metod.

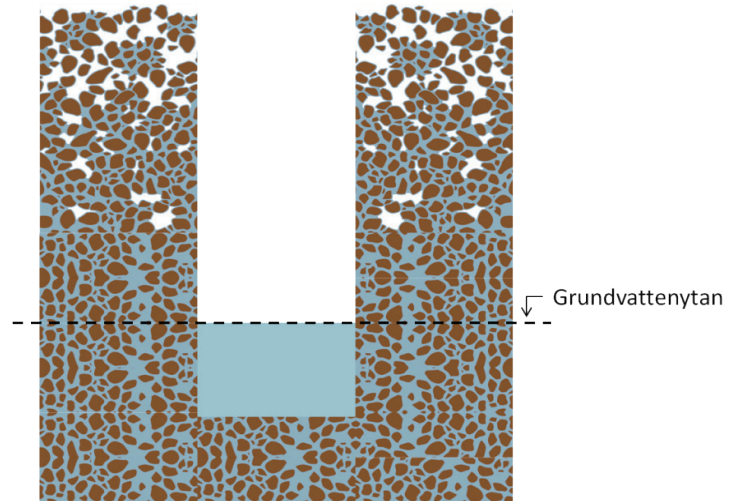
### **Jordens vattenbindande förmåga**

Undertrycket i markvattnet har stor betydelse för växternas förmåga att tillgodose sig med vatten, därför har olika tillstånd och undertryck fått olika namn efter hur det påverkar växten.



*Maximal vattenkapacitet* uppnås när hela porsystemet i jorden är fyllt med vatten. Under normala förhållande existerar detta tillstånd i jord som befinner sig strax ovanför och under grundvattenytan. Det finns en viktig skillnad i dessa två vattenmättade tillstånd. Ovan grundvattenytan är vattnet bundet med kapillärkrafterna och rinner inte in i en grop som når ner till detta djup. I den mättade zonen under grundvattenytan är vattnet inte bundet av kapillärkrafterna (det är fritt) och fyller därmed gropen med vatten till den nivå där grundvattenytan ligger, se figur 11.

Vissa regnintensiteter kan ge upphov till att den övre markhorisonten blir vatten mättad och därmed uppnås den maximala vattenkapaciteten, i hela profilen. Att veta den maximala vattenkapaciteten och hur stort medeljorddjupet är för ett avrinningsområde, är av betydelse vid beräkningar av hur stora mängder nederbörd, som kan tas emot och lagras i växtbädden och därmed inte resultera i ytvattenflöde (Brady & Weil, 2008).



Figur 11. I en grävd grop ställer sig vattennivå på samma nivå som grundvattenytan i växtbädden.

*Dräneringsjämvikt* uppnås när växtbädden har varit helt vattenmättad t.ex. efter ett långvarigt regn och sedan fått dränera till jämvikt. Det vill säga när den nedåtgående vattenströmmen, som orsakas av gravitationskraften avstannar. Observera att det är inget definitivt stopp på vattenströmmen neråt men den avstannar kraftigt. Normalt sett inträffar detta vid ett undertryck på mellan -3 till -30 kPa (0,3 – 3 mvp). Detta tillstånd kallas för dräneringsjämvikt eller fältkapacitet. Nu är det jämvikt mellan gravitationskraften/potentialen och kapillärkraften/potentialen på alla nivåer i växtbäddens markvattenzon. Det vill säga mindre mängd vatten och mer luft ju högre upp du kommer från dräneringsnivån. Vilken vattenhalt växtbädden kommer att ha när dräneringsjämvikt inträffar, är unikt för varje jord och styrs av porsystemets utseende, avståndet till grundvattenytan eller dräneringsnivån. För växter har det stor betydelse var dräneringsjämvikten ligger i och med att den bestämmer, hur mycket av porvolymen som kommer bestå av luft respektive vatten. För att rötterna ska få tillräkligt med syre bör 10-20 av volymen vara fylld med luft. Detta stadium inträffar för grövre jordar redan några timmar efter avslutat regn eller bevattning medan det för finkornigare jordar kan ta flera dygn.

Efter att detta stadium har inträffat kan vatten bara bortföras med en hastighet och volymmängd av betydelse från växtbädden, genom avdunstning eller växtens upptag (Brady & Weil, 2008). Enligt McIntyre & Jakobsen (2000) ska målet med avvattningen vara att uppnå dräneringsjämvikt så fort som möjligt efter ett regn och att dimensioneringen ska beräknas efter att allt vatten till detta läge skall bort. Anledningen är att det är först när växtbädden börjar närma sig dräneringsjämvikt som kapillärkraften och friktionen i jorden börjar bli tillräkligt stark och stor för att stabilisera jorden. Det är först nu som jorden klarar av att belastas och risken för kompaktion börjar minska.

I ett volymsdiagram med dräneringskurvor är det dräneringsjämviktsläget som illustreras och vid bestämning av djupet till grundvattenytan ger diagram därmed hjälp med att belysa mängden luft och vatten som finns för rotsystemet på olika djup.

*Permanent vissningsgräns* utgör gränsen mellan växttillgängligt och icke växttillgängligt vatten och är satt till 1500 kPa (150 mvp). Växterna klarar inte av att skapa ett större undertryck och får därmed inte tillgång till vatten utan dör eller går in i vila. Observera att detta är den teoretiska vissningsgränsen. I praktiken inträffar denna situation ofta innan markvattnet når detta undertryck. Anledningen till att växterna får problem innan detta undertryck uppnås kan vara att de hindras av t.ex. kompakta och täta lager, som hindrar rötternas utbredning och vattentransport. Temperaturen påverkar också hur lättflytande vattnet är och därmed ökar motståndet. Hur väl växterna har genomrotat växtbädden har stor betydelse för deras förmåga att tillgodogöra sig bäddens vattenmängd. Gräs klarar normalt sett av att tillgodogöra sig hälften av vattenmängden ner till den permanenta vissningsgränsen (McCoy, 2009 [www]).

*Hydroskopiskt vatten* kallas det vatten som finns kvar när en jord fått lufttorka och undertrycket i vattnet i jorden uppnått 3100 kPa. Vid denna punkt finns det i stort sett inget kapillärbundet vatten kvar i jorden utan det vatten som finns, sitter med adsorptionskraften som en tunn film på markpartiklarna. I finkornig jord kan andelen hydroskopiskt vatten nå hela 15 vikt % (Eriksson m.fl., 2005).

Läggs jorden in i en ugn för torkning kan den torkas ner till en tension på 1000 MPa (mega pascal). Då bortförs även det hårt bundna adsorptionsvattnet.

## **Faktorer som påverkar vattenflödet i växtbädden**

### ***Mättad och omättad hydraulisk konduktivitet***

En jords förmåga att transportera eller leda vatten kallas för jordens vattenledningsförmåga, permeabilitet, hydraulisk konduktivitet eller genomsläpplighetskoefficient. I arbetet kommer uttrycket hydraulisk konduktivitet (K-värde) att användas. Hur stor en jords hydrauliska konduktivitet är har stort inflytande på processer som, infiltration (jordens förmåga att släppa in vatten genom markytan), avvattning och utbyte av syre och koldioxid mellan markluft och atmosfär.

Definitionen på hydraulisk konduktivitet är mängden vatten ( $\text{cm}^3$ ) som passerar en bestämd area ( $\text{cm}^2$ ) av jord på en viss tid (s) och med en viss hydraulisk gradient ( $\Delta\Psi$  eller  $\Delta H$  = skillnaden i total vattenpotentialen mellan två mätpunkter). Symbolen  $\Delta$  uttalas delta och åsyftar på en förändring av något och i detta fall  $\Psi$  eller  $H$ . Hydraulisk konduktivitet uttrycks vanligen i cm/s eller mm/h (Brady & Weil, 2008).

Det som bestämmer en jords förmåga att leda vatten är porstorleksfördelning, porsystemets utseende, jordens vattenhalt, porernas kontinuitet och hydrauliska gradient. Vattenhalten har stor betydelse för ledningsförmåga och därför mäts oftast den hydrauliska konduktiviteten vid mättat tillstånd och benämns då mättad hydraulisk konduktivitet vilket förkortas till  $K_s$  (s = eng. saturation). Exempel på hydraulisk konduktivitet för olika jordar, se tabell 6 Eriksson m.fl. (2005) och 7 (McIntyre & Jacobsen, 2000). Av tabellen kan det utläsas att  $K_s$ -värdet kan skilja med flera tiopotentialer och att jordar med stor mängd makroporer får ett högre  $K_s$ .

Tabell 6. Olika jordars mättade hydrauliska konduktivitet ( $K_s$ ), (Eriksson m.fl., 2005)

Jordart	$K_s$ (m/s)	$K_s$ (mm/h)
<b>Moräner</b>		
Grusig morän	$10^{-5} - 10^{-7}$	40 – 0,4
Sandig morän	$10^{-5} - 10^{-7}$	4 – 0,04
Moig morän	$10^{-5} - 10^{-7}$	0,4 - $4 \cdot 10^{-3}$
Lerig morän	$10^{-5} - 10^{-7}$	0,04 - $4 \cdot 10^{-4}$
Moränlera	$10^{-5} - 10^{-7}$	$4 \cdot 10^{-3} - 4 \cdot 10^{-5}$
<b>Sediment</b>		
Fingrus	$10^{-5} - 10^{-7}$	$4 \cdot 10^5 - 4 \cdot 10^3$
Grovsand	$10^{-5} - 10^{-7}$	$4 \cdot 10^4 - 4 \cdot 10^2$
Mellansand	$10^{-5} - 10^{-7}$	$4 \cdot 10^3 - 40$
Grovmo	$10^{-5} - 10^{-7}$	400 – 4
Finmo	$10^{-5} - 10^{-7}$	40 – 0,4
Mjäla	$10^{-5} - 10^{-7}$	0,4 - $4 \cdot 10^{-3}$
Lera	$10^{-5} - 10^{-7}$	$< 4 \cdot 10^{-3}$

Tabell 7. Olika jordars ungefärliga mättade hydrauliska konduktivitet ( $K_s$ ), (McIntyre & Jacobsen, 2000)

Jordtyp	Jord beskrivning	Ungefärlig $K_s$ (mm/h)
Silt/Mellanlera 20 - 45 % finpartiklar	Tyngre jordar som inte känns sandiga och när de är blöta kan de rullas ut till stänger som inte lätt bryts. Denna jordart är vanlig på fairway, fotbollsplaner och skolgårdar	5 – 10
Sandig lättlera < 20 % finpartiklar ( $< 0,1$ mm)	Jordar som har en mindre andel finpartiklar. Faller sönder vid försöka att rulla ut till stänger. OBS! Vissa av dessa jordar kompakteras lätt och får en lägre $K_s$	10-50

Efterhand som en jord torkar upp och vattenhalten sjunker blir det färre och färre porer som är vattenfyllda och de porer som har kvar vatten, är mindre till sin storlek. Detta leder till att tvärsnittsytan som kan leda vatten blir mindre och porerna som kan transportera vatten blir färre. Till detta ska läggas att vattnet tvingas att gå omvägar runt luftfyllda områden för att komma fram, vilket resulterar i en märkbar minskning av  $K$ -värdet vid en minskning av vattenhalten.

För att en por ska transportera vatten måste den innehålla vatten och undertrycket i vattnet får inte vara mindre än bindningspotentialen som poren skapar, för då behåller poren vattnet om det finns utrymme. I dräneringssammanhang är det den mättade hydrauliska konduktiviteten som är av intresse vilken går att mäta fram både i fält och på laboratorium. Normalt uppmäts ett högre värde på den mättade hydrauliska konduktiviteten i laboratorium än i fält. Tre till fyra gånger större  $K_s$ -värde är normalt och beror framför allt på att det är svårt att simulera i laboratorium exakt vad som händer i fält och att vattnets temperatur är ca 20°C vilket leder till att vattnet blir mer lätt flytande. Luftbubblor blir lätt inestängda i fält och reducerar därmed flödet, gräsrötter utvecklats i de större porerna vilket bidrar till att reducera  $K_s$ -värdet, så det inte längre stämmer med analysvärdet från laboratoriet. Rötterna kan bidra till att reducera fältvärdet mer än de 3-4 ggr som ovan nämnts. (McCoy, 2009 [www])

Vid mätningar av den hydrauliska konduktiviteten i ett laboratorium har packningsgraden stor betydelse för resultatet. Därför bör mätningar utföras vid flera olika packningsgrader dels för

att se hur packningskänslig jorden är, men även hur den hydrauliska konduktiviteten förändras med packningsgraden (McIntyre & Jakobsen, 2000).

För växters vattenförsörjning är det den omättade hydrauliska konduktiviteten vid olika undertryck som har betydelse för deras tillgång till vatten. Att mäta fram det omättade K-värdet är väldigt svårt och kommer inte att tas upp i detta arbete.

Vilken flödes hastighet som kan skapas i en jord styrs bland annat av storleken på friktionskraften som skapas vid vattenströmning i jord, vilket i sin tur styrs av hur porsystemet ser ut och vattnets hastighet i porerna. Friktionskraften som skapas vid strömning är proportionell till hastigheten på vattnet. Detta förhållande stämmer så länge som strömningen är laminär. Laminär strömning innebär att vattnet förflyttar sig i en jämn ström utan att omblanda sig i t.ex. poren. Sker en omblandning är inte strömningen laminär utan turbulent och då ökar friktionen med hastigheten i kvadrat. Som exempel på en situation där turbulent strömning uppkommer kan nämnas strömmen i en bäck. Vattnet närmast botten har en lägre hastighet på grund av bottenfriktionen och därmed blandas vattenmassan om.

Med hjälp av formel 18 går det att grovt räkna fram ett K-värde för en jord. Av formeln kan utläsas att den hydrauliska konduktiviteten ( $K$ ) förändras med vätskans dynamiska viskositet ( $\eta$ , uttalas *eta*), permeabilitetskonstanten ( $k$ ) och densitet ( $\rho$ ) (Larsson, 2008).

$$K = k \times \frac{\rho \times g}{\eta} \quad (18)$$

$k$ = permeabilitetskonstant	( $\text{cm}^2, \text{m}^2$ )
$\rho$ = vätskans densitet	( $\text{g}/\text{cm}^3, \text{kg}/\text{m}^3$ )
$g$ = tyngdaccelerationen	( $\text{cm}/\text{s}^2, \text{m}/\text{s}^2$ )
$\eta$ = vätskans dynamiska viskositet	( $\text{g}/\text{cm s}, \text{N s}/\text{m}^2, \text{Pa s}$ )

Densiteten och den dynamiska viskositeten förändras med temperaturen på vattnet. I tabell 8 kan utläsas vilka värden på densiteten och den dynamiska viskositeten som erhålls för några olika temperaturer. Som kan utläsas förändras inte densiteten i någon större grad medan den dynamiska viskositeten förändras en del.

Tabell 8. Värden för densitet och dynamisk viskositet vid olika temperaturer (Persson, u.å.)

Temperatur °C	Densitet ( $\rho$ ) Kg/m <sup>3</sup>	Dynamisk viskositet ( $\mu$ ) N s/m <sup>2</sup>
0	999,9	1,792 ( $\times 10^{-3}$ )
5	1 000,0	1,519
10	999,7	1,308
15	999,1	1,140
20	998,2	1,005
25	997,1	0,894
30	995,7	0,801
35	994,1	0,723
40	992,2	0,656
45	990,2	0,599
50	988,1	0,549

Som exempel är viskositeten  $1,005 \text{ Ns/m}^2$  vid en temperatur på  $20^\circ\text{C}$  på vattnet och  $1,519$  vid  $5^\circ\text{C}$ . Detta är en orsak till varför  $K_s$ -värdet skiljer sig från mätningar i laboratorium och i fält. I laboratorium mäts  $K_s$ -värdet fram vid en temperatur på  $20^\circ\text{C}$ . Av samma anledning minskar en växtbädds avvattningsintensitet med temperaturen på vattnet och därmed är den högre på sommaren än på hösten och våren.

Karlsson (1988) skriver att  $K_s$ -värdet styrs i hög grad av storleken på de 20 % minsta partiklarna i en växtbädd och hon rekommenderar för fotbollsplaner ett  $K_s$ -värde mellan 15-40 mm/h. USGA (2004) rekommenderar för golfgreener ett  $K_s$ -värde på såbäddsmaterialet på minst 150 mm/h.

När jord befuktas av regn eller bevattning kan luft bli inestängd i vissa porer och därmed utestängs dessa från att kunna hjälpa till med vattenledning. Liknande situation inträffar om det inte är kontinuitet på porstorlekarna. Finns det bara större porer i alla riktningar som vattnet kan fortsätta att transporteras i, stannar flödet upp tills undertrycket blir så litet att vattnet kan ta sig in i de större porerna. Detta fenomen leder till ett reducerat  $K$ -värde.

En växtbädd är mestadels inte totalt vattenmättad och därmed sker inte vattentransporten under mättat tillstånd utan det sker i omättat tillstånd. Hur det omättade flödet kommer att se ut är mycket svårare att förutspå och mäta. Vid mättat flöde bidrar i princip alla porer till flödet och det är framför allt de större porerna, med kontinuitet som bidrar till flödet. Vid omättat flöde är merparten av de porer som bidrog till det mättade flödet luftfyllda vilket leder till att i en omättad situation är det mindre porer som bidrar till vattenledning. Detta gör att den vattenfyllda (vattenledande) andelen av en tvärsnittssektion av jorden minskar.

I en sandjord som har utsatts för ett undertryck i vattnet på 0,5 mvp (0,5 m till grundvattenytan), har den vattenledande andelen av en tvärsnittssektion av jorden, blivit så liten att hastigheten nedåt i princip har avstannat. För en morän inträffar detta vid ett undertryck i vattnet på ca 1-2 mvp och för lera och mjåla vid ca 3 mvp. Detta innebär att om grundvattnet ligger på ett större djup kommer den att inverka minimalt på markvattenhalten i den övre delen av växtbädden (Jansson, 1980 i Grip & Rodhe, 2000). Tabell 9 illustrerar denna situation att om grundvattnet ligger på ett större djup än 0,5 m i en sandjord, påverkar det inte längre vattenhalten i markvattenzonen.

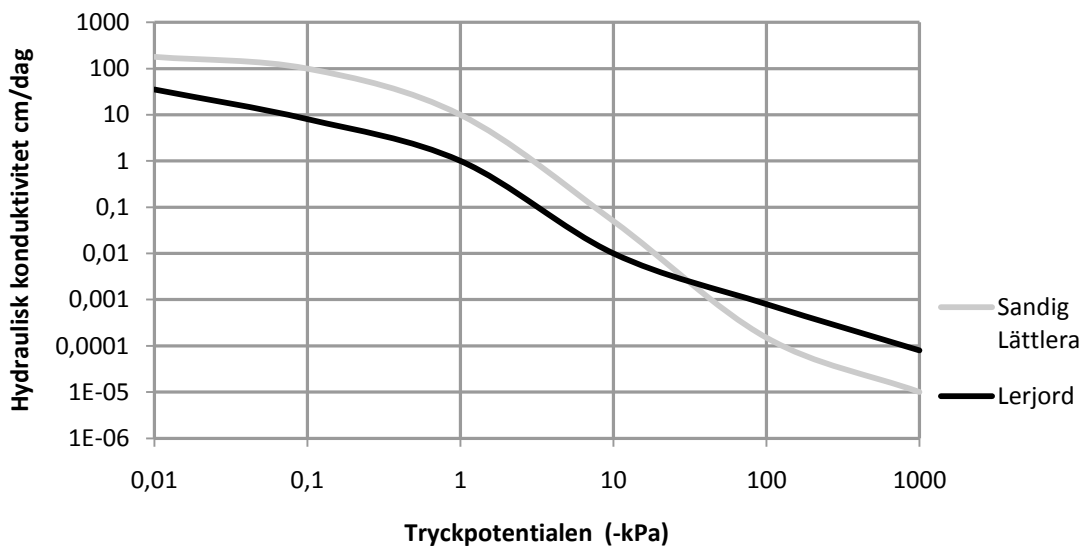
Tabell 9. Hydraulisk konduktivitet och vattenhalt för två olika sandjordar under omättade och mättade tillstånd (Jansson, 1980 i Grip & Rodhe 2000)

Bindningstryck (mvp)	Mycket väl sorterad mellansand		Dåligt sorterad sand med inslag av finmaterial	
	$\theta$ (volym-%)	$K$ (mm/h)	$\theta$ (volym-%)	$K$ (mm/h)
0	39	864	59	252
- 0,25	10	14,04	36	14,04
- 0,5	6	0,04	22	0,6

Precis som i det mättade flödet är det skillnaden i totalpotential som bestämmer i vilken riktning vatten strömmar. Vid omättat flöde är det inte längre gravitationspotentialen som är den drivande och bestämmande kraften. Vid omättat flöde är det kapillära potentialen som styr och vatten kommer att transporteras från områden med högre total vattenpotential till områden med lägre. Alltså från ett fuktigare område till ett torrare (större  $\Psi_t \rightarrow$  mindre  $\Psi_t$ ).

Storleken på den drivande kraften styrs precis som för mättat tillstånd av storleken på potentialgradienten ( $\Delta\Psi/L$ ).

Vatteninnehållet och därmed storleken på den ledande tvärsnittsarean har stor betydelse för hur snabbt och vilka mängder som kan transporteras. Figur 12 ger en bild av hur den hydrauliska konduktiviteten kommer att förändras med hur stort undertrycket är i vattnet i jorden (vatteninnehållet). Vid undertryck 0 kan jordens  $K_s$ -värde avläsas i och med att här är alla porerna vattenfyllda och bidrar därmed till flödet. Av kurvorna går det också att utläsa att sandjorden har fler större porer och därmed större vatteninnehåll vid litet undertryck medan leran har större vatteninnehåll vid stort undertryck, alltså fler mindre porer. Figur 12 visar även att den hydrauliska konduktiviteten har minskat med mer än 1000 gånger vid ett undertryck på 1 mvp (10 kPa) jämfört vid vattenmättat tillstånd. Vid normala förhållanden uppstår rätt snart ett undertryck på 1 mvp i markvattnet efter ett regn och den omättade strömningen är därför låg i både hastighet och volym.



Figur 12. Diagram över hur tryckpotentialen i vattnet påverkar den hydrauliska konduktiviteten. Inspiration från Brady & Weil (2008).

### **Darcys lag för beräkningar av mättade och omättade flöden.**

Fransmannen Henri Darcy utformade en lag 1856 för vad som styr grund- och markvattenflöden. Darcys lag säger att strömningen mellan två punkter i marken är proportionell mot den totala potentialskillnaden mellan punkterna (drivande kraften). Grip & Rohde (2000) uttrycker det på följande vis. "Proportionaliteten mellan friktionskraften och hastigheten utgör den fysikaliska grunden för Darcys lag, som uttrycker sambandet mellan drivande kraft och flöde i marken". Formlerna 19, 20 och 21 visar på tre olika sätt hur Darcys lag kan skrivas i en formel. Vilken som används styrs av vilka parametrar som är kända samt vilken parameter som önskas få svar på. Formlerna 19 – 23 bygger på formler som är hämtade från övningshäftet *Mätning av hydraulisk ledningsförmåga hos modellprofiler Mfö 6* framtaget vid SLU i Ultuna.

$$v = -K_s \times \frac{\Delta h}{\Delta x} \quad (19) \quad Q = -K_s \times A \times \frac{\Delta h}{\Delta x} \quad (20) \quad -K_s = \frac{V \times \Delta x}{A \times t \times \Delta h} \quad (21)$$

$v$	=	Darcys hastighet	(mm/h, m/s)
$V$	=	genomrunnen vattenvolym under mättiden	(cm <sup>3</sup> , m <sup>3</sup> )
$Q$	=	volymflöde/enhet tid	(cm <sup>3</sup> /s, m <sup>3</sup> /s)
$t$	=	mättid	(s, h)
$K_s$	=	jordens mättade hydrauliska konduktivitet	(cm/s, m/s)
$A$	=	jordpelarens tvärsnittsarea vinkelrätt mot flödet	(cm <sup>2</sup> , m <sup>2</sup> )
$h$	=	vattnets totala potential	(cm, m)
$\Delta h$	=	$h_1 - h_2$ potentialförlust eller förlusthöjd	(cm, m)
$h_1$	=	vattnets totala potential vid mätsträckans början	(cm, m)
$h_2$	=	vattnets totala potential vid mätsträckans slut	(cm, m)
$\Delta x$	=	$x_1 - x_2 =$ höjd förändring, den sträcka genom jordmaterialet längs vilken vattnet strömmar och mätning genomförs = mätsträckan	(cm, m)
$x_1$	=	vattnets höjd vid mätsträckans början	(cm, m)
$x_2$	=	vattnets höjd vid mätsträckans slut	(cm, m)

$$\frac{\Delta h}{\Delta x} = \text{potentialgradient} = \text{hydraulisk gradient (dimensionslös)}$$

Om flödesmängden/enhet tid och arean är känd kan Darcys hastigheten räknas fram med hjälp av formel 22.

$$v = \frac{Q}{A} = \text{Darcys hastighet} \quad (\text{cm/s, m/s}) \quad (22)$$

Om genomrunnen vattenvolym för en tid är känd kan flödesmängden/enhet tid framräknas med formel 23.

$$Q = \frac{V}{t} = \text{volymflöde av vatten} \quad (\text{cm}^3/\text{s, m}^3/\text{s}) \quad (23)$$

Det som styr och bestämmer hur stor vattenhastigheten kommer att bli, beror främst på de två drivande krafterna gravitations- och tryckpotential samt friktionskraften som uppstår vid strömning. Friktionskraften som uppkommer vid strömning har ett proportionellt samband med hastigheten. Ju högre hastighet (större drivande krafter) ju större friktionskraft.

Alla anläggnings- och skötselåtgärder som påverkar porsystemet får konsekvenser på  $K_s$ -värdet och då speciellt åtgärder som påverkar förekomsten av bio- och makroporer. Storleken på porerna har en stor påverkan på vilket volymflöde som jorden kan transportera. Studerar vi formlerna och därmed vilka faktorer som styr det kommande volymflödet, ser vi att porers radie är med på två ställen (radien finns med i beräkningen av arean och  $K$ -värdet) och i båda fall med en faktor på två ( $r^2$ ), vilket resulterar att volymflödet blir påverkat med en faktor på fyra. Antar vi att en por har radien 1,0 mm och ger ett volymflöde på  $X \text{ m}^3/\text{h}$ . För att uppnå samma volymflöde men med porer som har radien 0,1 mm, krävs det 10 000 porer med den diametern. Det räcker inte med att skapa en tvärarea som är lika stor som för poren på 1 mm (100 st 0,1 mm porer får samma tvärarea som en por på 1 mm). Friktionen i porerna blir så mycket högre att hastigheten sjunker med hundra gånger. (McCoy, 2009 [www])

Att vattenhastigheten skiljer sig mellan olika jordarter vid mättat tillstånd och förändras sedan olika, ju torrare (större undertryck) de blir, gör att dräneringsförloppet ser olika ut för olika växtbäddar. Exempelvis avvattnas en sandjord snabbt i början och kort tid därefter avstannar den dränerande strömmen i princip helt. En lerjord däremot har inte lika hög konduktivitet inledningsvis och inte lika snabbt avstannande förlopp. Flöden kan ske i lerjordar även vid relativt stora undertryck.

### ***Partikelhastighet & fingerflöde***

Den hastighet vi än så länge har tagit upp kallas för Darcys hastighet ( $v_d$ ) och relaterar till flödets hastighet. Det finns två hastigheter till som bör nämnas och det är tryckets fortplantningshastighet och vattenpartiklarnas hastighet ( $v_p$ ). I och med att det inte är hela tvärsnittens yta som bidrar till flödet (viss mängd tvärsnittsytan är fast material) blir partiklarnas hastighet större. Om vi bortser från att det adsorptiva vattnet inte deltar i flödet, går formel 24 och 25 att använda för att bestämma partikelhastigheten vid mättat respektive omättat flöde (Hendriks, 2009). Ekvationen ger partiklarnas förväntade medelhastighet.

$$v_p = \frac{v_d}{n} \quad (24)$$

(vid mättat flöde)

$$v_p = \frac{v_d}{\theta} \quad (25)$$

(vid omättat flöde)

$v_p$  = partiklarnas hastighet (mm/h, m/s)

$v_d$  = Darcys hastighet (mm/h, m/s)

$n$  = den totala porositeten (%)

$\theta$  = vattenhalten (%)

Inom en jordvolym kan partikelhastigheten skilja sig mycket beroende på om partikeln transporteras i en sprickbildning där strömningshastigheten är stor eller finns i områden som är mindre gynnsamma för strömning (Hillel, 2004).

Tryckets fortplantningshastighet är mycket svårare att räkna på och tas inte upp i detta arbete men den hastigheten är mycket högre än partikelhastigheten.

Vattenflödet vid befuktning av en jord sker inte homogent, utan där det finns sprickor, bio- och makroporer kommer vattnet att transporteras snabbare. Att vattnet transporteras snabbare och därmed skapar en ojämn befuktningsfront resulterar i något som kallas för fingerflöde. Om flödet däremot sker helt jämnt och inget vatten transporteras fortare ner i profilen existerar ett så kallat kolvflöde. Den ojämna strömning (fingerflöde) som uppkommer kan resultera i att bekämpningsmedel och gödselmedel mycket snabbare når grundvattnet än vad det egentligen skulle göra om flödet varit homogent (kolvflöde). Flödet i fingrarna går mycket snabbare och når grundvattnet långt innan hela befuktningsfronten når fram.

Bioporer som skapas av maskar, insekter och döda rötter samt torrsprickor har stor påverkan på  $K_s$ -värdet och hjälper till att skapa fingerflöde. Hydrofobiska områden (vattenavstötande) som lätt uppkommer i sandjord och i det organiska materialet i ytan, påverkar  $K_s$ -värdet negativt och hjälper till att skapa ett ojämnt flöde i växtbädden (Brady & Weil, 2008).

### ***Infiltration/Infiltrationskapacitet***

Växtbäddens förmåga att släppa in vatten i markens porsystem vid jordytan (vattnet övergår från ytvatten till markvattnet) kallas för infiltrationskapacitet ( $i$ ) och själva processen heter infiltration. Det vatten som inte infiltrerar jorden vid nederbörd kommer att skapa



ytvattenflöde eller kvarstående vatten på ytan. För att minska ytvattenbildningen gäller det att i sin avvattningsplan sörja för en så hög infiltrationskapacitet som möjligt. Det gäller även att sörja för att vattnet kan infiltrera där det faller som regn eller bevattning, för att undvika stora belastningar på andra områden (McCoy, 2009 [www]).

Enligt McCoy (2009) kan formel 26 användas för att räkna fram infiltrationskapaciteten.

$$i = \frac{Q}{A \times t} \quad (26)$$

*i* = infiltrationshastigheten (mm/h)

*Q* = volymflöde/enhet tid (m<sup>3</sup>)

*A* = tvärsnittsarea (m<sup>2</sup>)

*t* = tid (s)

Precis som *K*-värdet påverkas infiltrationskapaciteten av jordens textur, struktur och vattenhalt. Infiltrationen påverkas även i hög grad av typ av yttäckning, om t.ex. jorden är bar, belagd med plattor eller är bevuxen med vegetation (McCoy, 2009 [www]).

Vid infiltration av vatten i växtbädden samverkar gravitations- och tryckpotentialen. Inledningsvis när jorden är torr är den hydrauliska gradienten stor men minskar med tilltagande vattenhalt vilket resulterar i att infiltrationen är större i början och avtar med ökad vattenhalt. När jorden har blivit vattenmättad kommer infiltrationshastigheten att stabiliseras och det värde som nu uppmäts, används vid redogörelse för jordens infiltrationskapacitet. Detta uppmätta värde är lika med den mättade hydrauliska konduktiviteten eller något lägre. Följaktligen bestämmer jordens *K<sub>s</sub>*-värde vilken storlek infiltrationskapaciteten kommer att ha när den slutligen nått ett konstant värde.

Vilka porer som är med och bidrar till infiltrationen beror på vilken intensitet nederbörden har och jordens infiltrationskapacitet. Vid lätt nederbörd kommer inte undertrycket i nederbörden att bli så lågt att de större strukturbildade porerna kommer att fyllas med vatten. Det är först vid kraftigare regn när undertrycket i vattnet börjar närma sig noll (mättat flöde) som de kommer att medverka i infiltrationen.

I resonemangen ovan förutsätter vi att jorden är homogen och inga förändringar av den hydrauliska konduktiviteten sker längre ner i växtbädden. Ett tätare och mer svärgeomsläppligt skikt strax under ytan kan på sikt påverka infiltrationen. För jordar med skikt med olika lagringskapacitet och *K*-värden blir processen mer komplicerad. Här kommer infiltrationskapaciteten inledningsvis att bero på en interaktion mellan lagringsmöjligheten av nederbörd och den hydrauliska konduktiviteten i de översta skikten. På sikt kommer det skikt som har den lägsta *K<sub>s</sub>*-värdet i profilen att styra infiltrationsförmågan. Beroende på var det begränsade skiktet finns i profilen, hur intensiv nederbörden är samt hur stor lagringskapaciteten är i de olika skikten, kommer olika skikt bli den begränsande faktorn. Om ett tätare skikt befinner sig en bit ner i profilen kan lagringskapaciteten ovanför, vara så stor att de flesta regn kan mottas och lagras innan begränsningen påverkar infiltrationen i ytan. Lutningen på marken påverkar inte infiltrationskapaciteten men däremot påverkas vattnets chans att infiltrera på plats. Lutar ytan kan inte ytvatten lagras på ytan eller i det översta lagret och infiltrera på plats, utan det rinner av.

Temperaturen på vattnet har också en inverkan på infiltrationskapaciteten. En minskning med 70 % på infiltrationskapaciteten är att räkna med om temperaturen sjunker från 25 till 5 grader

°C (Baker, 1982). Se tabell 8 hur den dynamiska viskositeten hos vattnet förändras med temperaturen.

En växtbädds infiltrationskapacitet kan mätas antingen på laboratorium där ostörda prover analyseras eller i fält med hjälp av så kallade infiltrationsringar. Enligt Hind, m.fl. (2006) uppmättes vid en undersökning av ca 10 år gamla golfgreener i Nederländerna, infiltrationsnivåer på 14 – 278 mm/h med ett medeltal på 125 mm/h. Vid en tidigare undersökning av Baker m.fl. (1995) i Storbritannien, uppmättes infiltrationsintensiteter på 22,2 mm/h för golfgreener med en ålder mellan 0 – 4,9 år. För greener med en ålder av 5,0 – 9,9 respektive över 10 år erhöles infiltrationsintensiteter på 14,1 respektive 10,2 mm/h.

### ***Vattnets infiltration vid tjälning***

Hur stor infiltrationskapaciteten är i en tjälad jord styrs i stor utsträckning av vilken vattenhalt som växtbädden hade vid tjälning. Var växtbädden vattenmättad innan tjälning är infiltrationen i princip noll vid fruset tillstånd. Ju lägre vattenhalt jorden hade vid tjälningen desto högre är infiltrationen. Enligt Grip & Rodhe (2000) klarar en jord som haft låg vattenhalt vid tjälning normalt sett att ta emot och infiltrera allt vatten som bildas när snö smälter. Vid tjälning är det vatten som har det minsta undertrycket som först fryser vilket innebär att vatten i de stora porerna fryser först. Även om det finns vatten i de minsta porerna som inte har frusit vid någon minusgrad, är deras kapacitet att transportera vatten så låg att den kan bortses.

Hur snabbt tjälen tillväxer och försvinner styrs av nettovärmefflödet. En jord med hög vattenhalt har större mängd lagrad energi i form av värme och den buffrar därmed bättre mot frysning än en torr jord. Vind är effektiv på att föra bort och öka värmeförlusten medan solsken tillför värme.

Att sörja för en låg vattenhalt vid tjälning är av vikt för att behålla en hög infiltration under vintern. Särskilt i lågpunkter där normalt sett vattenhalten är högre och infiltrationen därmed blir låg vid tjälning. Lågpunkter är också extra utsatta för ytvattentillrinning som behöver infiltreras. Det ytvatten som inte kan avvattnas fryser lätt till en ogenomsläpplig isskorpa vilken sätter ner infiltrationskapaciteten och luftväxlingen.

### ***Perkolation/Perkulationskapacitet***

Den process som sker när vatten förflyttar sig från por till por i marken under påverkan av gravitations- och tryckpotentialen kallas perkolation. En växtbädds maximala förmåga att perkolera vatten benämns perkulationskapacitet. Perkulationsflödet kan vara av både mättad och omättad natur. När en torr jord befuktas uppträder en skiljelinje (zon) mellan den torrare och befuktade jorden. Denna zon kallas för befuktningsfront och förflyttar sig nedåt allt eftersom nederbörden fortsätter falla och infiltreras. Vid ett lättare regn är det framförallt kapillärpotentialen som är den drivande kraften vid infiltration, perkolation och vid befuktningsfronten. Vid kraftigare regn uppkommer mättat flöde som infiltreras främst via gravitationskraften och vid befuktningsfronten samverkar kapillär- och gravitationskraften. (Brady & Weil, 2008)

Normallt sett minskar den hydrauliska konduktiviteten med djupet på grund av minskad förekomst av bioporer och jordpartiklarna är mer tätt packade av jordtrycket ovanifrån. Tjälen och torkans positiva strukturbildande effekter minskar också med djupet.

### ***Inströmnings- och utströmningsområde***

Avhängigt av topografin och geologin kan grundvattnet ha en nedåt- eller uppåtriktad strömning. Beroende på den vertikala riktning grundvattnet har, kommer dessa områden kallas för inströmnings- eller utströmningsområden. På höjderna kommer grundvattnet att få en nedåtriktad strömning medan i låglänta områden kan grundvattnet bilda ett utströmningsområde. Det går med instrument att ta reda på i vilken riktning grundvattnet strömmar. Ökar totalpotentialen ju längre ner i grundvattenzonen vi kommer, är det kännetecknen för ett utströmningsområde. Minskar totalpotentialen är det ett inströmningsområde.

Detta kan observeras genom att slå ner rör med vattenintag på olika nivåer i grundvattenzonen. Befinner sig vattenytan på en lägre nivå i röret med djupare intag, jämfört med röret med ytligt intag av grundvatten innebär det att vi har en avtagande totalpotential och därmed ett inströmningsområde. Är nivåerna i rören på samma höjd har vi samma totalpotential och därmed inget flöde vertikalt i grundvattenzonen. Observera att detta säger ingenting huruvida vi har ett horisontellt flöde av grundvatten (Grip & Rodhe, 2000).

## **AVVATTNING AV SPORTGRÄSYTOR**

I sportsammanhang är det viktigt att växtbäddens dräneringsförmåga är hög. De ekonomiska intäkterna från sportgräsytor påverkas snabbt om de måste stängas av, på grund av stående vatten på spelytan. Exempelvis får det stora konsekvenser om fotbollsmatcher i Allsvenskan måste avbrytas eller ställas in på grund av att avvattningen av planen inte är tillräcklig. De negativa konsekvenserna kan röra sig om att folk har åkt långväga för att se matchen, spelat på resultatet med pengar och tv-bolag som plöjt ner stora summor i sändningsrättigheter.

Även för golfsektorn Sintorn (pers. medd., 2010) får det negativa konsekvenser i och med att de är beroende av greenfee intäkter för sina ekonomier och några dagars stängning av anläggningen blir kännbar. Likaså fortsätter inledningsvis gräset att växa och behöver klippas vilket är svårt när marken är vattensjuk och risken är stor att packningsskador uppkommer. Att välja rätt avvattningslösning och att dimensionera den rätt är därför av stor vikt.

Målet med den andra litteraturstudien är att beskriva och förklara de vanligaste avvattningslösningarna och därmed svara på frågeställningen; Vilken/vilka avvattningslösningar bör användas till vilka förutsättningar och hur ska de vara konstruerade och dimensionerade, för att fungera effektivt med tanke på hur vattnet rör sig på och i växtbädden?

### **Allmänt om golfbanans avvattning**

Människan har under lång tid medvetet påverkat marken för att öka dess lämplighet som odlingsmark. Bevis finns för att de tidiga jordbrukskulturerna vid Tigris och Eufrat hade kunskap om dräneringens betydelse för växternas produktion och välmående. Även romarna har använt sig av avvattningslösningar och då i form av täckdikningssystem för att kunna påverka och ta kontrollen på grundvattennivån. Till Sverige kom kunskapen om avvattning med täckdikessystem först på 1830-talet genom Edward Nonnen på Degberga gård i Västergötland. Men långt innan dess finns det bevis för att andra avvattningsmetoder har använts. Exempelvis finns det regler i landskapslagarna som kom till på 1200-talet och under Gustav Vasas tid som regent fick fogdarna brev, där han uppmanade dem att hålla dikena välrensade och öppna. (Hallen, 1996)

Att ha en genomtänkt förvaltningsplan över golfbanans vatten, är en nyckelfaktor i att skapa en låg belastning på miljön och lyckas med sina gräsytor och därmed klara en hög skötsel- samt spelbelastning (McCoy, 2009 [www]). Målet med en avvattningsplan är att hela tiden skapa en markmiljö som resulterar i att tillräckligt med vatten hålls kvar i profilen, så att gräset kan ersätta vattenförlusten som sker genom transpiration. Härmed undviks onödig användning av bevattningsanläggningen och grässets behov av vatten tillgodoses. Parallellt med målet att tillgodose gräset med vatten måste marken kunna ta emot nederbörd och avleda överskottsvattnet både från ytan och de stora porerna i växtbädden. Det räcker inte med att det synliga ytvattnet försvinner, utan överflödigt vatten i marken måste också snabbt dräneras, för att rötterna skall få syre och markytan återfå sin stabilitet och därmed klara av belastning utan att kompakteras.

En underdimensionerad eller felaktigt konstruerad avvattning av växtbädden, är den vanligaste orsaken till problem med gräsytor inom golfsektorn (Sintorn, pers. medd., 2009). Likt andra konstruktions- och förvaltningsämnen inom golfen, finns det även inom avvattningsområdet många myter och missuppfattningar. Golfsektorn har i stor utsträckning använt maskiner, tekniker och koncept som används vid vägbyggnation och avvattning av jordbruksmark. I de flesta fall får dessa lösningar förödande konsekvenser, för att förutsättningarna och funktionsbehoven skiljer sig åt. Hur avvattningen av fairway skall ske utelämnas ofta i upphandlingsunderlaget eller så är den tekniska beskrivningen många gånger bristfälligt gjord (McCarty, 2005, McIntyre & Jacobsen, 2000, McCoy, 2009 [www]).

Markavvattning innebär enligt Larsson (2002) permanent avvattning av mark, med målet att öka dess lämplighet som t.ex. odlings- eller rekreationsmark (golfbanor). Exempel på markavvattningsåtgärder är täckdikning, spårdränering, invallning, ytvattenbrunnar, diken och vattenavledning. Berör markavvattningsprojektet flera fastigheter bildas oftast ett dikningsföretag, vars uppgift är att bestämma vad som skall gälla inom avvattningsområdet.

Ami & Kelly (2008) tar upp följande fördelar med avvattning vilka leder till att förbättra områdets lämplighet som sportgräsyta: [Egen översättning]

- *antalet dagar det inte går att spela golf, på grund av för blöta förhållande reduceras*
- *golfbilar kan släppas ut tidigare på våren samt efter regn*
- *förbättrar villkoren för gräs att bilda bra rotsystem som i sin tur ökar plantans tolerans mot torka*
- *tillväxten startar tidigare på våren på grund av högre jordtemperatur*
- *ökar gasutbytet i rotzonen*
- *en hälsosammare miljö för gräs att växa och därmed bättre spelbarhet och utseende*
- *mindre risk för skötselskador från klippare mm*
- *risken för att bollen gräver ner sig (pluggas) eller får en minskad studs reduceras*
- *reducerad risk för packningsskador som i sin tur leder till minskad infiltrations- och perkolationskapacitet samt luftutrymme i jorden*

(Ami & Kelly, 2008, s.2)

## Avvattningsplan

Även om människan inte har påverkat marken i ett landskap, sker någon form av naturlig avvattning. Landskapets naturliga topografi och jordens egenskaper sörjer och bestämmer över den naturliga avvattningen. För vissa ändamål räcker inte den naturliga avvattningen till, utan människan måste gå in och på artificiell väg öka avrinningen. Detta gäller t.ex. golfanläggningar, för vars ändamål den naturliga infiltrationen oftast inte räcker till.

Enligt McCoy (2009) är det därför viktigt att man i ett tidigt stadium upprättar en avvattningsplan som beskriver hur överskottsvattnet snabbt skall tas om hand på artificiell väg. Målet med en avvattningsplan är att minska behovet av framtida hjälpinsatser och en väl fungerande avvattningsplan, från starten av anläggningen. För att lyckas med sin avvattningsplan krävs kunskap och förståelse kring hydrologi, dvs. nederbörd, ytavrinning, grundvattennivåer, infiltration och perkolation.

Vid designandet av en anläggning är det nödvändigt att arbeta i samklang med avvattningsplanen. Behov av att behöva gå in i efterhand och göra dyra hjälpinsatser kan annars öka. Hjälpinsatserna i efterhand får ofta svårt att avhjälpa problemet fullt ut och golfspel samt skötsel blir stört i flera veckor. Även med en väl gjord avvattningsplan är det svårt att förutse behovet av avvattningslösningar, för varenda kvadratmeter inom anläggningen. En viss mängd kompletteringsåtgärder är att räkna med.

### ***Undersökningar och informations inhämtning***

Inför analys arbetet för ställandet av en diagnos måste fakta inhämtas allt från klimat, grundvattenförhållande, topografi, jordmån, vattenavrinning från ytan och bevattningsförutsättningar. Genom att göra en geohydrologisk undersökning erhålls fakta om platsen, varefter en analys sedan kan göras som ger svar på vilka förutsättningar och krav platsen har. Fel bedömning av någon eller en kombination av flera av ovanstående faktorer resulterar i problem med brist på vatten eller överskottsvatten. En lyckad avvattningslösning är oftast ett resultat av att rätt diagnos på tillståndet för området har ställts, utifrån de förundersökningar och prover som gjorts samt att dimensionering av avvattningslösning har gjorts mot funktionskraven som styrs av anläggningens mål och affärsidé samt platsens förutsättningar.

Följande tester krävs normalt vid undersökningar inför avvattningsprojekt enligt Ami & Kelly (2008).

- Texturanalys
- Okulär besiktning med sökande efter avvikande jordfärg som kan tyda på stillastående vatten
- Söka efter mindre genomsläppliga lager
- Identifiera på vilken nivå grundvattenytan ligger
- Mäta den mättade hydrauliska konduktiviteten
- Undersöka befintliga täckdikesrör med avseende på funktion

Från Vägverket (2008) kan inhämtas information över regnintensiteten för olika platser i Sverige, se tabell 26. Av en sådan tabell framgår det hur ofta ett regn med en viss intensitet infaller och hur lång varaktighet det har. Vid dimensionering av olika avvattningslösningar används dessa uppgifter vid beräkningar av vilka flöden som anläggningen måste klara. Dessa regnintensitetstabeller säger inte så mycket om det normala regnet och dess avrinningsbildning. De ger mer en bild av hur de intensivaste regnens avrinningsbildning ser ut och är ett viktigt underlag vid dimensionering av dagvattenledningar för täta ytor.

### ***Val av dimensionerande regnintensitet***

Vid dimensionering av avvattningsystem ska det tas hänsyn till platsens förutsättningar och den typen av nederbördsmonster som faller där. Faktorer som påverkar kan vara om platsen ligger i en region med över- eller underskott på vatten under vegetationsperioden, vilket påverkar behovet av att magasinera vatten. Val av konstruktion och dimensionering kan även styras av recipienten. Enligt Larsson (pers. medd., 2009) är det för många år och bäckar tillåtet att släppa ut som mest 1,5 l/s ha. För att klara detta krävs det att anläggningen har

förmågan att buffra upp nederbörd i dammsystem eller i växtbädden. Finns inte möjlighet att buffra upp i dammsystemen måste en avvattningslösning som fördröjer avvattningen innan dammarna användas.

Beroende på vilken konstruktion som valts är det olika varaktighet på regnen som blir begränsande. En viktig faktor i dessa sammanhang är konstruktionens förmåga att lagra och transportera vatten. Inom jordbruket kan det accepteras en viss lagring av vatten ovan jordytan under vissa perioder. För intensivt använda sportytor finns inte den acceptansen utan nederbörden skall antingen ledas bort eller lagras i växtbädd, slitsar och spår. När nederbördsdata inhämtas skall data från den period under året som påverkar skötsel och spel användas. Inhämtas data från den högsta intensiteten under ett år inkluderas det häftiga åskskurar som företrädesvis inträffar under sommaren. Då är avdunstningen hög tack vare den höga temperaturen, även växtbäddens infiltrations- och lagringsförmåga är då högre. Normalt sett är det inte dessa regn som ställer till de största skadorna på gräsytor (Baker, 1982). Enligt Sintorn (pers. medd., 2009) uppstår det största problemen på golfanläggningar vid tjällossning och under regnperioder på hösten.

Enligt Grip & Rodhe (2000) svarar regnintensiteter på 2 mm/tim för ca 50 % av årsnederbörden och intensiteter upp till 6 mm/h för 80 %. Regnintensiteter på 25 mm/h eller större vilka resulterar i stora vattenmängder som skall tas om hand när de kommer, svarar för ca 6 % av årsnederbörden. Detta kan vara bra att ha i åtanke när man gör en riskanalys för sin anläggning. Observera att dessa siffror gäller för hela året och kan se annorlunda ut under den perioden som behovet av avvattning är som störst utifrån användningsområde. När det gäller hur avrinningsbildningen blir för olika regn gäller det att ha i åtanke att i vissa delar av landet faller nederbörden som snö och kan då orsaka stor avrinning vid snösmältningen på våren.

### ***Andel av nederbörden som kommer att belasta ett avvattningsystem***

Vid dimensionering av täckdikningssystem för jordbruk kommer inte all nederbörd att nå ner till dräneringsrören och grundvattnet. Normalt sett tar det lång tid på grund av den låga dräneringsintensiteten och då hinner en hel del avdunsta både från jordytan och via växterna. Upp till 60 % av nederbörden kan ha avdunstat och därför används en korrektionsfaktor vid beräkningar av dessa system. Beroende på jordens genomsläpplighet och lutning multipliceras nederbörds mängden med en faktor mellan 0,4 och 1,0 för att få ett värde som är mer anpassat efter förutsättningarna (Baker, 1982). För sportgräsytor sker oftast avvattningen snabbt (hög dräneringsintensitet) och all nederbörd måste därför tas omhand.

En annan anledning till att räkna på hela nederbörden är bland annat att avvattningen måste vara effektiv under perioder, när temperaturen är låg och ingen tillväxt och därmed ingen avdunstning sker. Baker (1982) nämner även att där slits/spårdränering läggs är oftast genomsläppligheten låg i växtbädden och allt vatten måste då omhänders.

### ***Återkomsttid***

Vilken återkomsttid som väljs på det dimensionerande regnet bestäms utifrån toleransen att avvattningsystemen blir överbelastat och som får till följd att anläggningen måste stängas, eller risk för andra skador blir för hög. Vilken återkomsttid som väljs är alltid ett övervägande mellan liten risk för skada och hög material- och anläggningskostnad. Klubben eller företaget måste ta ett beslut på hur ofta och hur länge varje gång, det kan vara acceptabelt att hålla anläggningen stängd.

Adams (1981) rekommenderar att dimensionera efter det största regnet som kommer varje år och har en varaktighet på 30 minuter. För att lyckas med så höga krav dräneringsintensiteten krävs en sandbaserad växtbäddskonstruktion i sportsammanhang. Slits- och spårkonstruktioner som lags i befintlig jord har svårt att klara denna intensitet, därför siktar man mer mot att nederbörden är borta inom 24 timmar för dessa konstruktioner (Thornton, 1978).

Baker (1982) rekommenderar vid slits- och spårdränering att dimensionera för den största regnintensiteten som kommer under en 24-timmarsperiod med en återkomsttid på 2 år. För de ytor med de högsta kvalitetskraven (greener, fotbollsplaner) bör regnintensiteten som kommer med ett intervall på 10 år användas. Enligt Karlsson (1988) skulle detta innebära för svenska förhållande en nederbördsmängd på 30 – 35 mm/dag för de flesta delarna i södra och mellersta Sverige. För följande områden kan däremot mängden överstiga 40 mm/dag. sydöstra Skåne, östra Halland, nord östra Dalarna och sydvästra Värmland. Med andra ord, de inre sydvästra delarna av Sverige.

### ***Avrinningsområde & vattendelare***

En pusselbit i arbetet att ta fram en avvattningsplan är att med hjälp av en topografisk karta rita ut vattendelarna och hur de olika avrinningsområdena ser ut. Grip & Rodhe (2000) definierar ett avrinningsområde som hela det området som bidrar till flödet i en bestämd punkt. Skiljelinjen och det som avgränsar olika avrinningsområden kallas för vattendelare. Det innebär att all nederbörd som faller innanför vattendelaren kan bidra till vattenflödet i avrinningsområdets utloppspunkt. Den nederbörd som faller på andra sidan vattendelaren bidrar med flöde till ett annat avrinningsområde. Flyttas den tänka punkten längre ner, ändras de yttre vattendelarna. Detta leder till att två skilda avrinningsområden senare kan hamna inom samma. Exempel på ett litet avrinningsområde, är den yta som bidrar med vattenflöde till en ytvattenbrunn på fairway.

Normalt sett rör sig vattnet alltid längs med slutningarna i terrängen, vilket leder till att vattendelaren kommer att skära höjdkurvorna på en topografisk karta med rät vinkel. Det finns ingen mark på golfbanan eller i landskapet, utan att det ingår i ett avrinningsområde. Informationen om hur stora avrinningsområdena är för olika punkter, kan senare användas vid beräkningar av flöden för dimensionering av ytvattenbrunnar, trummor och rör.

Hur stora flöden av vatten som får släppas ut i bäckar och åar är oftast begränsat av länsstyrelse eller dikningsföretag. Vid beräkningar för att se om det krävs åtgärder, som t.ex. en damm, för att klara begränsningar av flödet, används kartor som visar på avrinningsområdets storlek.

Vid renovering och nybyggnation finns det möjlighet att ändra på hur avrinningsområdet ser ut. Genom att bygga upp t.ex. kullar och skapa svackdiken på fairway, förändras vattendelaren och därmed avrinningsområdets storlek. På så sätt går det att begränsa ytvattenflödets storlek och därmed risken för erosion.

### ***Avdunstning (Evaporation/Transpiration)***

Att mäta avdunstningen från fria vattenytor, is och snö (evaporationen) är relativt enkelt. Svårare är det att mäta evaporationen från våta mark- och vegetationsytor samt avdunstningen av vatten från växternas klyvöppningar (transpirationen). Av denna anledning väljs istället att mäta den totala avdunstningen (evapotranspirationen) som är den sammanlagda avdunstningen från våta ytor och växternas transpiration. Evapotranspirationen (ET) har

räknats fram och för södra och mellersta Sverige beräknas den vara ungefär 1-4 mm/dag och på årsbasis 400 – 550 mm (Grip & Rhode, 2000).

## Olika avvattningslösningar

Det finns flera olika konstruktioner och kombinationer att ta till för att omhänderta den nederbörd som faller och skapa en växtbädd som klarar av trafikbelastning. I texten nedan kommer de vanligast förekommande lösningarna som beskrivs i litteraturen att tas upp. De måttangivelser som anges är inga bestämda standarder. De har tagits med för att ge en bättre bild av hur lösningarna kan se ut.

De avvattningsmetoder som används för sportgräsytor kan indelas i två huvudgrupper, avvattning av yt- eller markvatten (McCoy, 2009 [www]). Det som styr i vilken grupp de hamnar i beror på om de tar hand om överskottsvattnet ovanpå markytan eller i växtbädden. De system som tar hand om överskottsvattnet i växtbädden gör det genom att kontrollera grundvattennivå, mängd vatten i växtbädden eller påverkar jordens infiltrations- och perkolationskapacitet. Metoder som används för att ta hand om överskottsvatten på markytan (avvattning av ytvatten), är exempelvis marklutning, ytvattenbrunnar, svackdiken, slits- och spårdränering. Täckdiken och öppna diken som hjälper till att ha kontroll på grundvattnets nivå, räknas till gruppen avvattning av markvatten. Avskärande diken som tar hand om strömmande sidoflöden i marken inkluderas också till gruppen avvattning av markvatten. En kombination av åtgärder från båda grupperna krävs oftast för att skapa en bra livsmiljö för gräs samt få golfbanan till att bli snabbt skötsel- och spelbar, med minskad risk för kompaktionsskador och uteblivna intäkter från greenfee samt försämring av banans rykte (McCarty, 2005).

Som nämnts ovan delas avvattningen in i yt- eller markavvattning och båda har specifika egenskaper vad gäller kapacitet och intensitet. För ytavvattning beror kapaciteten på hur stor area som kan avvattnas via ytan. Intensiteten är måttet på hur snabbt en area kan avvattnas via ytan eller hur snabbt överskottsvattnet på ytan kan transporteras bort. När det gäller avvattning av markvatten beror kapaciteten på hur djupt det går att sänka grundvattenytan av det totala jorddjupet och intensiteten, till hur snabbt grundvattenytan kan sänkas. I växtbäddar som t.ex. en green uppbyggd enligt USGA:s rekommendationer kan grundvattenytan max sänkas till dräneringsgruslagrets topp, även om dräneringsrören ligger nergrävda på större djup. Dräneringskapaciteten på en USGA konstruktion blir därmed avståndet ner till dräneringsgruset. (McCoy, 2009 [www])

Vid produktion av jordbruksgrödor försämras inte skörden nämnvärt om marken står översvämmad några dagar om det inte sker precis vid skörd eller någon annan känslig period. Behovet av att kunna trafikera och utföra olika aktiviteter dagligen på ytan är låg jämfört med en golfanläggning eller fotbollsplan. Andra skillnader är att jordbruket vill maximera ytan för produktion och ha så få störande avvattningslösningar som möjligt, i form av diken, svackor och brunnar med ytvattenintag. Detta har lett till att avvattningslösningar som fokuserar på kapacitetsegenskaper används i jordbruket och då huvudsakligen någon form av avvattningslösning som leder bort överskottsvatten i markvattenzonen. För golfen är intensitetsegenskaper viktigare eftersom de resulterar i att spelarna snabbt kan komma ut på ytorna efter ett regn. För att klara detta måste fokus ligga på avvattningslösningar med höga intensitetsegenskaper att ta hand om ytvatten. Likaså krävs att grundvattenytan snabbt kan sänkas så att jorden kan återfå sin stabilitet och klara belastning av spelare och maskiner. Att grundvattenytan snabbt kan sänkas är även av betydelse så att syre- och koldioxidväxlingen i



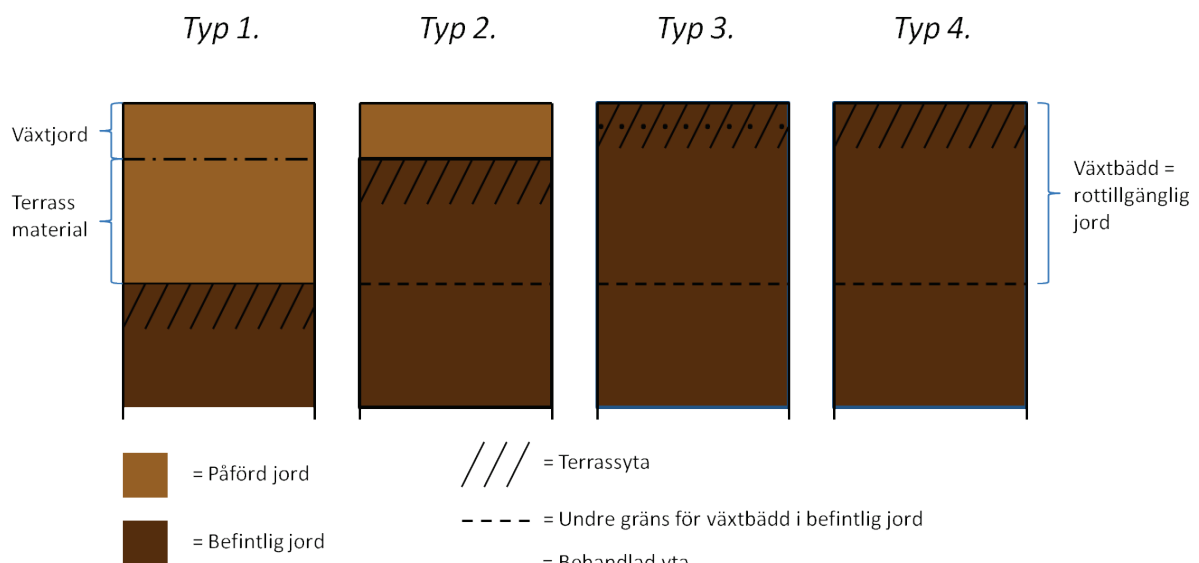
växtbädden kan fungera. Jordbrukslösningar passar därför inte för intensivt skötta gräsytor på golfanläggningar och ett annat sätt att tänka krävs (McCoy, 2009 [www]).

## Typ av växtbädd och dess inverkan på avvattning

I diskussionen kring avvattning är det viktigt att först ha klargjort vilken typ av växtbäddskonstruktion som är den rådande i situationen. Är förutsättningarna på platsen en naturlig växtbädd där inga schaktningar har utförts. Det vill säga en växtbädd typ 3 enligt RA Anläggning 07:s klassificering av olika växtbäddar, se figur 13. Här finns ingen tydlig gräns mellan växtjord och terrass. Växtjordslagret är vanligtvis djupt och går gradvis över till terrass. Den hydrauliska konduktiviteten minskar gradvis med att den organiska halten sjunker och mängden bioporer minskar.

Har schaktmaskiner varit på platsen och skalat av matjorden och modulerat om mineraljorden och sedan pålagt matjord (Växtbädd typ 2 RA-Anläggning 07). Kan det ha skapats två tydliga skikt i profilen, där de olika skikten kan ha stor skillnad i den hydrauliska konduktiviteten. Vid modulering och schaktning av mineraljord uppkommer lätt packningsskador och aggregatstrukturen förstörs lätt. Detta leder till att den hydrauliska konduktiviteten blir lägre i terrassen än i växtjorden ovanför. Vid ett regn infiltreras först stora mängder nederbörd i och med att växtjorden har en hög infiltrationskapacitet. När nederbörden når terrassen bromsas den upp av den mindre genomsläppliga terrassen och en mättad zon med fritt vatten skapas lätt ovanpå terrassen i växtjorden. En så kallad artificiell grundvattenyta har nu skapats. Den mättade zonen kommer att fortsätta vandra uppåt så länge som regnintensiteten är högre än den hydrauliska konduktiviteten i terrassen. I denna situation är det terrassens hydrauliska konduktivitet som styr den fortsatta infiltrationshastigheten. Djupet på växtjorden som normalt uppgår till mellan 50 - 300 mm kommer under dessa omständigheter att få en stor betydelse för hur avvattningsbilden kommer att se ut.

Vid förhållanden med en växtjord ovanpå en mindre genomsläpplig terrass kommer avvattningsintensiteten av markvattnet att styras av tjockleken på växtjordslagret, den hydrauliska konduktiviteten på växtjorden och lutningen på terrassen. Samma scenario som beskrivs ovan med en vattenfylld växtjord kan uppkomma vid sandkapping (se kapitel *Sandkapping*) om inte avvattningssystemet är rätt dimensionerat.



Figur 13. De olika växtbäddstyper som är definierade i RA-anläggning 07 och används av anläggningssektorn.

För att minska risk för packskador vid modulering av terrass skall arbete endast utföras när mineraljorden är torr. Ett sätt att förvissa sig om att jorden är tillräckligt torr för att klara bearbetning, är att ta upp en klump jord och försöka att rulla den till en korv. Går det att rulla jorden till en smal korv, är den för blöt för tyngre markbearbetning som modulering. Kan jorden rullas till en korv som är smalare än 3 mm tål jorden inte ens lätt bearbetning.

Består terrassen av en lerjord kan ett lager kalk på 500 g/m<sup>2</sup> spridas över jorden, för att förstärka aggregaten och minska risken för kompaktionsskador under sådd och etablering. Med tiden kommer kalken att ha lakats ut men då har jorden stabiliserat sig, bland annat med hjälp av gräset rotsystem (McIntyre & Jakobsen, 2000).

Finns det kompaktionsskador i terrassen som kan bli svåra att ta bort efter att växtjorden lagts ovanpå, skall terrassen luckras innan växtjorden läggs ut till ett djup av minst 300 mm. Det bildas även lätt kompaktionsskador när växtjorden läggs ut så en luckring till ett djup av minst 300 mm för att undvika förekomst av täta skikt med lågt K<sub>s</sub>-värde kan föreligga även efteråt.

## Ytavvattning

Enligt McCarty (2005) har gräsytor som efter långt utnyttjande under hög belastning och som fortfarande har en bra gräs- och spelkvalité, det gemensamt att de har en väl fungerande avvattning av ytvatten, vilket gör att inget vatten blir instängt på ytan utan kan avrinna mot en recipient. Ju lägre infiltrationskapacitet som en gräsyta har, desto viktigare blir det att ytavvattningen fungerar effektivt. När det kommer till aspekten hur bra en anläggnings spelbarhet är, påverkas den av hur effektiv och vilken lösning som valts för att omhänderta ytvatten.

Ytvatten bildas när nederbördsintensiteten är högre än infiltrationen eller när grundvattenytan har stigit så högt att den ligger ovan markytan. Hur stor infiltrationshastigheten är bestäms framför allt av två faktorer, porsystemets utseende och växtbäddens vattenhalt. En jord med många makroporer som kan transportera iväg vatten snabbt, har i allmänhet en högre infiltrationskapacitet än en jord med hög andel meso- och mikroporer. Likaså har en torrare jord högre infiltration än en jord där det mesta av porsystemet redan är fyllt med vatten (McCarty, 2005).

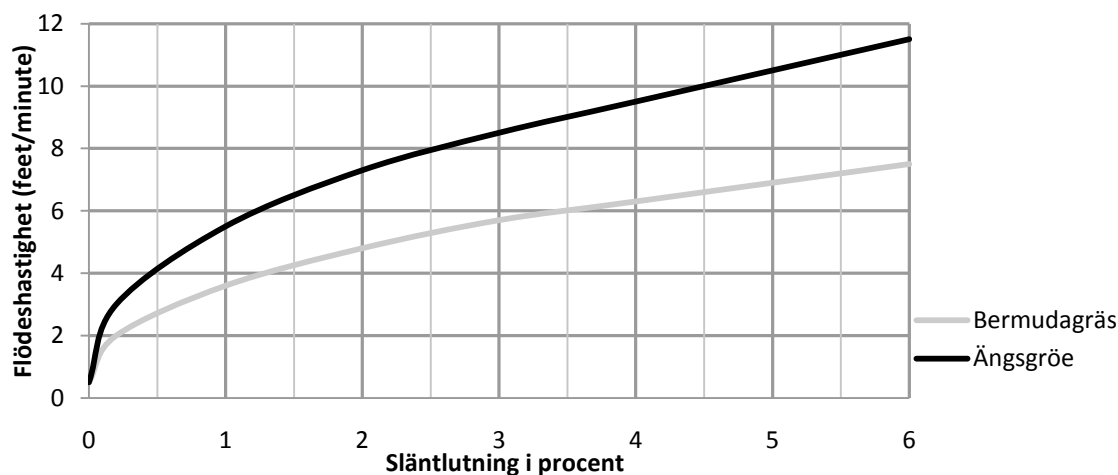
I områden där marken är frusen under vintern och det därmed uppstår en begränsad förmåga hos växtbädden att transportera ner vatten till täckdikningen, gäller det att ytavvattningen fungerar väl. I annat fall bildas det lätt is som förhindrar gas- och vätskeutbyte mellan atmosfär och växtbädd.

Grip & Rodhe (2000) delar in ytvattenavrinning efter vilket sätt den har bildats. Hortonsk ytavvattning = infiltrationskapaciteten överskrids. Mättad ytavvattning = grundvattnet når upp till ytan, ingen infiltration sker.

På en golfbana existerar ytvattenflöde antingen som flöde i gräsbladmassan eller öppet kanalflöde, i diken och svackor. Det som bestämmer hastigheten på flödet i gräsbladmassan är lutningen på underlaget och flödesmotståndet i gräsytan. För öppna kanalflöden gäller andra parametrar vilka finns beskrivna under kapitlet *Öppna diken & svackdiken*.

Undersökningar har gjorts som visar på att tätvuxna gräsarter som krypven *Agrostis tenuis* och bermudagräs *Cynodon dactylon*, har högre motstånd (resistens) än vad icke så tätvuxna

arter, som ängsgröe *Poa pratensis* och rajgräs *Lolium* har. Enligt McCoy (2009) har det gjorts mätningar av vilka flödeshastigheter som skapas vid olika släntlutningar och gräsarter, se figur 14.



Figur 14. Flödeshastighet som en ritad funktion av olika släntlutningar på slänter beväxta med bermudagräs eller ängsgröe vid samma klipp höjd. Bygger på material från McCoy (2009).

Av figuren går det att utläsa att vid 2 % marklutning skapas ett ytvatten flöde på ca 150 cm/min (5 feet/min) för bermudagräs *Cynodon dactylon* och ca 200 cm/min (7 feet/min) för ängsgröe *Poa pratensis*. Med andra ord en ökning med ca 40 %. Räknas hastigheten om till cm/s blir det ca 3,5 cm/s för ängsgröe och ca 2,5 cm/s för bermudagräs.

### Effekt av släntlutning och konstruktion på ytvattenavrinningen

Vid projektering bör det undvikas att göra för långa slänter som vattnet skall transporteras, på grund av risk för erosion. En annan orsak är att det tar lång tid för den nedre delen av dessa ytor att torka upp, i och med att de under lång tid får motta vatten från högre liggande ytor (McCarty, 2005).

I tabell 10 kan utläsas på vilket sätt släntlutning och längd påverkar höjden på vattenflödet (McIntyre & Jakobsen, 2000).

Tabell 10. Visar hur släntlutningen och släntens längd påverkar ytvattenavrinningens höjd

Släntlutning (%)	Slänt längd		
	70 m (mm)	100 m (mm)	150 m (mm)
1,4	2,9	3,6	4,5
1,0	3,2	4,0	5,1
0,6	3,6	4,5	5,7

Ovanstående siffror bygger på en bar jord men vid de låga hastigheter som uppkommer i gräsbestånd, påverkas hastigheten lite av friktionen mot gräset. Av ovanstående tabell kan utläsas att längden på slänten bidra mer till höjden på avrinningen av ytvatten än vad graden på lutningen gör (McIntyre & Jakobsen, 2000).

Följande formel nr 27 kan användas enligt McIntyre & Jacobsen (2000) för att beräkna vilken flödeshastighet en slänt skapar. Formeln bygger på att jorden är bar men de menar att under

tillstånd med låg flödes hastighet erhålls ett adekvat värde. Är hastigheten däremot hög uppnås ett missvisande värde.

$$v = 0,35 \times D^{0,67} \times S^{0,5} \quad (27)$$

$v$  = Flödes hastighet (m/s)  
 $0,35$  = Konstant  
 $D^{0,67}$  = Djupet på det flödande vattnet (mm)  
 $S^{0,5}$  = Släntlutning (m/m) (längd/höjd)

Lutningen på ytan i kombination med hur jämn den är påverkar hur mycket vatten som hindras från att rinna av samt hur stor yta som det kvarhållna vattnet upptar. Exempelvis bildas det en vattensamling som har större yta, bakom en upphöjning vid en mindre lutning jämfört med en större (McIntyre & Jacobsen, 2000).

McCarty (2005) rekommenderar en släntlutning för ytor som fairway och semiruff på mellan 1 – 3 %. McIntyre & Jakobsen (2000) hänvisar till att slänter längre än 70 meter ska undvikas på grund av risken för erosion och kanalbildning. De rekommenderar vidare att lutningen på fairway inte skall understiga 1,4 %. Vattenavrinning från närliggande mark skall hindras att rinna in på spelytor, och bör istället ledas iväg med hjälp av svackor och diken. Många avvattningsproblem uppstår just på grund av att vatten från närliggande ytor rinner in och överbelastar systemet.

### **Ytvattenbrunnar**

I lågpunkter som matas med vatten från lite större områden, räcker inte jordens naturliga dränering eller spårdräneringens avvattningsförmåga till, utan brunnar med intag från ytan kan behövas installeras för att målet med ytan skall uppnås. Andra exempel på platser där en installation av ytvattenbrunn kan behövas är svackdiken som tar emot stora flöden, eller där arkitekterna har arbetat med lågpunkter i fairway, för att skapa bra omhändertagande av ytvatten. Gräsbunkrar kan vara andra arkitektoniska och spelstrategiska formationer som kan behöva ytvattenbrunnar.

Första steget vid dimensionering av ett avvattningssystem med ytvattenbrunnar är att med hjälp av topografiska kartor beräkna hur stort avrinningsområdet är till varje brunn. Framräknad avrinningsyta multipliceras sedan med vald avrinningskoefficient och flödesmängden från ett bestämt regn. Det dimensionerande flödet har nu erhållits som används till att dimensionera inlopp och rörsystem. För mer information om dimensionering av avvattningssystem med ytvattenbrunnar se avsnitt *Dimensionera och räkna på avvattningssystem för omhändertagande av ytvatten*.

Under vissa omständigheter kan ett systems avvattningshastighet behöva begränsas. Det kan exempelvis finnas begränsningar i dikningsföretag för området av hur stora flöden som får släppas ut. En metod är, att begränsa flödes hastigheten på inloppet till en ytvattenbrunn och därmed låta vattnet magasineras ovan ytvattenbrunnen, i botten på sänkan en tid. Risken med att styra flödes hastigheten i dräneringssystemet på detta sett, är att inloppsgallret kan sätta igen med löv m.m. och därmed skapa oönskade mängder ytvatten. Vid beräkning av en ytvattenbrunns inloppskapacitet, används Orifice flödesekvation, se formel 28 (McCoy, 2009 [www]).

$$Q = 12 \times D^2 \times \sqrt{H} \quad (28)$$

$Q$  = Maximalt flöde genom inlopp (l/min)

$D$  = Diameter på öppningen (m)

$H$  = Vattenhöjd ovanför inlopp (m)

### ***Anvisning/Svackdike/Kanal***

Kanaler och svackdiken kan användas för att ta hand om och transportera/leda bort ytvatten från spelytor. Allt från enskilda kanaler till kanaler som byggs ihop till en trädstruktur där ytvattnet först samlas upp i svackdiken/anvisningar, som sedan leder vattnet till kanaler, som i sin tur leder det vidare till större kanaler eller diken. På detta vis kan ett intressant landskap formos som gör golfspelet intressantare och samtidigt skapas en effektiv avvattning av området. I ett avvattningssystem där ytvattenflödet tas om hand genom anvisningar, svackdiken och sedan kanaler gäller det att få en bra övergång av flödet i systemet. Första nivån i ett avvattningsnätverk är anvisningar och svackdiken. De mottar normalt inte vatten från några större områden och därmed blir det inga större toppflöden som skall tas omhand. De flöden som skapas blir inga problem att ta hand om, så fokus i dimensionering skall snarare ligga på att skapa anvisningar och svackor som smälter bra in i miljön och går att klippa. Att transportera vatten på bred front över en lång och svagt sluttande yta är inte effektivt, utan vattnet behöver koncentreras till kanaler och svackor för att minska friktionen och öka hastigheten. (McCoy, 2009 [www])

Kanaler kan byggas med botten i form av ett v, trapets eller parabolisk. För golfanläggningar passar parabolformen, för den smälter bättre in i miljön och är lättare att klippa.

Enligt Ami & Kelly (2008) uppstår lätt problem med svackdiken om någon av följande förutsättningar finns.

- Svackdiken utan installation med dräneringsrör i botten
- Fallet på svackdiket är mindre än 2 %
- Marken i svackan består av låggenomsläpplig silt eller lera
- Regelbunden trafikering med maskiner som resulterar i att ytan blir tät

Enligt McIntyre & Jakobsen (2000) skall svackdikets botten ha en minsta fall på 2 % och bör inte överstiga en längd på 20 m, om den skall anslutas till en ytvattenbrunn.

### ***Öppna diken/Kantdiken***

Öppna diken är vanligt förekommande på golfanläggningar både som mindre diken för att ta hand om avvattning inom området, men även större diken för transport av vatten från angränsande områden. De större dikena regleras ofta av så kallade dikningsföretag eller syneförrättningar och åtgärder som planeras i dessa skall först kontrolleras med Länsstyrelsen. Är det mindre öppna diken som skall anläggas för att skära av ytvattenflöden, krävs det normalt inget tillstånd. Denna typ av öppna diken som även kallas för laggdike, kantdike, avskärningsdike eller backdike innefattas av begreppet detaljavvattning och kräver normalt inte tillstånd. (Larsson, pers. medd., 2009)

Vid anläggande av öppna diken är det viktigt att rätt släntlutning väljs. Här är det jordarten till stor del som bestämmer maximal släntlutning. Följande rekommendationer ger Dräneringscentralen (2001), se tabell 11.

Tabell 11. Rekommenderade släntlutningar för olika jordar och dikesdjup (Dräneringscentralen, 2001)

Jordart	Grävningdjup		
	1,2	2,0	2,5
	<b>Släntens lutning</b>		
Stenjord och torv	1:1,0	1:1,25	1:1,5
Morän och lerjord	1:1,5	1:1,5	1:2,0
Sand	1:1,5	1:2,0	1:2,0

Enligt Svenska golfförbundet (1996) bör släntlutningen vara minst 1:5 om målet är att kunna klippa ända ner i botten på diket. Vilket djup diket skall ha beror på om det även skall avvattna växtbädden och därmed bestäms djupet av vilken jordart, som växtbädden består av och målet med diket. En generell rekommendation på dikesdjupet är 80 – 100 cm men består växtbädden av styv lera bör djupet ökas till 1,2 m. När gamla diken rensas bör grävmassorna transporteras iväg. Breds de ut bredvid diket föreligger risk att de på sikt byggs upp en vall som försvårar för ytvattnet att nå diket.

### **French drains**

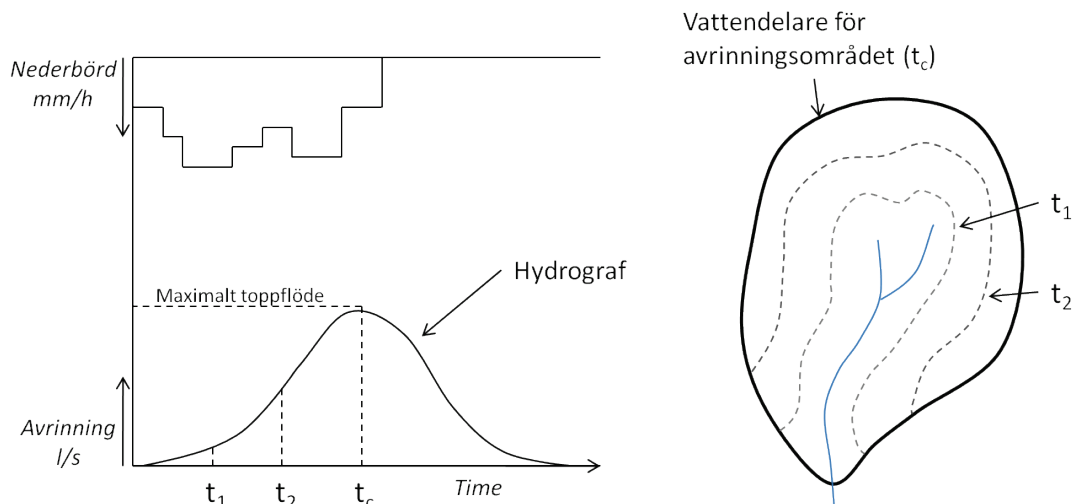
French drains är en avvattningsskonstruktion som ska ta hand om och hindra ytvattenflöden som kommer från omkringliggande högre belägna områden, från att komma in på spelytorna. Utmed det område som producerar ytvattenflödet skapas ett litet svackdike och i botten på det grävs ett schakt som sedan fylls med grus upp till ytan. För att öka på konstruktionens förmåga att ta emot ytvatten, bör ett dräneringsrör anslutas i botten som är kopplad till ett utlopp. Normalt placeras denna konstruktion enbart i ruffytor i och med att de är spel- och skötselstörande. Regelbundet bör en översyn ske för att rensa bort oönskat material som kan täppa igen gruset i ytan.

### **Dimensionera och räkna på avvattningssystem för omhändertagande av ytvatten**

För att kunna dimensionera avvattningssystem som omhändertar ytvatten måste personen ha en insikt i hur flödet till en punkt förändras vid ett regn och vad det är som påverkar hur stort flödet blir. Genom att studera eller konstruera en hydrologisk avrinningsmodell (hydrograf) för ett område går det få en förståelse för hur avrinningen kommer att förändras vid ett regn och hur olika delar av området bidrar till flödet.

Figur 15 är en modell på hur avrinning och flöde kommer att förändras under ett regn, med en intensitet tillräckligt stor för att hela området skall bidra. Vid regnets start bidrar nederbörden inte till något extra flöde vid mätpunkten för avrinningsområdet och är därmed noll.

Mätunkten skulle kunna vara inloppet till en ytvattenbrunn eller vägtrumman under en väg. I systemet finns en viss fördröjning innan flödet når fram och påverkar men relativt snart, börjar de områden som ligger närmast mätpunkten att bidra till att flödet ökar. Ju längre tid som regnet fortlöper, desto större del av avrinningsområde kommer att medverka och då till att öka flödet. Till slut är hela avrinningsområdet involverat och då uppstår det största flödet i utloppet för avrinningsområdet. Nu har avrinningen nått sitt så kallad maximala toppflöde. Flödet kommer nu inte att öka mer, om inte regnintensiteten ökar. Efter att regnet har upphört kommer avrinningen att minska och till slut åter vara nere på noll.



Figur 15. Hydrograf över hur regnintensiteten och avrinningsområdets storlek påverkar avrinningen. Inspiration från McCoy (2009).

Det är inte alla regn vars varaktighet är tillräckligt lång för att hela området skall bli involverat. Dessa regn får en lägre maximal toppflödesnivå. Vid dimensionering gäller det att bara använda värden från det maximala toppflödet, där hela avrinningsområdet har deltagit. Olika regnintensitet får olika maximala toppflöden och en riskbedömningsanalys får göras för varje enskilt fall, för vilken intensitet på regn som skall styra dimensioneringen av kanaler, inlopp, ytvattenbrunnar och rör mm (McCoy, 2009 [www]).

Den tid som krävs för att hela avrinningsområdets yta skall bli involverat och bidra till flödet, kallas för tillrinningstid/framrinningstid ( $t_c$ ). Den skiljer sig för olika avrinningsområden och styrs bland annat av topografi, flödessträcka, ytans flödesmotstånd och markens genomsläpplighet. T.ex. har ett flackt område med lång flödessträcka, högre  $t_c$  än där topografien lutar mycket och avståndet är kort. Likaså blir  $t_c$  större i en skog jämfört med en parkeringsyta på grund av högre flödesmotstånd och att större mängd infiltrerar. Har området ett högt  $t_c$  - värde krävs det ett regn med längre varaktighet. Statistik visar att regn med lång varaktighet vanligtvis har lägre intensitet, än regn med kort varaktighet. Resultatet blir ett stort flöde för ett område med lågt  $t_c$  men den totala vattenvolymen som kommer från regn kan vara litet. Genom att inhämta fakta för ett område går det att räkna fram  $t_c$  och vilken regnintensitet olika avvattningslösningar klarar och vilka flöden samt vattenmängder som skapas. (McCoy, 2009 [www])

### **Beräkning av dimensionerande vattenföring för ytvattenbrunnar, diken och trummor.**

Hur vattenföringen (flödet) kommer att se ut och vilken formel som kan användas bestäms av storleken och vilken typ av mark som skall beräknas. I Vägverkets skrift Hydraulisk dimensionering (2008) delas marken in i naturmark och urban mark. Denna uppdelning görs för att flöden som bildas vid en viss typ av regn ser olika ut för olika marktyper. Tittar man tillbaka på mätningar som gjorts, ger en naturmark vanligtvis de största flödena när de naturliga magasinerna (marken och våtmarkerna) är fyllda. Denna situation inträffar på våren vid snösmältningen och på vinter vid mildt väder och kraftiga regn. Från urban mark bildas de kraftigaste flödena efter intensiva sommarregn. Anledningen är att de inte finns några magasin som kan buffra i en urban miljö. Andelen hårdgjorda ytor har i urban miljö stor betydelse.

Det som bestämmer om ett område skall klassas som urban mark eller naturmark är mängden hårdgjord yta där nederbörden snabbt kan rinna av. Skiljelinjen är satt till 3,75 % hårdgjord yta av den totala ytan som avvattnas. För att räknas som naturmark krävs det också att den största avrinningsmängden inträffar vid snösmältning och är därmed det som styr dimensioneringen. Hamnar mängden hårdgjord yta i närheten av 3.75 % är rekommendationen att kontrollberäkningar utförs med båda typer av beräkningsmetoder. (Vägverket, 2008)

En stor skillnad vid beräkningar av flödet från urban mark och naturmark är att i beräkningen av urban mark används 10 års regn medan det i dimensionering av naturmark räknas på 50 års regn. Skillnaden mellan dessa regn brukar sättas till att 50 års regn ger 1,4 ggr mer nederbörd än ett 10 årsregn (Vägverket, 2008).

### ***Rationella metoden***

När ett ytvattningssystem skall dimensioneras behöver det tas fram uppgifter på avrinningsområdets maximala toppflöde. Enligt McCoy (2009) finns det flera olika sätt att räkna fram det maximala toppflödet, men den vanligaste i golfsammanhang är att använda sig av Rationella metoden. Oavsett vilken beräkningsmodell som används måste uppgifter på områdets storlek, användning, växtbäddens egenskaper och lutning samt ett regn med en förväntad karaktär inhämtas.

För att Rationella metoden skall fungera och ge ett rättvisande resultat krävs att området uppfyller följande kriterier enligt Vägverket (2008).

- området måste vara relativt rektangulärt
- ej större än 100 ha
- är homogent vad gäller egenskaper som påverkar avrinningsbildning

Har inte området tillräckligt rektangulär form eller att det är för heterogent, går det att dela in området i mindre rektangulära bitar. De olika områdenas vattenföring sammanvägs sedan till ett totalt flöde för hela avrinningsområdet (Vägverket, 2008).

Rationella formeln ser ut på följande vis enligt Vägverket (2008), se formel 29.

$$Q_{dim} = i \times A_r \quad (29)$$

$Q_{dim}$  = maximala toppflödet (l/s)

$i$  = nederbördsintensitet efter vald återkoms tid och varaktighet (l/s km<sup>2</sup>)

$A_r$  = reducerad area (km<sup>2</sup>)

I litteratur från USA är det vanligt att formel 30 används vid beräkning av flödet med Rationella metoden (McCoy, 2009 [www]). Skillnaden mellan de två är att i Vägverkets formel är arean redan multiplicerad i ett tidigare skede med avrinningskoefficienten och kallas därmed för reducerad area.

$$q = C \times i \times A \quad (30)$$

$q$  = maximalt toppflöde (l/s)

$C$  = avrinningskoefficient. Varierar beroende på markanvändning och växtbädd.

$i$  = nederbördsintensitet (l/s ha)

$A$  = area (ha)



För avrinningsområden som är mindre än 900 m<sup>2</sup> är det inte kostnadseffektivt att använda Rationella metoden med ovan utseende, för uträkning av maximalt toppflöde. Istället inhämtas uppgifter på intensiteten för ett bestämt dimensionerande regn (*i*), flödeskapacitet för dräneringsröret för aktuellt fall (*Q*) och avrinningskoefficienten (*C*). Med dessa uppgifter och formel 31 kan beräkningar göras på hur stor markytan (*A*) kan vara som levererar vatten till en ytvattenbrunn. (McCoy, 2009 [www])

$$A = Q(C \times i) \quad (31)$$

*Rinntid (T)*. Vid framtagandet av nederbördsintensiteten (*i*) måste en rinntid först räknas fram. Som nämnts tidigare är det först när hela området medverkar som det maximala toppflödet uppnås. Därför räknas rinntiden först ut med formel 32 och den tid som fås, är den varaktighet på regnet som skall användas.

$$T = \frac{107 \times L^{0,33}}{M \times S^{0,2}} \quad (32)$$

*T* = Rinntid (min)

*M* = Mannings tal (I engelsk litteratur används *n* istället, vilket är det inverterade värdet på *M*,  $n = 1/M$ )

*L* = Rinnsträcka (m)

*S* = Lutning (m/m) (längd/höjd)

Följande Mannings tal i tabell 12 rekommenderas av Vägverket (2008) att använda vid framräkning av rinntid.

Tabell 12. Mannings tal (*M*) för olika ytor som används vid beräkning av rinntid (Vägverket, 2008)

Yta	Mannings tal
Slät asfalt eller betongbeläggning	80-85
Grov asfalt eller betongbeläggning	70-75
Grusyta	40-50
Kort gräs	30-35
Långt gräs	25-30

Följande uppskattade hastigheter i tabell 13 kan användas för att räkna fram rinntid enligt Vägverket (2008).

Tabell 13. Uppskattade hastigheter vid beräkning av rinntid enligt Vägverket (2008)

Föremål	Hastighet
Ledningar i allmänhet	1,5 m/s
Tunnel och större ledningar	1,0 m/s
Dike och rännsten	0,5 m/s
Grunda diken	0,2 m/s (max c:a 300 m)
Markyta	0,1 m/s (max c:a 100 m)

Längdbegränsningarna i tabell 13 för grunda diken och markyta har tillkommit för att vattenflödet framkallar efter ett tag en liten rännil, som i sin tur kan skapa erosion vilket vill undvikas.

McCoy (2009) rekommenderar värden enligt tabell 14 för klippta gräsytor med ett släntlutningsintervall mellan 1 – 20 % och en total längd mellan 91,44 m (300 feet) och 3048m (10 000 feet).

Tabell 14. Tid till att hela avrinningsområdet medverkar till avrinningen i en bestämd punkt McCoy 2009

Längd (m)	Längd (fot)	Släntlutning (%)						
		1	2	4	7	10	15	20
		Rinntid (minuter)						
91,44	300	4	3	2	2	2	1	1
152,4	500	6	4	3	3	2	2	2
304,8	1000	9	7	6	4	4	3	3
609,6	2000	16	12	9	8	7	6	5
1219,2	4000	27	21	16	13	11	10	9
1829	6000	37	29	22	18	15	13	12
2438	8000	47	36	27	22	19	16	15
3048	10000	55	42	32	26	23	20	17

För att få fram en nederbördsintensitet måste också en återkomstfrekvens bestämmas, dvs. med hur många års mellanrum statistisk sett detta regn skall inträffa. När återkomstfrekvens och varaktighet är känd inhämtas ett Z-värde för det aktuella området ut från en Z-värdeskarta över Sverige. Sverige är indelat i olika Z-värdesområden efter hur regnintensiteten ser ut för området. Ju högre Z-värde desto högre regnintensiteter före kommer inom området. Detta värde används sedan för att inhämta rätt regnintensitet från den tabell som gäller för det aktuella området. Exempel på en regnintensitets tabell för Z-värde 28, se tabell 15.

Tabell 15. Regnintensitets tabell för Regional parameter Z=28

		Minuter							Timmar					
		10	15	20	25	30	40	50	60	2	4	6	12	24
T	l/s/km <sup>2</sup>	13080	10880	8720	7440	6530	5310	4530	3970	2410	1460	1090	550	400
12	mm	7,6	9,6	10,5	11,2	11,7	12,7	13,6	14,3	17,4	21,1	23,6	28,7	34,6
24	l/s/km <sup>2</sup>	15840	12930	10580	9010	7910	6430	5480	4820	2920	1770	1320	800	490
	mm	9,6	11,6	12,7	13,5	14,2	15,4	16,4	17,3	21,0	25,5	28,6	34,7	42,2
60	l/s/km <sup>2</sup>	20400	16050	13600	11600	10180	8280	7080	6190	3760	2280	1710	1040	630
	mm	12,2	15,0	16,3	17,4	18,3	19,9	21,2	22,3	27,1	32,9	36,8	44,7	54,3
120	l/s/km <sup>2</sup>	25080	20470	16720	14260	12520	10190	8680	7610	4520	2810	2100	1270	770
	mm	15,0	18,4	20,0	21,4	22,5	24,4	26,0	27,4	33,3	40,4	45,3	55,0	66,7

*Avrinningskoefficient ( $\phi$ ).* Vid beräkning av avrinningskoefficient är det flera parametrar som skall tas i beaktande. Faktorer som topografi, markanvändning, karaktär på vegetation, typ av jord i växtbädd och jordens fuktighet, värderas och summeras ihop. Regnets intensitet, karaktär och återkomsttid spelar också en roll för hur stor avrinningen blir. Tabell 16 och 17 är en hjälp vid beräkning av avrinningskoefficient för ett ruralt område. Tabell 16 är uppdelad i fyra olika hydrologiska jordgrupper. Nedan följer en översättning av den indelning som de olika hydrologiska jordgrupperna har (Mark A. Marek 2009 [www]). [Egen översättning]

*Grupp A. Marken har en låg avrinningspotential på grund av hög infiltrationsnivå även vid mättnad ( $K_s$ -värde på 7,6 mm/timme till 11,4 mm/timme). Dessa jordar består i huvudsak av djup sand eller aggregerad silt.*

Grupp B. Marken har en låg till måttlig avrinningspotential på grund av måttlig infiltrationsnivå vid mättnad ( $K_s$ -värde på 3,8 mm/timme till 7,6 mm/timme). Dessa jordars djup är i huvudsak måttligt till djupt, med måttligt bra till väl-dränerade jordar och har en måttligt fin till måttligt grov textur (ex. sandig lerjord).

Grupp C. Marken har en måttligt hög avrinningspotential på grund av långsam infiltrationsnivå ( $K_s$ -värde på 1,3 mm/timme till 3,8 mm/tim). Dessa jordar utgörs främst av mark där ett skikt nära ytan hindrar vatten från att röra sig nedåt eller mark med måttligt bra till fin struktur som t.ex. sandig siltig mellanlera, grund sandig lättlera, mark med lågt organiskt innehåll, och mark som vanligtvis har hög lerhalt.

Grupp D. Marken har en hög avrinningspotential på grund av långsam infiltrationsnivå ( $K_s$ -värde på mindre än 1,3 mm/h vid mättnad). Dessa jordar består i huvudsak av lera med hög svällningspotential, jordar med ständigt höga grundvattennivåer, jordar med ett lerlager på eller nära ytan, yligt jordlager över nästan ogenomträngliga terrassmaterial som jordar som sväller kraftigt när de är våta eller mycket plastiskt ler.

(Mark A. Marek 2009 [www])

Tabell 16. Avrinningskoefficient i procent för olika marktäckning, hydrologisk kondition och hydrologisk jordgrupp (Mark A. Marek 2009 [www])

Hydrologisk jordgrupp	Avrinningskoefficient i procent											
	A			B			C			D		
Återkomsttid	5	10	100	5	10	100	5	10	100	5	10	100
<b>Markanvändning</b>												
Gräsytor												
50 % -75 % grästäckning	10	10	15	20	20	25	30	35	40	30	35	40
75 % grästäckning eller högre	5	5	10	15	15	20	25	25	30	30	35	40

Tabell 17. Avrinningskoefficient i procent för olika marktäckning (Vägverket, 2008)

Typ av yta	Avrinningskoefficient upp till 10 års återkomst (%)
Tak	0,9
Betong och asfaltsyta, berg i dagen i stark lutning	0,8
Stensatt yta med grusfogar	0,7
Grusväg, starkt lutande bergigt parkområde utan nämnvärd vegetation	0,4
Berg i dagen i inte allt för stor lutning	0,3
Vägslänter beroende på ytbekladnad och lutning	0,2-0,4
Grusplan och grusad gång, obebyggd kvartersmark	0,2
Park med rik vegetation	0,1
Odlad mark, gräsyta, ängsmark mm	0-0,1
Flack tätbevuxen skogsmark	0,1

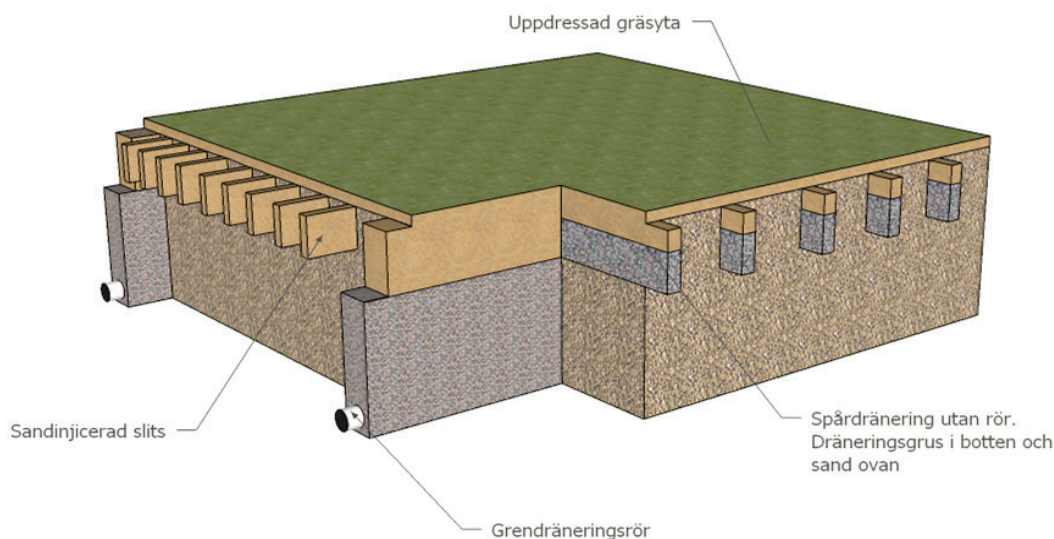
(Vägverket, 2008)

## Avvattningssystem med slitsar och spår

I slutet på 60-talet konstaterades att anledningen till att gräsytor inte klarade av belastningen från fotbollspel, inte berodde på att täckdikensrören inte fungerade. Gräsyornas dåliga belastningsegenskaper och dräneringsförmåga berodde istället på att transporthastigheten genom växtbädden var för låg, i förhållande till behovet att bli av med vatten snabbt. Framför allt de översta 100 mm av växtbädden blir lätt täta och kompakta på grund av spel och trafik.

Branschen började då experimentera med att göra vertikala slitsar och spår från ytan och ner i växtbädden som fylldes med sand. Målet med dessa var att ta emot och avleda stående ytvatten antingen till en zon med högre genomsläplighet längre ner i profilen eller förbinda dem med täckdikessystemet. Resultatet först efter några misslyckade försök blev en höjning av ytans dräneringsintensitet och sedan dess har tekniken att avvattna med slitsar och spår förfinats samt utvecklats och används nu världen över (Gibbs, 2010 [www]).

Beroende på förutsättningar och kvalitetskrav byggs dessa system upp med både slitsar och spår eller bara en av dem. Figur 16 illustrerar ett exempel på avvattningskonstruktion där dressning av gräsytan, slitsar, spår och grendraineringar ingår. Slitarna är anslutna till spårdräneringen som i sin tur är ansluten till täckdikningssystemet.



Figur 16. Avvattningssystem bestående av dressad yta, slitsar, spår och ett täckdikningssystem.

Med spårdränering syftas i detta arbete på ett vertikalt grävt eller fräst spår med en bredd på 25 – 75 mm och ett djup på 200 – 600 mm och där materialet som grävs upp forslas bort. En dräneringsslang placerad i botten på spåret och överfylls med grus/sand, med en hög genomsläplighet ända upp till markytan. Oftast uppnås inte en acceptabel transporthastighet på vattnet i sidled i spåret med enbart dräneringsgrus, utan ett dräneringsrör behöver installeras (Se uträkningar under kapitlet Hooghoudts formel). Dräneringsrören i spåren är sedermera ihopkopplade med täckdikningssystemet för att leda bort överskottsvatten till en recipient. Avstånd mellan spår är oftast mellan 1,0 – 5,0 m vilket bestäms av markens lutning och genomsläplighet samt anläggningens kvalitetskrav. Rören i spåren kan exkluderas om ett jordlager med hög genomsläplighet finns i kontakt med spåret, som kan leda bort vattnet nedåt till grundvattnet. (Gibbs, 2010 [www])

Den andra typen av sandfylld vertikal fåra kallas slitsdränering och är en sandinjicerad slits med en bredd på ca 25 mm och med ett c/c på 200 – 500 mm. Dessa slitsar görs med en plogkropp/kil som pressar jorden åt sidan och skapar därmed en slits som kan sandfyllas. Vanligtvis placeras i samband med slits/spårdränering någon form av sandlager ovanpå markytan. Det kan vara i form av sanddressningar som på sikt bygger upp ett sandskikt och där gräset under tiden växer med upp i skiktet. Den andra metoden kallas för sandkapping och innebär att ett sandlager på ca 50 – 200 mm placeras ovanpå växtbädden. I detta sandlager sker sedan grässådden. Mer om sandkapping följer i ett separat stycke. Ovanstående

dimensionering är bara exempel på vanligt förekommande måttangivelser för ett spår/slitsdräneringssystem. Inför varje projekt måste uträkningar göras som bygger på platsens förutsättningar och målet med anläggningen. (Gibbs, 2010 [www])

Följande spåravstånd i tabell 18 rekommenderar Ami & Kelly (2007) för följande situationer.

Tabell 18. Rekommenderade c/c avstånd mellan spår i en spårdräneringssystem

Spåravstånd	Förutsättningar/förhållanden
1,5 – 2 m	Plana markförhållanden bestående av finkorniga jordar
2 – 2,5 m	Svagt sluttande mark med moderat genomsläpplighet
> 2,5 m	Brant sluttande mark bestående av grövre jordar

Ovanpå en spårdränering skall inte någon grästorv placeras om inte jorden har spolats bort först. En slits eller spår fungera bara effektivt så länge som sand eller grus når hela vägen upp till ytan. Den naturliga jorden eller jorden i grästorvan har för låg genomsläpplighet och kommer att reducera systemets dräneringsintensitet om det placeras på spåret. Oftast lämnas spåret öppet och gräs från kanterna får växa in och täcka sanden. Sådd med gräsfrö kan skynda på igenväxningsprocessen av spåret. (McIntyre & Jacobsen, 2000)

När växtjorden i markytan blir vattenmättad kan de mindre partiklarna lätt slammas upp i överskottsvatten på ytan och transporteras iväg med ytvattenflödet och senare sedimentera ovan på slits- och spårdräneringar. Efter några år kommer den organiska halten och mängden finmaterial som transporterats dit av ytvatten och vind begränsa slitsen och spårets förmåga att infiltrera nederbörd. Om inga insatser sätts in för att späda ut det organiska materialet och hindra finmaterial från att transporteras till slitsen, kommer dess tekniska livslängd att begränsas till ca 3 - 5 år. En giva dressands över hela sportgräsytan på 150 – 200 t/ha efter installationen och en årlig giva därefter på hälften, förlänger systemets livslängd samt kan även förbättra den övre delen av växtbädden vad gäller dränering och spelbarhet (McCoy, 2009 [www]). Att öka den naturliga infiltrationen med hjälp av luftningsåtgärder och därmed minska risken för ytvattenflöden förlänger också systemets livslängd. Mer om förvaltning av den organiska halten i ytan och maskars utspädning av sandkapping och dressand i kapitlet *Sandkapping* nedan.

Det som gör att slits- och spårdräneringar har blivit populära är att de kan reducera och ta hand om ytvattenbildning och detta utan en fullständig rekonstruktion av sportytan. Det fungerar även att dela upp renoverandet av anläggningen med spårdränering, till att det görs vid flera tillfällen. Därmed kan kostnaden för arbetet fördelas och göras när pengar finns. Kostnaden att installera ett spårdräneringssystem på en sportgräsyta med låg dräneringsförmåga kan variera stort enligt Gibbs (2010), men ligger oftast runt 25 % av att göra en fullständig rekonstruktion med en sandbaserad växtbädd. Orsaken till den lägre kostnaden är att endast ca 5 % av växtbädden bearbetas och ersätts med sand samt att ett tunnare sandlager placeras ovanpå.

Det finns även nackdelar och risker med att installera ett spårdräneringssystem om förutsättningar inte är de rätta. En förundersökning om förutsättningarna är de rätta bör alltid göras innan start. En slits- och spårdräneringskonstruktion påverkar inte det vatten som redan finns i marken och är bundet med kapillärkrafterna. Det är endast det vatten som är fritt i och ovan mark som konstruktionen kan ta hand om. Det innebär att växtbädden vid sidan av

spåret kan vara mer eller mindre helt vattenmättad och ändå inte släppa något vatten till spårdränningen. Grundvattenytan måste ligga högre än botten på spåret/slitsen innan något vatten dräneras från växtbädden. I och med att fallhöjden är liten blir den dränerande förmågan på växtbädden väldigt liten och kan i dessa sammanhang bortses ifrån. (McIntyre & Jacobsen, 2000)

Att installera spårdränning i lerjordar med hög sväll- och krypningsförmåga kan få negativa konsekvenser, se figur 17. Sand ändrar inte sin volym som jordar med hög lerhalt gör vilket kan leda till att ytan blir ojämn. Ytan kan även få ett ojämnt utseende med tanke på färg på grund av olika vattentillgång för gräset. Lutar marken mer än 1,5 % bör inte spåren läggas med fallet utan tvärs eller diagonalt för att undvika att vattnet rinner parallellt med spåren.



Figur 17. Visar på vilken effekt på ytans utseende som en spårdränning kan ge upphov till på grund av olika vattentillgång för gräset (Foto Bert Sandell).

Viktigt att tänka på vid anläggning av spår/slitsdräneringssystem (Gibbs, 2010 [www])

- Försäkra dig om bra kontakt mellan dräneringsgruset i spårdränningarna och täckdikningssystemet
- Botten på spårdränningarna ska vara jämna och rena innan återfyllnad med grus/sand görs
- Det är av stor vikt att rätt grus- och sandmaterial används samt att lagrens tjocklek är rätt
- Trafik över dräneringsledningarna skall minimeras och undvikas under anläggning

Spår- och slitdräneringssystem är effektiva på att transportera bort vatten från ytan. Det som styr systemens förmåga att dränera ytvatten är spåret/slitsens infiltrationsförmåga, förutsatt att avvattningssystemet i övrigt är rätt dimensionerat. I dessa situationer transporteras vattnet på ytan vilket går mycket fortare än om det ska transporteras i sidled i växtbädden (McIntyre & Jacobsen, 2000).

Viktigt att tänka på vid skötsel av spår- och slitdränning (Ami & Kelly 2007).

- Att den höga infiltrationshastigheten bibehålls är avgörande för funktionen och alla åtgärder som kan få spåret att slamma igen eller tätna måste undvikas
- Klippning skall ske parallellt med spåren tills de växt igen. Igenväxningen tar annars längre tid och sanden knuffas lätt ur spåret och gropar bildas.
- Undvik att hålpipa fairway tills spåret är igenväxt. Material från pluggarna kan sätta igen spåret
- Hålpipning och andra luftningsåtgärder som kan dra upp lera och silt till ytan skall undvikas även efter att slitsen växt igen. Behöver hålpipning ske måste pluggarna samlas upp och transporteras bort. Plockar luftningsåtgärden upp grövre material kan det spridas ut.
- Sörj för en hög naturlig dränering av växtbädden genom dressning, luftning och bra däckutrustning med rätt ringtryck. Undvik trafik direkt efter regn och vid tjallossningen.

## Sandkapping och växtbäddar

Sandkapping innebär att ett 50 – 200 mm lager av sand läggs ovanpå den befintliga jorden, vilket motsvarar en växtbäddskonstruktion 2 enligt RA- Anläggning 07:s definition, se figur 13. Målet med att lägga på ett sandlager, är att få en torrare och stabilare yta med en bibehållen eller ökad infiltrations- och perkolationskapacitet. Idén bygger på att sandmaterial saknar aggregat som kan kollapsa och täta till ytan, när jorden belastas vid ogynnsam vattenhalt. Istället bildas som ett skelett/fackverk av sanden där kornen ligger an mot varandra och ett gynnsamt porsystem bildas mellan kornen. Efter att gräsytan är färdiganlagd gäller det att underhålla detta porsystem så att det inte täpps igen av finpartiklar eller organiskt material, vilket skapar ett ogynnsamt porsystem. Sandmaterialens egenskaper med en hög perkolationshastighet och hög andel luftfyllda porer går då förlorat. Det råder dessvärre flera missförstånd kring sandkapping, vilket har lett till att den sandbaserade växtbäddens goda egenskaper har gått förlorade och avvattningen har i vissa fall blivit sämre än ursprungsläget. Den vanligaste kombinationen av fel är att ytorna görs för plana, sanden läggs på en terrass med låg perkolation och utan att täckdikningsrör lagts ner. Resultatet blir en så kallad ”Badkarseffekt” där sanden tar emot nederbörd och transporterar den ned mot den tätare jorden under. När nederbörden når terrassen förmås den inte att avledas vidare utan blir stående kvar, som i ett badkar. Vid kraftiga eller långvariga regn skapas därmed en syrefattig miljö för grässets rötter.

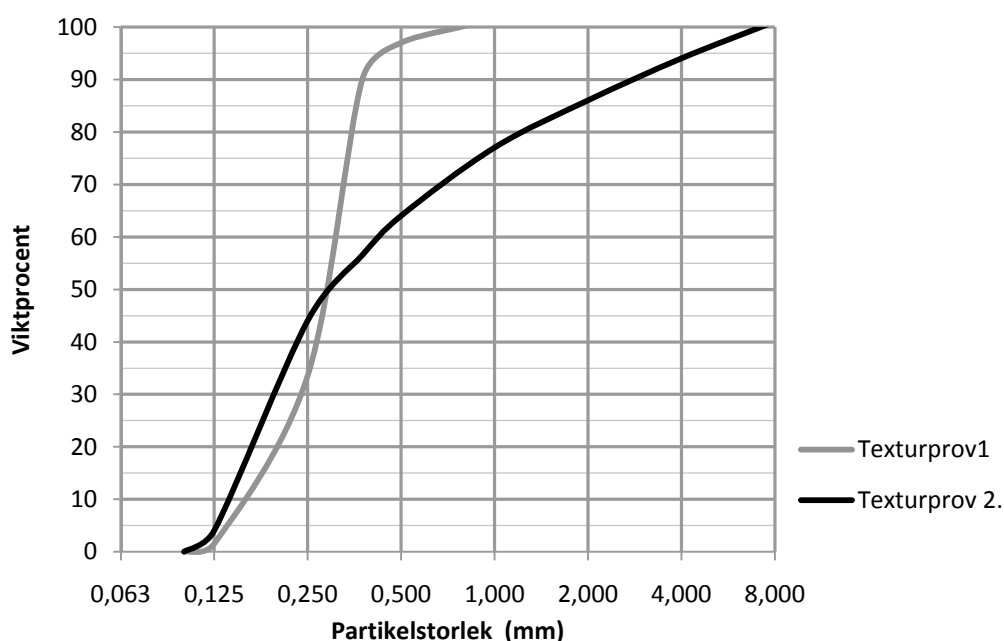
Det som lätt glöms bort är att sandens höga förmåga att ta emot nederbörd, skapar ett större behov av inre avvattnings av växtbädden. Motsvarande skapar en jord med låg infiltrationskapacitet större behov av en bra ytavvattnings (McIntyre & Jacobsen 2000). För att lyckas med sandkapping och utnyttja sandens goda egenskaper gäller det att skapa en så homogen förmåga att transportera vatten genom hela profilen som möjligt (McCarty, 2005). Vid projektering och konstruktion av ytor som skall sandkappas, gäller det enligt McIntyre & Jacobsen (2000) att skapa en bra ytavvattnings. Inga lågpunkter där vatten kan bli instängt får finnas och ytan skall luta med minst 2 %, mot ett område eller konstruktion som kan ta hand om avrinningen. Innan sanden läggs på måste det försäkras genom tester att terrassen har tillräckligt hög perkolationsintensitet. All form av packningsskador som kan ha uppkommit under själva byggnationen måste åtgärdas. För att förstärka aggregaten och därmed terrassens förmåga att behålla sin perkolationskapacitet kan kalk med en mängd av 5000 kg/ha spridas ut (McIntyre & Jacobsen, 2000). En för jorden anpassat täckdikningssystem med eventuellt ett slits-/spårdräneringsystem skall läggas ner innan sanden placeras ut.

Valet av sand är mycket viktigt. Enligt McCarty (2005) skall en mellansand (0,25-0,5mm) till en grovsand (0,5-1,0mm) med hög enhetlighet (lågt enhetlighetsindex) användas. Sjösand består vanligtvis av för brett spektra av partikelstorlekar och bör inte användas. Sådan sand håller för mycket vatten och perkolationskapaciteten är för låg.

Vid val av växtbäddsjord med hänsyn till materialets förmåga att klara olika regn, kan följande rekommendationer ges enligt Karlsson (1988). Växtbädden bör kunna ta emot den vattenmängd som uppkommer från det intensivaste regn för platsen med en varaktighet på 30 minuter och som återkommer varje år. För svenska förhållanden innebär det beroende på var i landet man är, en intensitet från 10 – 25 mm/h. För följande städer skulle det innebära följande dimensioneringsvärden: Malmö 22 mm/h, Göteborg 20 mm/h, Borås 26 mm/h, Stockholm 19 mm/h och Umeå 13 mm/h. För fler dimensioneringsvärden se respektive dräneringsmetod nedan.

### Val av sandmaterial

Vid val av sandmaterial är det viktigt att veta partiklarnas storlek, form och enhetlighet i och med att det i hög grad bestämmer växtbäddens egenskaper, som dräneringsförmåga, erosionsbenägenhet, vattentillgång och stabilitet. För att beskriva hur storleksfördelningar ser ut använder sig branschen av ett graderingsindex, som är baserat på kvoten mellan två så kallad D-nummer. D-nummer innebär att vid en viss maskstorlek passerar en viss vikt av materialet ett såll. Som exempel har ett sandmaterial ett  $D_{20}$  värde på 0,25 mm, innebär det att 20 % av partiklarna är mindre än 0,25 mm och passerar därmed igenom ett såll med den maskstorleken. För att få fram ett graderingsindex används två stycken D-nummer, exempelvis  $D_{90}$  och  $D_{10}$ . Genom att dividera  $D_{90}$ -värdet (diametern där 90 % är mindre och går igenom sållet) med  $D_{10}$ -värdet (diametern där endast 10 % av kornen är mindre) erhålls hur stor graderingsskillnaden är mellan partiklarna i materialet. I figur 18 framgår det hur partikelfördelningen kan vara på två olika sandmaterial med samma  $D_{50}$ -värde (0,3mm). Kurva A som är väldigt enhetlig har ett graderingsindex på 2 ( $D_{90}$ -värde på 0,38mm,  $D_{10}$ -värde på 0,19mm,  $0,38/0,19 = 2$ ) Kurva B som har en vidare spridning på partiklarna har ett index på 19,3 ( $D_{90} = 2,9\text{mm}$ ,  $D_{10} = 0,15\text{mm}$ ,  $2,9/0,15 = 19,3$ ) (Baker, 2006).



Figur 18. Texturkurvor av två olika sandmaterial. Sand A är enhetlig medan sand B inte är enhetlig med stor spridning på partiklarna.

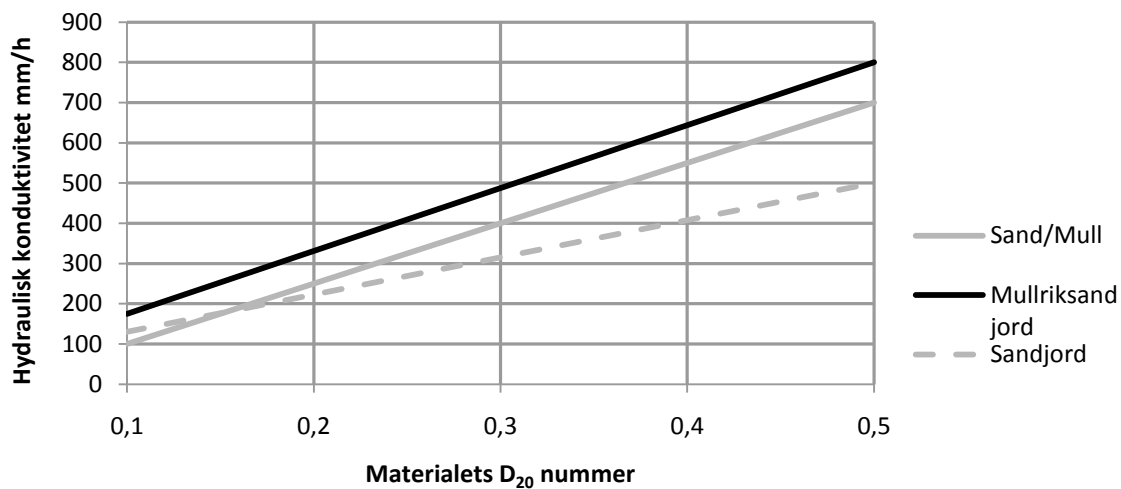
För växtbäddsmaterial till greener fungerar ett graderingsindex mellan 2,5 – 12 bra (Carrow & Reike, 2008). Karlsson (1988) skriver att växtbäddsmaterial som är väl anpassade till intensiva ytor ska ha ett  $D_{90}/D_{10}$  förhållande på 6. För ett material som är ganska passande ligger värdet på 10 medan värden på 20 och däröver ger ett olämpligt material. Baker (2006) har undersökt vilka rekommendationer som ges för hur enhetligt materialet bör vara till sportytor. Hans slutsats är att graderingsvärdet skall vara som högst 8.

Ett liknande system för att tala om hur partikelfördelning ser ut är enhetlighetsindex. Det bygger på samma principer som graderingsindex, men här används istället  $D_{60}/D_{10}$ . Ett sandmaterial med enhetlighetsindex på 2-4 har god stabilitet och en bra fördelning på partiklarna. Ligger värdet under 2, kan ytan lätt bli ostabil men materialet motstår

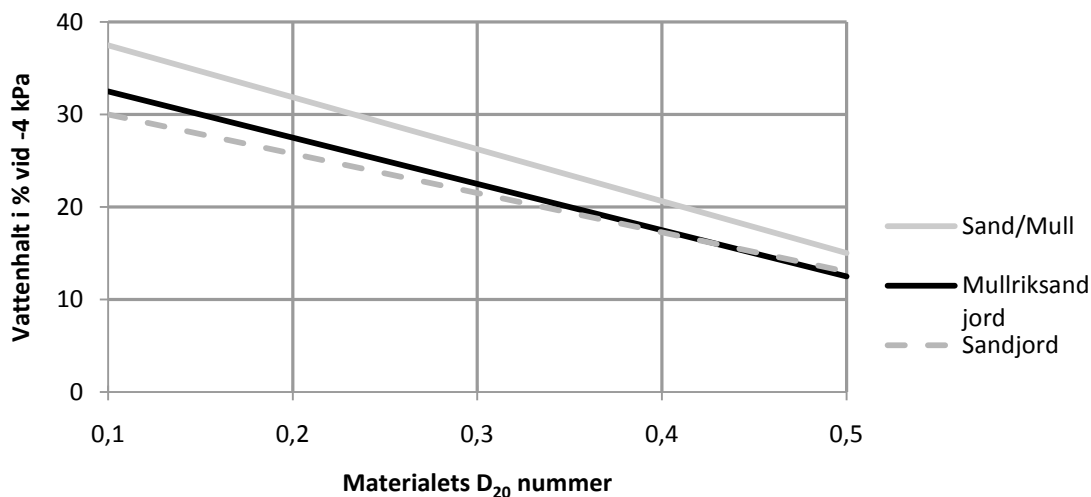


kompaktering bra. Ett värde över 4 ger normalt sett en väldigt hård yta och har en vid spridning på partiklarna. (Carrow & Reike, 2008)

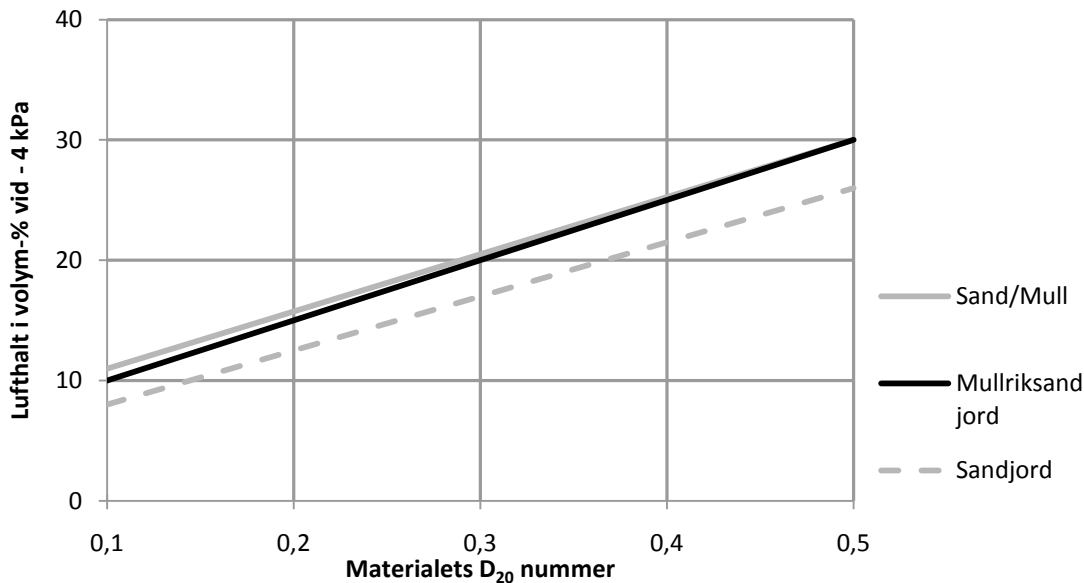
Storleken på partiklarna har stor betydelse för porsystemets utseende och därmed växtbäddens dränerande förmåga och mängden vattenfyllda respektive luftfyllda porer. Baker (2006) ger följande exempel från en studie som gjorts av The Sport Turf Research Institute (STR), se figur 19-21. Tre olika växtbäddsmaterial undersöktes (75/25 volym-% sand/torv, 85/15 sand/mulljord & 80/20 sand/sandig lättlera). Blandningar med ett  $D_{20}$  värde på 0,1 mm jämfördes med grövre blandningar med ett  $D_{20}$  värde på 0,5 mm. Det visade sig att jordens förmåga att dränera bort vatten snabbt (hydrauliska konduktiviteten) ändrades märkbart. Jordarna med ett  $D_{20}$  på 0,1 mm hade bara 1/5 av de grövre blandningarnas dräneringsintensitet.



Figur 19. Den hydrauliska konduktiviteten som en funktion av materialets  $D_{20}$  nummer. Bygger på information från Baker (2006).



Figur 20. Vattenhalten i volym-% vid -4 kPa som en funktion av materialets  $D_{20}$  nummer. Bygger på information från Baker (2006).



Figur 21. Lufthalten i volym-% vid ett undertryck på 4 kPa som en funktion av materialets D<sub>20</sub> nummer. Bygger på information från Baker (2006).

Det undersöktes även hur förhållandet var mellan luftfyllda och vattenfyllda porer. Mängden luftfyllda porer har stor inverkan på jordens förmåga att avleda vatten. Resultatet visade att de grövre jordarna (D<sub>20</sub> på 0,5 mm) hade 30 % luftfyllda och 15 % vattenfyllda porer av materialets totala volym. De finare blandningarna (D<sub>20</sub> på 0,1 mm) hade 10 % luftfyllda och 35 % vattenfyllda porer. Noteras skall att dräneringsförmågan är på bekostnad av sandens förmåga att hålla kvar växttillgängligt vatten. Här råder alltid ett avvägande beroende på vilka krav som ställs. Ett D<sub>20</sub> värde mellan 0,2 – 0,4 kan vara ett riktvärde i golfsammanhang. (Baker, 2006)

Vid användning av sandmaterial i växtbäddar för tee, green och fotboll blandas det oftast in organiskt material i sanden, för att skapa bättre miljö för mikroliv och öka den vatten- och näringshållande förmågan. Inblandningen av organiskt material får inte bli större än att sandens egenskaper att motverka kompaktion och bidra till makroporer finns kvar (Baker, 2006). Enligt Carrow & Reike (2008) är det sanden som styr de fysikaliska egenskaperna så länge den organiska halten inte är högre än 4,5-5 vikt % i en växtbädd uppbyggd enligt USGAs rekommendationer för såbäddsmaterial. Högre organisk halt resulterar i att sandens egenskaper inte längre styr växtbäddens egenskaper. Det organiska materialets egenskaper kommer då att dominera vilket ger stora förändringar i dräneringsintensitet och vatteninnehåll.

Nedan följer en sammanställning (tabell 19) av olika växtbäddskonstruktioner och deras rekommendationer vad gäller graderingsindex, texturkurva och växtbäddsdjup i mm (Karlsson, 1988).

Enligt Karlsson (1988) går det av tabell 19 att urskilja två olika skolor som de olika systemen bygger på. Den tyska och skandinaviska filosofin respektive den holländska, brittiska och amerikanska. De sistnämnda föredrar en växtbädd med mer väldefinierat och homogent material med större djup till dränering, medan de andra har en grundare växtbädd med större tolerans på materialet. Anledning till uppkomsten av de två filosofierna är troligtvis olika traditioner när det gäller vilken tid på året det spelas fotboll (Britter under vintern) och den större regnintensiteten i Storbritannien och USA.

Tabell 19. Huvudrekommendationen för några vanliga växtbäddskonstruktioner för gräsbevuxna sportytor. Bygger på information från Karlsson (1988)

Konstruktions system	Ursprungs land	Såbädds- djup (mm)	Dränerings- rörsdjup (mm)	Såbäddens textur	D <sub>90</sub> /D <sub>10</sub>	Organisk halt	Kommentarer
Weigrass	SE	200-250	400-450	0,02-2	10-15	40 vol-% i de översta 50 mm	100-150 mm dräneringsgruslager
Gravel bed	SE	100	300-350	0,02-2	Ca 16	35 vol-%	100-150 mm dräneringsgruslager
M. Petersen	DK	300	800	0,02-2	Ca 600	10 vikt-%	250 mm dräneringsgruslager
German standard	DE	100-150	500	0,02-2	Ca 25	4 vikt-%	Minst 100 mm dräneringsgruslager
Cell system	-	350-400	400	0,1-2	Ca 16	Ca 1 vikt% i de översta 120 mm	Ogenomsläpplig botten
Dutch system	NL	100-200	600	0,1-0,5	4.3	Max 4 vikt-%	Väl luckrad terrass
Prunty sand carpet	IE	100	600	0,15-0,9	6	Finns inga	Väl luckrad terrass
USGA	US	300	600	0,15-0,9	Ca 6	Finns inga	100 mm dräneringsgruslager
STRI Metod	UK	150-300	600	0,125-0,6	5-6	—	100-150 mm dräneringsgruslager

Karlsson (1988) har gjort en sammanställning (tabell 20) av hur väl de olika konstruktionssystemen möter olika kvalitets- och växtbetingelsekrav.

Tabell 20. En jämförelse på hur olika växtbäddskonstruktioner klarar olika kvalitetskrav. Klassindelning 1 låg/dålig, 2 medelmåttig, 3 högt/bra. Bygger på information från Karlsson (1988)

Konstruktions system	Ks, 3-4 år efter anläggning	Luftutbytes förmåga	Mängd växttillgänglig vatten	Risk för näringsläckage	Dräneringsförmåga	Bollstuds	Konstruktionskostnad
Weigrass	1-2	1	1-2	2	1-2	1-3	1
Gravel bed	1-2	1	1	2	1-2	1-3	1
M. Petersen	1-2	1-2	3	1	1-2	1-3	2
German standard	1-2	1	1	2	1-2	1-3	1
Cell system	2	1-2	3	2	2	2	3
Dutch system	3	2-3	2-3	2-3	2	3	1
Prunty sand carpet	2	2	2-3	2-3	3	3	2
USGA	3	3	3	3	3	3	3
STRI Metod	3	3	3	3	3	3	3

### Dressning för att behålla sandens egenskaper i sandkappingen

Enligt Gibbs (2010) glöms det oftast bort att dessa konstruktioner kräver en kontinuerlig hög skötselnivå för att behålla de ursprungliga egenskaperna. Tillåts den organiska halten att stiga och maskarnas utspädning av sanden att fortgå, utan att åtgärder sätts in för att återställa porsystemet som bildats mellan sandkornen kommer gräsets rötter snart att få svårt att få tillräckligt med syre och ytan blir mjuk och en dålig spelbarhet skapas. Med hjälp av ett sedimenteringstest kan en uppskattning göras huruvida den organiska halten och utspädning av sanden börjar bli för hög. Gibbs (2010) skriver att gränsen ligger vid ca 30 volymprocent finpartiklar och organiskt material (30 volymprocent motsvarande ett D<sub>20</sub> värde på 0.18 mm). Under denna nivå finns tillräckligt av den sandbaserade växtbäddens egenskaper kvar. Är halten högre, får växtbädden egenskaper mer likt en jord som till större del bestående av finpartiklar.

Det går att med hjälp av information om de tre nedanstående faktorerna att räkna ut hur mycket sand som måste appliceras varje år för att behålla en växtbädd där sandens egenskaper dominerar (Gibbs, 2010 [www]).

1. Texturen på jorden under sandkappingen
2. Kvantiteten av organiska material som gräsarten bildar
3. Minskning av den organiska halten genom bortforsling via skötselåtgärder som djupvertikalskärning

*Texturen på jorden under sandkappingen.* Maskarna hinner under ett år transportera upp stora kvantiteter av terrassmaterialet upp på den sandbaserade växtbädden. För att kunna räkna ut hur mycket sand som behöver dressas på för att späda ut maskhögarna, behövs följande information enligt Gibbs (2010).

1. Hur stor mängd material som maskarna transporterar upp
2. Vilket  $D_{20}$ -värde som är rekommenderat att ha i den sandbaserade växtbädden
3. Hur stor andel av terrassmaterialet som ligger över respektive under det rekommenderade  $D_{20}$ -värdet i viktprocent.

Enligt Adams et. al. (1992) kan maskar transportera upp 25 ton jord/hektar under ett år under de förutsättningar som finns för sportytor, med oftast kompakterad jord och lågt pH. Betydlig större mängder kan vid bättre förutsättningar transporteras upp av maskar. I beräkningarna bör sandkappingens tjocklek beaktas i och med att den påverkar både förekomsten av mask i växtbädden samt deras förmåga att transportera upp terrassmaterial.

Gibbs (2010) kom i sina undersökningar fram till att ett  $D_{20}$ -värde på 0,18 mm fungerade bra att använda för sandkappade sportytor. Han rekommenderar vidare formel 33 vid uträkning av den årliga givan för att kontrollera maskarnas upptransport av terrassjord.

$$A = (R - B)/(C - R) \times 100 \quad (33)$$

$A$  = mängden dressmaterial i ton/ha som krävs för att späda ut 100 viktenheter av maskhögarna

$B$  = hur stor andel av terrassmaterialet i viktprocent som är större än 0,18 mm ( $D_{20}$ -värde)

$C$  = hur stor andel av dressmaterialet i viktprocent som är större än 0,18 mm ( $D_{20}$ -värde)

$R$  = bestämd andel av materialet i sandkappingen som ska vara över 0,18 mm

### **Kvantiteten organiskt material som gräsarten bildar**

Det räcker inte att bara späda ut den jord som maskar transporterar upp. Lika viktigt är det att späda ut det organiska material som produceras av gräsytan, i form av gräsklipp, döda rötter och skottdelar. Enligt Gibbs (2002) lämnar engelskt rajgräs (*Lolium perenne*) efter sig 6000 kg organiskt material/ha och år. Kvalbein & Trygve (2008) uppger en torrsubstansproduktion på 8000 kg/ha och år, för fotbollsplaner. Av den vikten bidrar gräsklippet med 2000 kg/ha vilket gör att bidraget till växtbädden ligger på 6000 kg/ha, vid uppsamling av gräsklipp. De nämner också att under goda nedbrytningsförhållanden bryts materialet ner till en fjärdedel (1500 kg/ha). Adams & Saxon (1979) redovisar en total organisk produktion på 7850 kg/ha och år för gräsytor. Av den mängden kommer runt 3000 kg från döda rötter. De anser att den totala vikten organiskt material skall multipliceras med 1,25 %, för att få den mängd som är kvar efter några års nedbrytning och behöver spädas ut med sanddressning.

Adams & Saxon (1979) har utvecklat en formel som räknar ut vilken dressmängd som krävs för att späda ut det organiska materialet, se formel 34.

$$T = I(D - 100)/P - D \quad (34)$$

$T$  = årlig dressningsmängd  $\text{kg/m}^2$

$I$  = mängd nedbrutet organiskt material  $\text{kg/m}^2$  (plantrester x 0,25)

$D$  = önskad organisk halt i markytan (5 vikt-% i skiktet 0 - 50 mm Adams, 1986)

$P$  = andelen organiskt material i vikt-% i dressmaterialet

Enligt Gibbs (2010) bortforslas obetydliga mängder av organiska materialet normalsätt i skötseln, vilket resulterar i en liten påverkan på behovet av dressning. Detta gäller förutsatt att gräsklippen inte samlas upp. Normalt sett hjälper eller djupvertikalskårs inte fairway, med en efterföljande bortforsling av organiskt material i Sverige. Därför bortses denna faktor oftast vid beräkning.

### **Modifiering av växtbädden genom att blanda material**

Att blanda in sand i en växtbädd med hjälp av fräs eller kultivator på grund av låg infiltrationskapacitet och stabilitet, ger sällan ett gott resultat. Risken är stor att silt och lera i den naturliga jorden kommer in i de stora porerna mellan sandkornen och ”tapper” till porsystemet, med låg genomsläpplighet som följd. I tabell 21 kan du avläsa hur genomsläppligheten förändras vid blandning med olika grad av sand i en lerjord. Som ett exempel från tabellen kan nämnas:

Vid inblandning av endast 10 % lerjord i ett växtbäddsmaterial som följer USGA:s rekommendationer, reduceras genomsläppligheten med nästan 85 %. Liknande resultat inträffar om du blandar in sand i lerjorden. Då reduceras genomsläppligheten med mer än 50 % jämfört med ren lerjord.

Ett annat problem vid försök att med hjälp av kultivatorer och fräsar blanda in material som skall förbättra växtbäddens egenskaper, är att blandningen blir väldigt heterogen. Skall mixen bli homogen måste den först verkstadsblandas innan den används som växtbäddsmaterial (McCarty, 2005).

Tabell 21. Den mättade hydrauliska konduktiviteten förändras vid olika blandningsförhållanden mellan sand som uppfyller USGAs rekommendation för greenmaterial och en lerjord (McCarty, 2005)

Förhållande USGA sand/jord	Hydraulisk konduktivitet ( $K_s$ )	
	cm/h	in/h
0:100	0,18	0,07
10:90	0,13	0,05
20:80	0,06	0,03
30:70	0,22	0,09
40:60	0,33	0,13
50:50	0,39	0,15
60:40	0,47	0,19
70:30	4,80	1,89
80:20	8,23	3,24
90:10	22,89	9,01
100:0	147,6	58,1

### **Markavvattnings genom reglering av grundvattenytan med täckdikning.**

Grundvatten definieras som det vatten som fyller porer, sprickor och hålrum i terrassen och vars portryck (trycket i vattnet inne i poren) är högre eller lika med atmosfärstrycket. Mängd vatten som kan lagras bestäms alltså av hur mycket hålrum som finns i jorden. Till markvatten räknas allt vatten som finns i marken och är ovanför grundvattenytan. Mängden vatten som lagras här kan variera stort från tillfälle till tillfälle. I dräneringssammanhang gäller det att skilja på dessa två zoner för vattnet i grundvattenzonen är fritt medan markvattnet är bundet av kapillärkrafterna.

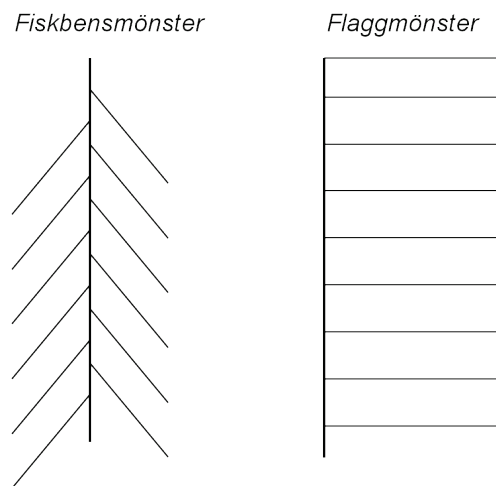
Om nederbörden under en period har varit större än avdunstningen, kommer det vatten som inte hålls kvar i porerna att transporteras ner till grundvattnet. Detta kan få till följd att

grundvattenytan höjs och närmar sig markytan. Är intensiteten på regnet och perioden tillräckligt lång kan grundvattenytan nå markytan och även passera, med ytvattenbildning som följd. När grundvattenytan stiger minskar undertrycket i profilen för varje höjd och därmed ökar vattenhalten i hela växtbädden gäller den markzon som är inom jordens kapillära stighöjd. Även om inte grundvattenytan når ända upp till markytan kan vi få mättade förhållande i ytan. Anledningen är att det finns en mättad kapillärvattenzon ovanför grundvattenytan som också stiger i samma takt. Som nämnts innan varierar den zonen med texturen och strukturen på växtbädden.

Målet med ett täckdikningssystem är därför att hålla markvattenhalten på en nivå som är ändamålsenligt för ytans funktion, genom att avleda allt överflödigt vatten i växtbädden. Målet är också att se till att profilen har en stor kapacitet att ta emot kommande regn. Ju djupare ner grundvattenytan ligger samt ju större porositet växtbädden har, desto större kapacitet (buffrande förmåga) finns. Om konstruktionen har en stor buffrande förmåga blir den inte lika känslig för stora nederbördsmängder, utan klarar att skapa gynnsamma förhållanden i markytan (Smedema & Rycroft, 1983).

Vid placering av täckdikningssystemet på ett stort djup, finns risk att rören hamnar i ett skikt med lägre hydraulisk konduktivitet vilket kan få till följd att avvattningshastigheten sänks och resultatet blir sämre. Vid dimensionering av täckdikningssystem till sportytor är avvattningshastigheten (intensiteten) av större vikt än en stor buffrande förmåga (kapaciteten) (McCoy, 2009 [www]). Även kostnaden för installationen kommer att öka för ett system på större djup.

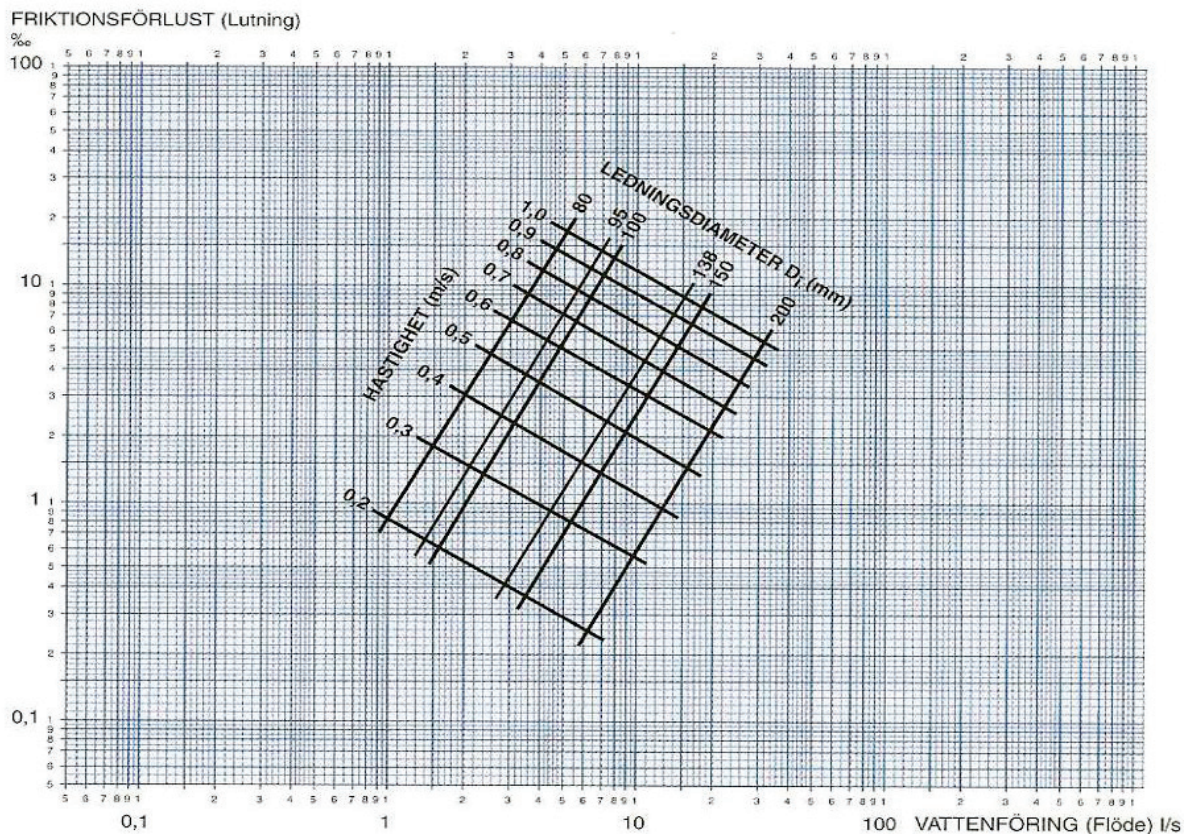
Beroende av förhållandena på plats byggs systemet upp antingen genom att enskilda dräneringsrör var för sig är anslutna till en recipient eller att flera grenrör ansluts till en stamledning, som leder vattnet till en recipient. Det sistnämnda systemet kan antingen sättas ihop i så kallat fiskbens- eller flaggmönster, se figur 22. Om området är väldigt kuperat placeras dräneringsrören efter där svackor i terrängen finns och inte efter något speciellt mönster. Är det ett större homogent område där dräneringsbehovet är likartat över hela ytan, används fiskbens- eller flaggmönster. Vilket som väljs styrs av topografin och vilken konstruktion som blir billigast att installera. Den sistnämnda används där förhållandena skiftar mer, ytorna är små eller där det inte är önskvärt att föra vatten in mot mitten som exempelvis en fairway eller fotbollsytta. Målet är att använda så få kopplingspunkter som möjligt och minimera grävbehovet för att hålla nere kostnaden. (McCoy, 2009 [www])



Figur 22. Placering av grenrören i ett täckdikningssystem efter fiskbens- eller flaggmönster

För att uppnå störst effektivitet skall grenrören placeras diagonalt eller tvärs med släntlutningen. Placeras grenrören med fallet kommer vattnet att transporteras parallellt med rören och mindre mängd vatten kommer då ta sig in i rören (McIntyre & Jakobsen, 2000). Om hastigheten på vattnet inne i dräneringsrören är låg finns risk att de finare partiklarna sedimenterar på botten och med tiden kan täppa igen dräneringen. Genom att se till att

dräneringsrören håller ett tillräckligt fall utmed hela sträckan fram till recipienten kan risken minimeras. McIntyre & Jacobsen (2000) rekommenderar ett minsta fall på dräneringsrören på 1 % medan Adams & Gibbs (1994) och McCoy (2009) föreslår 0,5 %. Hallén (1996) ger rådet att inte gå under ett fall på 0,3 % vilket innebär 30 mm höjdförändring på en sträcka av 10 m. McCarty (2005) rekommenderar ett minsta fall på 0,5 % och anser att det ideala ligger vid 1 – 2 %. Hastigheten inne i dräneringsrör och täta rör får inte heller blir för hög. När vatten strömmar fram i rör skapas en friktion mellan vattnet och rörets väg. Ökad vattenhastigheten ger högre slitaget på röret och dess livslängd förkortas. Till sin hjälp för att hamna rätt med fallet och vattenhastigheten i rör finns så kallade nomogram och som visar för olika rördiametrar, att friktionens storlek är en funktion av flödet (l/s) och hastigheten (m/s), se figur 23.



Figur 23. Visar på ett nomogram för ett dubbelväggigt dräneringsrör med slät innervägg och slitsar. Ett nomogram ger upplysning vilken påverkar de olika faktorerna vattenföring, vattenhastighet, lutning och rördiameter har på varandra. Källa Upnor infrastruktur.

### Filter-/täckningsmaterial

Vid all form av avvattnings med dräneringsrör skall röret täckas med någon form av filter-/täckningsmaterial. Sker inte detta förkortas livslängden och funktionen äventyras. Täckningsmaterialet/filtret har tre uppgifter. Att minska risk för igenslamning av rör, minska risk för skador vid återfyllnad samt öka genomsläpplighet och ytan runt röret som kan motta vatten, den så kallade våta parametern. Enligt Dräneringscentralen (2001) påverkar material som är runt dräneringsrör vilket avstånd som rören kan läggas på. Genom att använda Hooghoudts formel (se avsnittet *Hooghoudts formel*) har de fått fram, att vid användande av grus som kringfyllnadsmaterial, behövde avståndet mellan dräneringsrören vara 17 m för en viss jord. Byts gruset ut mot en fiberduk istället skulle avståndet behöva minskas till 15 m, för att uppnå samma dränerande effekt. Detta kommer att innebära 20 % mer dikesmängd.

För att stoppa partiklar från att sätta igen dräneringsrör gäller det att filtermaterialet inte är så grovt att det släpper igenom partiklar, som kan sedimentera i dräneringsrören. Tabell 22 visar på ett filtermaterial av dräneringssand som rekommenderas av McIntyre & Jakobsen (2000). De rekommenderar att dräneringssanden skall ha en hydraulisk konduktivitet på minst 2500 mm/h och att den inte innehåller partiklar som är mindre än 0,25 mm. Ett lager på minst 50 mm skall täcka och skydda röret runt om. McCoy (2009) rekommenderar att lägga 100 mm dräneringssand över och 50 mm under och på sidorna om dräneringsröret.

Anledningen till att dräneringssand läggs under dräneringsrören är inte bara för att skapa en jämn botten med ett konstant fall utan främst för att den största vattenmängden rinner in genom rörets botten. Det är bara fritt vatten, alltså grundvatten som kan ta sig in i dräneringsrören och ligger inte grundvattenytan över dräneringsrören kommer inget vatten in ovanifrån (McIntyre & Jakobsen, 2000).

Skall fiberduk användas för att hindra partiklar och då framför allt lera från att vandra in i dräneringssanden och hålla dräneringsschaktet rent under läggning, skall den placeras i botten och upp på dikesväggarna. Fiberduk får inte placeras över ett dräneringsrör, då risk föreligger att finare partiklar sätter igen duken och hindrar vattnet från att ta sig ner till röret. (McIntyre & Jakobsen, 2000)

Tabell 22. Rekommendationer på dräneringssand (filtermaterial) runt täckdikesrör. AS = Australien standard säll. USDA = U.S. Department of Agriculture säll

Sällstorlek AS (mm)	Vikt-% som passerar	Sällstorlek USDA (mm)	Vikt-% som ej passerar
9,5	100	> 8	0
4,75	98-100	4,0-8,0	0-2
2,36	70-100	2,8-4,0	0-20
1,18	30-78	2,0-2,8	0-20
0,600	2-15	0,5-2,0	55-100
0,300	0-4	0,1-0,5	0-10
0,150	0-1	< 0,1	0

## Dimensionera och räkna på avvattningssystem för reglering av mark- och grundvatten

Vid beräkning av ett avvattningssystem börjar man vid utloppet till den tänkta recipienten och gör en beräkning, på att det finns ett tillräckligt stort fall. Enligt McIntyre & Jakobsen (2000) skall ett fall på minst 1 % eftersträvas vid denna typ av avvattningssystem. McCoy (2009), McCarty (2005) och Adams & Gibbs (1994) rekommenderar en minsta lutning på 0,5 % på alla rör i systemet.

En kontroll på att recipienten klarar av att ta emot den tänkta vattenmängden bör alltid göras. Information om vilken belastning som får göras på recipienten finns ofta dokumenterat om det är frågan om ett dikningsföretag. Botten på utloppsroret bör enligt Ami & Kelly (2008) ligga 200 mm över vattenytan i recipienten vid medelvattenföring (MQ), för att säkerställa att utloppet ligger ovan vattenytan även vid högvattenföring. Undvik att placera rör genom kullar för att minska risken för stora grävkostnader.



Ami & Kelly (2008) rekommenderar följande tillvägagångssätt vid dimensionering och design. [Egen översättning]

1. Rita en profil med stamledningarna från start till utlopp och för in begränsande utrustning mm
2. Beräkna fallet/fallen för de olika delarna
3. Beräkna behovet av dimension på gren- och stamdräneringsrören efter flöde och fall

(Ami & Kelly, 2008)

Följande rekommendationer kring installation och läggning av dräneringsrör ger McIntyre & Jakobsen (2000). Förändringar i fall på huvudledningar skall undvikas och i situationer där detta krävs, skall en brunn installeras innan ledningen med det mindre fallet. Partiklar som är uppslammade i vattnet kommer nu att sedimentera i brunnen istället för i ledningen med det mindre fallet. Grendräneringsrör ansluts normalt sett med en vinkel mellan 30° och 45°. Är vinkeln större finns risk för turbulens i stamledningen och då minskar stamledningens förmåga att transportera vatten. Likaså skall inte två grenledningar som kommer från var sitt håll anslutas vid samma punkt på stamledningen utan vara förskjutna.

Korrugerat dräneringsrör föredras före släta (dubbelväggig) enligt Ami & Kelly (2008) på grund av: [Egen översättning]

- Enklare att sätta ihop
- Lägre inköpskostnad
- Enklare att hantera (kommer i långa längder)

(Ami & Kelly, 2008)

Släta dräneringsrör föredras före korrugerade vid följande situationer enligt Ami & Kelly (2008) [Egen översättning]

- Där ett tillräckligt djup inte kan uppnås och därmed säkra att det korrugerade dräneringsröret inte skadas. Släta dräneringsrör kräver mindre övertäckning. (ex. korrugerade kräver 500 mm täckning mot 350 mm för dubbelväggig)
- Vid utlopp i dammar under vattenytan för att förhindra att röret kröks uppåt
- Läggning vid låga temperaturer i och med att de inte behöver rätas ut
- Vid dåligt fall. Det är mindre flödesmotstånd i släta rör

(Ami & Kelly, 2008)

Den finns olika sätt att gå tillväga för att dimensionera ett avvattningsystem och tillvägagångssättet bestäms främst av vilken konstruktion som valts samt vilken precision som behöver uppnås. Är det ett stort homogent område där det inte föreligger risk för stor ekonomisk skada om avvattningsystemet skulle överbelastas, kan nedanstående rekommenderade schablonvärden användas som dräneringskoefficient. Med dimensionerande dräneringsintensitet (dräneringskoefficient) menas med vilken hastighet/intensitet överskottsvatten avvattnas från en gräsyta.

Enligt Ami & Kelly (2008) rekommenderas 25 mm/dag att användas som riktvärden för dräneringskoefficient för de humida regionerna i nordöstra USA och Kanada. Är det ett avvattningsystem med ytvattenbrunnar som skall dimensioneras, används 50 mm/dag som dräneringskoefficient. Vid beräkning av täckdikningsystem rekommenderar de att använda 6 l/s·ha som avrinningsvärde om intag via ytvattenbrunnar finns, annars 3 l/s·ha. Sintorn (2009) rekommenderar 5 l/s·ha för skandinaviska förhållanden vid intag av ytvatten. Vägverket (2008) ger följande rekommendationer. Grus 10 l/s·ha, sand 7 l/s·ha och

morän eller siltjord 4 l/s·ha.

McCoy (2009) rekommenderar följande när det gäller djup och avstånd för täckdikningssystem. Dräneringsrörsgrovar bör vara mellan 500 – 650 mm djupa och avståndet 7,5 m för jordar med hög genomsläpplighet, ner till 3,5 m för jordar med låg genomsläpplighet. Ökas djupet kan större avstånd användas.

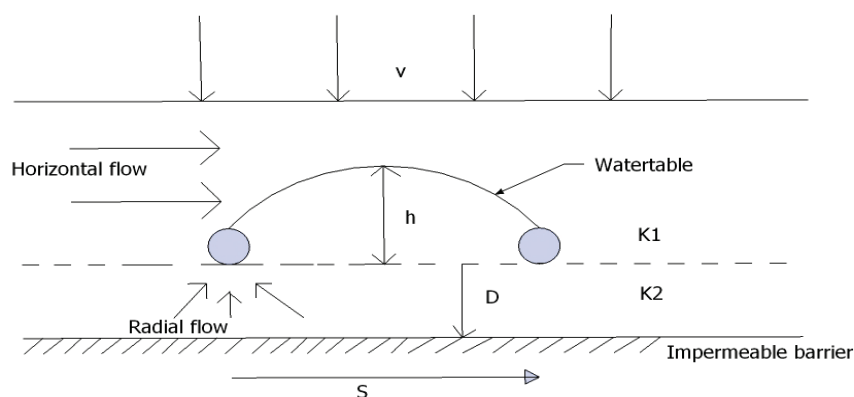
Är det ett mer komplext område och där ekonomisk skada föreligger vid en eventuell översvämning bör en mer detaljerad undersökning av områdets förutsättningar göras. Både för att minimera risk för skador på anläggningar och onödiga överdimensioneringar med hög anläggningskostnad som följd (McCoy, 2009 [www]). Vid dimensionering av avståndet mellan grendräneringsrör i dessa täckdikningssystem är det viktigt att använda relevanta värden för den mättade hydrauliska konduktiviteten. För att få fram relevanta värden krävs specialutrustning och det rekommenderas att en ingenjör med denna kompetens anlitas (Ami & Kelly, 2008).

### **Hooghoudts formel**

Vid beräkning av dräneringsröravstånd kan Hooghoudts formel användas. Formeln är baserad på att räkna ut vilket avstånd mellan dräneringsrören som krävs för att behålla grundvattenytan mitt emellan rören konstant, för en i förväg bestämd regnintensitet (Adams & Gibbs, 1994). Det bör understrykas att denna typ av beräkningar bara ger en indikation på vad flödet kommer att bli och vilken kapacitet konstruktionen/växtbädden kommer att få. Faktorer som grundvattenflöden och skiktbildningar i profilen tas inte hänsyn till i formeln. Homogena profiler ger mer tillförlitliga resultat än heterogena. Resultatet efter beräkning måste sedan justeras efter rådande omständigheter på plats och inte användas rent blint. Den dräneringsintensitet som erhålls med Hooghoudts formel talar om vilken hastighet som nederbörden dräneras med, mitt emellan täckdikensrören och därmed den lägsta hastigheten utmed sträckan (Hillel, 2004).

Gibbs (2010) nämner att Hooghoudts formel inte tar med i beräkning att det genomsläppliga sand-/grusfyllnadsmaterialet i ett slits/spårdräneringssystem kan magasinera 4-5 mm nederbörd. Han anser dock att detta skall ses som en bonus och inte tas hänsyn till vid dimensionering.

Hur Hooghoudts formel ser ut, se formel 35 och figur 24 illustrerar vilken del de olika bokstäverna berör. Enheten meter (m) kan ändras till mm eller cm men det måste göras överallt i formeln. Likaså kan dag bytas ut mot timme. (Adams & Gibbs, 1994)



Figur 24. Illustration över vilken yta/del de olika parametrarna i Hooghoudts formel representerar. Ur bilden kan utläsas att formeln tar hänsyn både till det radiella och horisontella flödet.

$$S^2 = (8K_2dh + 4K_1h^2)/v \quad (35)$$

$S$  = avstånd mellan dräneringsrör (m)

$K_1$  = hydraulisk konduktivitet i lagret ovan dräneringsrören (m/dag)

$K_2$  = hydraulisk konduktivitet i lagret under dräneringsrören (m/dag)

$h$  = höjd på grundvattenytan ovanför dräneringsrören mitt emellan dem (m)

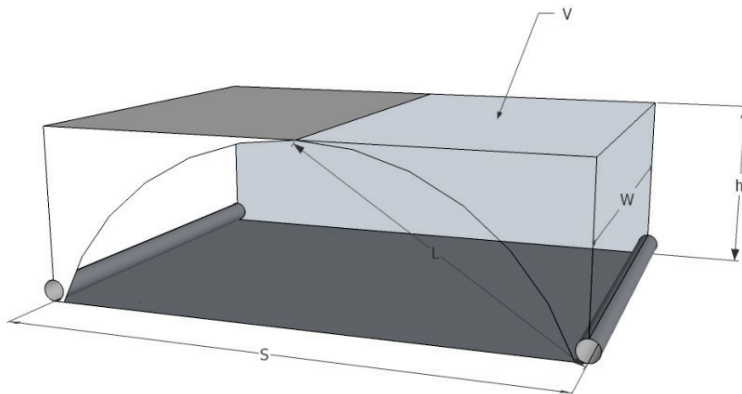
$d$  = ekvivalent djup, vilket är relaterat till avståndet  $D$  och rör avståndet  $S$  (m)

$D$  = avstånd mellan rören och ett ogenomsläppligt lager (m)

$v$  = dräneringsintensitet, vilken nederbörd som kan tas emot under en dag (m/dag)

Som kan utläsas av figur 24 och formel 35 tar Hooghoudts formel hänsyn både till det horisontella flödet (andra delen av den högra delen i ekvationen,  $4K_1h^2$ ) och det radiella flödet (första delen i ekvationen,  $8K_2dh$ ). Finns det ett ogenomsläppligt-/låg genomsläppligt lager i nära anslutning till dräneringsrören kan förstadelen av Hooghoudts formel uteslutas.  $K_2$  lagret anses som ogenomsläppligt när  $K_2 < 0,1 K_1$  och då uteslutas beräkning av det radiella flödet från ekvationen. Då får ekvationen följande utseende vid beräkning av dräneringsrörsavstånd ( $S$ ) respektive dräneringshastighet ( $v$ ), se formel 36 respektive 37 (Adams & Gibbs, 1994). Figur 25 illustrerar vilken del som bokstäverna står för.

$$S^2 = \frac{4Kh^2}{v} \quad (36) \quad v = \frac{4Kh^2}{S^2} \quad (37)$$



Figur 25. Hooghoudts formel och vilken yta/del de olika bokstäverna i Hooghoudts formel representerar.

Adams och Gibbs (1994) hänvisar till att Hooghoudts formel bygger på Darcys lag som säger att flödeshastigheten är proportionell mot den hydrauliska gradienten. Alltså förändringen av totalpotential per förändringen i flödets riktning. De tar upp följande exempel för att belysa sambandet.

Darcys formel

$$Q = \frac{KAh}{L} \quad (38)$$

Ersätter vi arean ( $A$ ) med höjden ( $h$ ) x bredden ( $b$ ) och byter vi ut längden ( $L$ ) till ( $S$ ) som är det totala avståndet mellan dräneringsrören. Sträckan ( $S$ ) måste divideras med 2 ( $S/2$ ) för vattnet kommer inte att behöva förflyttas utmed hela sträckan, utan som längst halva avståndet mellan rören. Det vill säga nederbörd som faller på den ena halva rinner till det ena

röret och vatten som faller på andra halvan rinner till det andra röret. Formeln får nu följande utseende.

$$Q = \frac{Khbh}{S/2} \quad (39)$$

Skriver vi ihop formeln kommer den att se ut enligt följande och beskriver då ett volymflöde av vatten mot dräneringsröret.

$$Q = \frac{2Kh^2b}{S} \quad (40)$$

För att kunna beräkna volymflöde ( $Q$ ) måste vi ha tillgång till data om nederbördsintensitet eller den tänkta dräneringsintensiteten, alltså vilken intensitet på hastigheten som eftersträvas. För att kunna införa dessa värden i ekvationen, måste först  $Q$  delas upp i sina beståndsdelar area ( $A = S \times b$ ) och dräneringsintensiteten ( $v$ ). Det är endast halva sträckan som bidrar med flöde till dräneringsröret och därmed delas den sidan av ekvationen med två. Formeln får nu följande utseende.

$$\frac{vbS}{2} = \frac{2Kh^2b}{S} \quad (41)$$

Formeln kan nu förenklas och skrivas enligt nedan. Vi har nu uppnått Hooghoudts modifierade formel för beräkning av dräneringsintensiteten när bara det horisontella flödet tas hänsyn till.

$$v = \frac{4Kh^2}{S^2} \quad (42)$$

Om växtbädden består av två skikt med olika hydraulisk konduktivitet skall ett sammanvägt medelvärde räknas fram. Enligt Adams & Gibbs (1994) kan det göras genom att beräkna den sammanvägda hydrauliska konduktiviteten, se formel 43.

$$K_h = \frac{K_1 h_1 + K_2 h_2}{h_1 + h_2} \quad (43)$$

$K_h$  = Sammanvägd horisontell mättad hydraulisk konduktivitet (mm/h)

$K_1$  &  $K_2$  = Hydrauliska konduktiviteten på materialet i lager 1 resp. lager 2 osv.... (mm/h)

$h_1$  &  $h_2$  = Höjden på materiallager 1 resp. 2 osv.... (mm)

Nedanstående resonemang och uträkning av dräneringsintensiteten med Hooghoudts formel bygger på en diskussion av Adams & Gibbs (1994). Författaren väljer att redovisa räkneexempel här för att tydliggöra hur Hooghoudts formel används, vilka dräneringsintensiteter olika material och konstruktioner kan uppnå och för att lättare kunna förklara hur dräneringsintensiteten kan påverkas. Första exemplet är en sportgräsyta med ett avstånd på 8 m mellan täckdikesrören och med ett djup på 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 genomsläppligt. Beräkningen får då följande utseende.

$$K_h = \frac{50 \times 150 + 20 \times 550}{150 + 550} \approx 26 \text{ mm/h} \quad (44)$$

$$v = \frac{4Kh^2}{S^2} = \frac{4 \times 26 \times 700 \times 700}{8000 \times 8000} \approx 0,8 \text{ mm/h} \quad (45)$$

För sportsammanhang är 0,8 mm/h (20 mm/dygn) inte en tillräklig intensitet och kommer inte leda till acceptabla förhållanden. Enligt Karlsson (1988) bör dräneringsintensiteter på 30-35 mm/dygn eftersträvas. De finns flera olika alternativ att förbättra avvattningen av ytan, vilka kommer att ge olika för- och nackdelar. Att lägga täckdickningsrören på ett större djup är ett alternativ för att öka intensiteten och därmed avvattningsintensiteten. I det flesta sammanhang är det inte ekonomisk möjligt och i exemplet ovan skulle det inte räcka för att uppnå ett acceptabelt resultat även om vi bortser från det ogenomsläppliga lagret.

Att lägga täckdickningsrören tätare är ett annat alternativ för att bättra på intensiteten. Även detta är ur ekonomisk synvinkel tveksamt och ökningen skulle inte bli tillräcklig. Ett tredje alternativ är att komplettera systemtäckdikningen med t.ex. ett spårdräneringssystem som kan hjälpa till, när systemtäckdikningen överbelastas och ytvatten bildas som spåren kan dränera bort. (Adams & Gibbs, 1994)

Enligt Adams & Gibbs (1994) kan Hooghoudts formel användas vid beräkningar av dräneringssystem med slitsar eller grävda spår. Vid denna typ av dräneringssystem är tanken att huvuddelen av nederbörden koncentreras och infiltreras genom slitsen/spåret. Formeln ändras då så att endast slitens/spårets area av markytan beräknas. Genom att dividera avståndet ( $D$ ) mellan slitsarna/spåren med deras bredd ( $b$ ) anpassas formel för dessa förhållanden, se formel 46. Observera att stora  $D$  här, inte är samma stora  $D$  som beskrivs i figur 26, vilket syftar på djupet från dräneringsrören till ett låggenomsläppligt lager.

$$v = \frac{4Kh^2b}{S^2D} \quad (46)$$

Tänk på att vid beräkningar av spårdräneringar är det avvattningsintensiteten i spåret som beräknas och inte i växtbädden bredvid spåret. Om samma fyllnadsmaterial används i hela spåret blir  $h^2$  spårets totala djup. Används ett grusmaterial i botten på spåret för att transportera bort vatten, med ett lager sand över blir  $h^2$  normalt höjden på grusmaterialet. I dessa fall bör dräneringsintensiteten räknas fram för ett sammanvägt  $K_s$  för lagren och för endast gruslagret under. Observera att dräneringsintensiteten inte kan bli högre än vad det vertikala  $K_s$ -värdet är på det översta lagret i spåret (Adams & Gibbs, 1994). Det är inte alltid som spåren ansluter mot täckdikena med en 90 graders vinkel. Sätt därför in spårets längd istället för avståndet mellan täckdikensrören (Baker, 1982).

Av formeln 46 kan utläsas att hastigheten är proportionell till avståndet mellan täckdikensrören vilket resulterar i att halveras avståndet, fyrdubblas intensiteten. Samma förhållande gäller för höjden. Ökar höjden med en faktor 2 (dubblas) ökar hastigheten med fyra gånger. Ökar däremot bredden på spårdräneringen med en faktor 2, påverkas hastigheten bara med två och blir dubbel så stor (Adams & Gibbs, 1994).

Nedan följer ett exempel på en beräkning av 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 täckdickningsrören som ligger på ett avstånd av 8 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 dräneras via botten. Det sammanvägda  $K_s$  värdet blir om vi använder ovanstående formel:

$$K_h = \frac{300 \times 300 + 10\,000 \times 100}{300 + 100} = 2725 \text{ mm/h} \quad (47)$$

Uppgiften om det sammanvägda  $K_s$ -värdet samt avstånden mellan spåren som är 1,0 m samt bredden som är 75 mm kan föras in i Hooghoudts modifierade formel.

$$v = \frac{4Kh^2b}{S^2D} = \frac{4 \times 2725 \times 400 \times 400 \times 75}{8000 \times 8000 \times 1000} \approx 2 \text{ mm/h} \quad (48)$$

Under ett dygn kommer ovanstående exempel att kunna ta emot och dränera bort 48 mm vatten på ytan på slitsarna, mellan täckdikensrören. Den valda varianten på material i spårdräneringen kommer att öka sportytans förmåga att ta emot nederbörd.

Ändras förutsättningarna så att överst i spåret ligger ett 100 mm lager av en sandblandning med ett  $K_s$  på 300 mm/h och under ett lager på 300 mm av gruset med ett  $K_s$  på 10 000 mm/h uppnås följande kapacitet.

$$K_h = \frac{300 \times 100 + 10\,000 \times 300}{300 + 100} = 7575 \text{ mm/h} \quad (49)$$

$$v = \frac{4Kh^2b}{S^2D} = \frac{4 \times 7575 \times 400 \times 400 \times 75}{8000 \times 8000 \times 1000} \approx 6 \text{ mm/h} \quad (50)$$

Genom att minska lagret med sandblandningen och öka gruslagret i samma omfattning uppnås i detta fall en ökning med ca 300 %.

McIntyre & Jakobsen (2000) anser att i botten på en spårdränering skall det alltid läggas ett dräneringsrör, för att spårets förmåga att transportera vatten skall utnyttjas fullt ut. Risken att spåret vattenfylls och det blir stående vatten på ytan är annars stor, vilket resulterar i att ler och silt slammas upp och transporteras iväg. Dessa partiklar kan avsättas i slitsar och grävda spår och försämra deras infiltrationsförmåga. Det är inte bara markytans och spårdränerings infiltrationsförmåga som kan bli nedsatt. De fina partiklarna kan förflytta sig ner i spåret och täppa till botten och därmed sätta ner spårbottnens förmåga att infiltrera. Vidare kan de finare partiklarna även täta till markytan rent generellt. Risken för packningsskador ökar också när slitsen inte tar emot all nederbörd utan den ansamlas på ytan. McIntyre & Jakobsen (2000) använder sig av beräkningsprocess för beräkning av spårsystemets dräneringsintensitet när ett dräneringsrör är placerat i botten, enligt formel 51 - 56.

Applicerar vi 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 4,0 m.

$$Q_{dr} / L = Q \quad (51)$$

$Q_{dr}$  = Dräneringsrörets förmåga att transportera ett volymflöde vatten vid vald lutning (l/min)

$L$  = Längden på dräneringsröret (m)

$Q$  = Volymflöde vatten som kan mottas per meter dräneringsrör (l/min/lpm,  $dm^3/min/lpm$ )

$$30 \text{ l/4 m} = 7,5 \text{ l/min/längdmeter} \quad (52)$$

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 på 6000 mm/h.

$$v_s = \frac{Q}{A} = \frac{7,5 dm^3/min}{7,5 dm^2} = 1 dm/min = 100 mm/min = 6000 mm/h \quad (53)$$

$A$  = Spårets markarea per löpmeter ( $dm^2$ )

$v_s$  = dräneringsintensitet genom spåret (mm/h)

För att klara den intensiteten mot spåret används fyllnadsmaterialen med ett  $K_s$ -värde som är högre än 6000 mm/h. Precis som i de tidigare fallen justeras dräneringsintensiteten mot att spåret tar emot nederbörden från hela ytan.

$$\frac{b}{D} = \frac{75 mm}{1000 mm} = 0,075 \quad (54)$$

$$v = v_s \times kvot \quad (55)$$

$v$  = dräneringsintensitet från hela markytan (mm/h)

$$v = 6000 \times 0,075 = 450 \text{ mm/h} \quad (56)$$

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

Sandkapping är ett sätt att förbättra gräsyntans förmåga att ta emot nederbörd. Precis som med de andra konstruktionerna finns det även här flera olika varianter. Avstånd och tjocklek kan ändras för att passa krav och rådande situation.

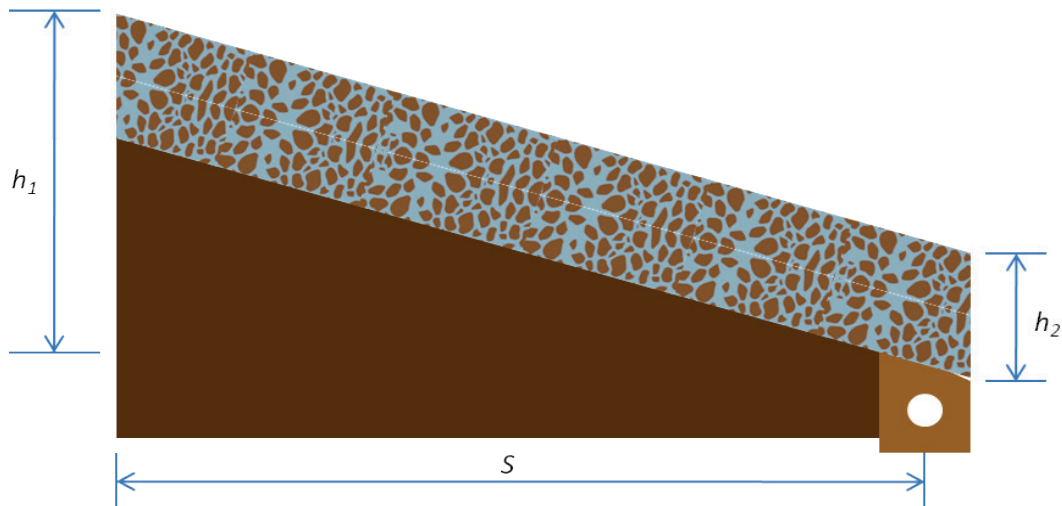
Vid beräkning av sandkappingkonstruktion kan Hooghoudts formel användas. Vi fortsätter att använda oss av förutsättningar ovan men vi byter ut översta jordlagret som var på 150 mm till ett såbäddsmaterial med ett  $K_s$  på 300 mm/h. Precis som innan placerar vi ett spårdräneringssystem med ett avstånd av 1,0 m och med ett spår djup från ytan på 400 mm.

$$v = \frac{4 \times 300 \times 150 \times 150}{1000 \times 1000} \approx 27 \text{ mm/h} \quad (57)$$

Med en dräneringsintensitet på 27 mm/h är vad sandkappingen klarar av att transportera vatten fram till spårdräneringen. Nu måste även spårets avvattningsskapacitet beräknas för att kontrollera, att avståndet till täckdikesrören inte är för stort.

Förändrar vi sandkappingkonstruktionen ovan genom att ta bort spårdräneringssystemet och istället skapa ett fall på växtbädden på 2 %, krävs en delning och justering av värdena på  $h^2$  i

Hooghoudts formel till  $h_1 \times h_2$  (McIntyre & Jacobsen, 2000). Där  $h_1$  står för tryckfallshöjden, vilket innebär höjden på grundvattenzonen i växtbädden plus växtbäddens fallhöjd. Medan  $h_2$  är höjden på grundvattenzonen som vattnet måste passera i jorden (figur 26). Observera att detta gäller när terrassen som sandkappingen ligger på har betydligt lägre  $K_s$ -värde än växtbäddsjorden i sandkappingen. Tryckfallshöjden som skapas med vald konstruktion från grundvattenytan mitt emellan dräneringsrören till dräneringsrören blir 310 mm (se beräkning nedan).



Figur 26. Höjden  $h_1$  motsvarar fallhöjden plus höjden på grundvattenzonen ovan dräneringsrören och  $h_2$  motsvarar höjd på grundvattenzonen som vattnet måste transporteras.

Växtbäddsdjup 150 mm. Djup till grundvattenytan är 0 mm, vilket innebär att vi utgår ifrån att växtbädden är fullt mättad med vatten. Växtbädden lutar med 2 % vilket ger en växtbäddsfallhöjd på 160 mm ut med sträckan (S) som är 8 m. Hela avståndet mellan dräneringsrören används eftersom vi utgår ifrån, att växtbädden faller åt ett håll från föregående dräneringsrör.

Tryckfallshöjden ( $h_1$ ) blir växtbäddens djup – avståndet från markytan till grundvattenytan + växtbäddsfallhöjd (150 mm – 0 mm + 160 mm = 310 mm).

Höjden ( $h_2$ ) som vattnet passera genom jorden blir växtbäddens djup – avståndet från markytan ner till grundvattenytan (150 mm – 0 mm = 150 mm).

Vid en grundvattenyta på 0 mm från markytan, med ett fall på 2 % och dräneringsrörsavstånd på 8 m skapas en dräneringsintensitet på 0,9 mm/h (se beräkning 58).

$$v = \frac{4 \times 300 \times 310 \times 150}{8000 \times 8000} \approx 0,9 \text{ mm/h} \quad (58)$$

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.

Vid dimensionering av konstruktion med dräneringslager under växtbädden används Luthins formel (59), för att få fram den sammanvägda vertikala hydrauliska konduktiviteten om det finns mer än ett jordlager ovanför dräneringslagret (Adams & Gibbs, 1994 & McCarty, 2010).



$$K_v = \frac{h}{\left(\frac{h_1}{K_1} + \frac{h_2}{K_2} + \frac{h_3}{K_3} \text{ o. s. v.}\right)} \quad (59)$$

$K_v$  = Sammanväg vertikal mättad hydraulisk konduktivitet (mm/h)

$h$  = summan av tjockleken på alla lager (mm)

$h_1$  = tjockleken på det först lagret (mm) o.s.v.

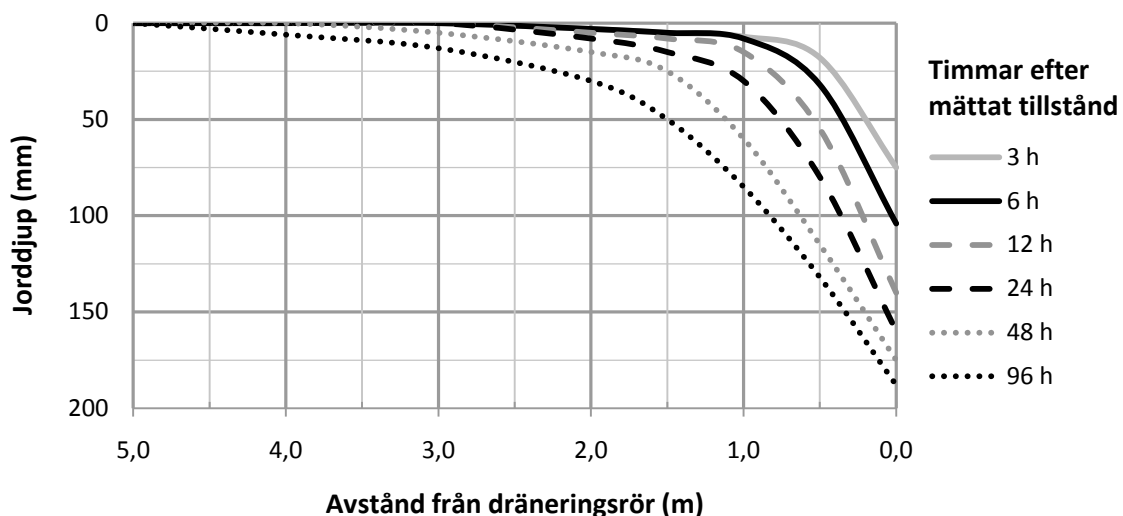
$K_1$  = hydrauliska konduktiviteten på det första lagret (mm/h) o.s.v.

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

En annan viktig aspekt med en terrass med hög genomsläpplighet jämfört med en som i princip är ogenomsläpplig är att den fortsätter sänka den mättade kapillärvattenzonen när det fria grundvattnet dränerats bort. Sänkning av den zonen fortsätter även efter det att dräneringsrören har sänkt grundvattennivån så att 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 i sportsammanhang 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).

### Dumms ekvation

Dräneringsintensiteten som fås fram vid beräkningar med Hooghoudts formel gäller bara när grundvattenytan befinner sig på det avstånd, som skrivits in i formeln. Allt eftersom dräneringsrören avvattnar växtbädden kommer grundvattenytan att sjunka, det vill säga höjden ( $h$ ) över dräneringsrören kommer att minska, därmed kommer också den drivande kraften att minska. Den drivande kraften är detsamma som vattnets fallhöjd delat på vattnets rinnsträcka och minskar grundvattenytans höjd över dräneringsrören, minskar också den drivande kraften. Grundvattenytans sänkingshastighet (dräneringsintensitet) minskar snabbt med minskat avstånd till dräneringsrör. Av figur 27 kan en bild och förståelse av hur snabbt grundvattenytan sänks för olika avstånd till dräneringsrören erhållas.



Figur 27. Grundvattenytans förändring i tid och avstånd till dräneringsrör. Växtbäddens  $K_s$  är 5 mm/h och är 200 mm djup. Terrassen är ogenomsläpplig. Bygger på uppgifter från McIntyre & Jacobsen (2000).

Som ett exempel tar McIntyre & Jacobsen (2000) upp att med ett  $K_s$ -värde på 5 mm/h och ett växtbäddsdjup på 200 mm samt att terrassen är ogenomsläpplig, har efter 96 timmar grundvattenytan sänkts ca 130 mm på ett avstånd av 0,5 m. Vid samma tidpunkt har grundvattenytan sänkts 25 mm vid 2,0 m och ingen märkbar förändring skett vid 5,0 m avstånd till dräneringsrören.

Studerar förändringen av sänkningshastigheten rakt ovanför dräneringsrören erhålls här också en förändring av sänkningshastigheten, som exempelvis har grundvattenytan sänkts med 75 mm efter 3 h vilket ger en sänkningshastighet på 25 mm/h. Efter 48 h har ytan sjunkit 175 mm vilket ger en genomsnittlig sänkning på 3,6 mm/h.

För att räkna ut hur lång tid det tar att återfå en grundvattenyta till ursprungligt läge efter att den har stigit av ett regn, föreslår Ritzema (2008) och Zimmermann & Riccardi (1998) att använda Dumbs formel, för beräkning av grundvattensänkning, se formel 60.

$$L^2 = \frac{4,5 t K h_o h_t}{\mu(h_o - h_t)} \quad (60)$$

$L$  = Avståndet mellan dräneringsrören (m)

4,5 = Faktor

$K$  = Mättad hydraulisk konduktivitet (m/d)

$t$  = Tid mellan start på dränering och ny grundvattenhöjd

$\mu$  = Dränerbar porvolym (m/m) dimensionslös

$h_o$  = Grundvattenytans höjd över dräneringsrören vid avvattningens start (m)

$h_t$  = Grundvattenytans höjd över dräneringsrören efter tiden  $t$  (m)

## Tryckvatten/Artesiskt vatten, Utströmningsområden

Golfanläggningar som ligger insprängda i ett kuperat landskap drabbas lätt av blöta områden vilka kan dyka upp lite varstans och som det kan vara svåra att förstå, varifrån vattnet härstammar. Detta fenomen kan bero på så kallat tryckvatten (artesiskt vatten) som ursprungligen härstammar från nederbörd som infiltrerats i högre belägna områden. Detta vatten har sedan hindrats att perkolera vidare neråt i marken på grund av ett ogenomsläppligt marklager. Istället har vattnet transporterats vidare utmed slänten i de mer ytliga jordlagren med högre hydraulisk konduktivitet. När vattnet når släntfoten transporteras det in i ett vattenförande lager, som både uppåt och nedåt begränsas av ett svår genomsläppligt marklager (så kallad slutna akvifär). Vattnet har nu ingenstans att ta vägen samtidigt som mer vatten trycker på från de högre belägna områdena. Resultatet av detta är att ett övertryck skapas i det instängda vattnet i den slutna akvifären. I det svår genomsläppliga lagret ovanför en slutna akvifär kan det finnas sprickbildning där vatten kan pressas upp och därmed skapa lokala våta områden. Vid byggnation och renoveringsåtgärder är det lätt att förstöra just det täta lager, som hindra det artesiska vattnet från att nå markytan och därmed skapas ny blöta områden.

En snarlik situation uppstår även i ett utströmningsområde. Vatten infiltrerar i högre omkringliggande områden och transporteras vertikalt ner tills det når antingen grundvattnet eller ett svår genomsläppligt lager. Vattnet följer sedan det täta lagret eller grundvattenströmmen och kan sippra ut vid släntfoten. I båda fallen gäller det att skära av vattenströmmen innan den når släntfoten och spelytan (McCoy, 2009 [www]). McIntyre & Jacobsen (2000) rekommenderar att ett vertikalt dikeschakt skapas som skär igenom det vattenförande lagret en bit upp i slänten. Schaktet skall göras så djup att det skär av strömmen plus går ner en bit i det svår genomsläppliga lagret. Schaktet tar nu hand om vattenströmmen innan den når

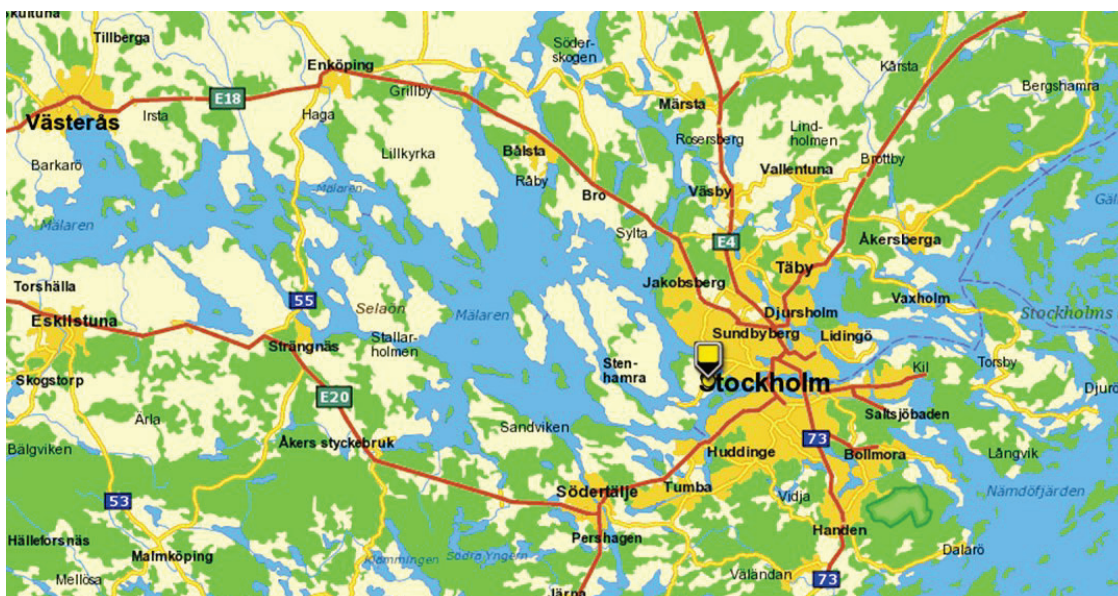
släntfooten och därmed från att rinna ut på spelytan eller transporteras in i en sluten akvifär och skapa artesiskt vatten. Som återfyllnadsmaterial skall inte den naturliga jorden användas. Här krävs en sand med hög genomsläplighet. Om området inte är i spel kan sedan ytan lämnas öppen.

## Kungliga Drottningholms Golfklubb

För att få kunskap om och förståelse för vilken dräneringsintensitet och kapacitet olika dräneringslösningar kan ge upphov till, har en fallstudie gjorts på Kungliga Drottningholms Golfklubb (KDRGK). Författaren vill göra läsaren uppmärksam på att de dräneringsintensiteter som har räknats fram bygger på flera antaganden. Innan en renovering av anläggningen görs, behöver fler undersökningar göras för att komma mer rätt i dimensioneringen. Framför allt behöver fler prover tas på var grundvattenytan ligger samt växtbäddens infiltrations- och perkolationskapacitet. Författaren anser ändå att de framräknade värdena ger en bra bild av vilken dräneringsintensitet som kan förväntas av de olika lösningarna och hur väl de uppfyller klubbens mål.

## Klubbens historik

I mitten på 1900-talet uppstod ett intresse att bygga en golfbana ute på Lovön som ligger knappt två mil väster om Stockholm centrum, i Mälaren. Se figur 28. (Google Earth 59 19 09 32 N 17 51 28 55 O, 86 fot) Det första försöket att få till en golfanläggning ute på Lovön misslyckades på grund av att Gustav den V: te inte instämde. Kungen åsikt vägde tungt i och med att anläggningen skulle ligga i anslutning till slottsmiljön, kring det Kungliga slottet Drottningholm som ligger på Lovön.



Figur 28. Karta över området kring Mälaren där den gulsvarta pilen visar platsen för Lovön på vilken Kungliga Drottningholms Golfklubb ligger. © Lantmäteriet Gävle 2011. Medgivande I 2010/0055. (Eniro, 2011).

Två decennier senare väcktes ett nytt intresse via eldsjälarna Herbert Kastengren, Anders Tengbomsamt och Einar Bristedt, vilket resulterade i att ett samarbete inleddes under 1956 med banarkitekten Rafael Sundblom. En golfklubb bildades som fick namnet Drottningholms golfklubb (DRGK) vilken fick stöd för sina planer från den dåvarande kungen, Gustav VI Adolf som senare invigde golfbanan den 26 september 1959.

Sedan invigningen har det arrangerats många stortävlingar på DRGK, som exempelvis har 9 stycken Scandinavian Enterprise Open (SEO) och Scandinavian Master spelats här (KDRGK, 2010).

Numera heter klubben Kungliga Drottningholms Golfklubb sedan man under 2000-talet lade till ordet Kungliga, när kronprinsessan Victoria gick med som medlem i klubben.

Under 2000-talet har det börjat växa fram en opinion i klubben att anläggningen behöver renoveras för att möta framtidens krav. Klubben arbetar därför nu på att sätta upp nya mål och visioner för anläggning inför den planerade renoveringen (Dahl, pers. medd., 2010).

## Bakgrund till renoveringen

Enligt Dahl (pers. medd., 2010) har golfspelarnas krav höjts på torra spelytor med avsaknad av kvarstående vatten efter regn och frånvaro av maskhögar. KDRGK har i dagsläget svårt att leva upp till dessa krav. Detta gäller framför allt under höstperioden. Sommarens regn skapar däremot inte speciellt stora problem med kvarstående vatten på markytan. Exempelvis så sjunker nederbörden ner relativt fort efter ett kraftigt regn (ca 30 mm för KDRGK) och det blir endast lite ytvatten kvar någon dag i svackor. Däremot är problemen stora på hösten när grundvattenytan och vattenhalten i växtbädden stiger, figurer 29 och 30. Växtbädden hinner då sällan dränera till en nivå som ger tillfredställande egenskaper utan ytan blir mjuk och svampig och många maskhögar bildas. Detta ger i sin tur upphov till en yta med låg spelkvalité i form av en fuktig och ostabil markyta där maskhögar har smetats ut med gräsklipparen. Detta ger ett dåligt intryck. De har aldrig problem med att maskiner går igenom ytan, utan det är mer att ytan blir svampig och en dålig spelyta skapas. En orsak till ovan nämnda problem kan enligt Hedlund (2009) vara att avvattningsystemet som skapades när banan anlades nu har en bristfällig funktion, på grund av underdimensionering med även på grund av igensättning och rörbrott på systemtäckdikningen.



Figur 29. Situationen efter ett kraftigt regn på håll nr 13 KDRGK. Foto: Erik Dahl.



Figur 30. Situationen efter ett kraftigt regn på håll 15 KDRGK. Foto Erik Dahl.

I dagsläget består fairway till stor del av vitgröe (*Poa annua*) med ett rotdjup på ca 50 mm. Förutsättningarna på platsen och den höga andelen vitgröe resulterar i att fairwayytorna alltid har kraftiga vinterskador i form av stora fläckar med dött gräs. Skadorna orsakas framförallt av angrepp av snömögel (*Microdochium nivale*) och den syrebrist som skapats under is. I klubbens nuvarande mål ingår därför att skapa bättre förutsättningar för gräset att klara vintern. Detta hoppas de uppnå genom att skapa torrare fairwayytor, där ädelgräsen (ängsgröe

*Poa pratensis* och rödsvingel *Festuca rubra*) bättre kan konkurrera mot vitgröen. Dessa ädelgräs har bättre vinteröverlevnad, drabbas mindre av svampangrepp och har ett djupare rotsystem och klarar därmed torka bättre än vitgröe (Dahl, pers. medd., 2010).

## **KDRGKs målsättningar**

Enligt Dahl (pers. medd., 2010) har klubben flera mål med renoveringen av avvattningsystemet. Ett av målen är att spelyornas topografi skall bevaras. Klubben anser att förändring av topografin med hjälp av onduleringar, inte passar in i landskapet och vill därför göra så små förändringar av topografin som möjligt. Därmed är det inte aktuellt att fairwayytorna onduleras och att enbart med hjälp av brunnar lösa avvattningen.

KDRGKs mål är att efter renoveringen skall avvattningsintensiteten på fairway vara så hög, att 24 timmar efter ett kraftigt regn (30 mm/h) skall det inte finnas något vatten kvarstående på spelyorna och luftinträgningsnivån i marken, skall ligga på ett djup av minst 50 mm. Klubben har även en målsättning att renoveringen avsevärt skall reducera de estetiska problemen med maskhögar som smetas ut på fairwayytorna under hösten och som även resulterar i ett glesare gräsbestånd.

Sammanfattningsvis är huvudmålen med renoveringen att skapa torra spelytor med liten förekomst av maskhögar, där ädelgräsen trivs och skapar en tidig vårstart med lite vinterskador. Detta ska uppnås till en låg renoveringskostnad och liten förändring av topografin.

## **Förutsättningar**

KDRGK har inför renoveringen varit i kontakt med två konsultbolag (Sweco Environment AB och Golden) för att få en bättre bild av situationen och vilka förutsättningar som finns. Nedan följer delvis en sammanställning av hur konsultbolagen har beskrivit förutsättningarna men även fler uppgifter utanför dessa rapporter har inhämtats från berörda personer i renoveringsprojektet.

### ***Växtbädden***

Topografin på Lovön där golfbanan ligger varierar stort. Allt från kuperade till flacka förhållanden finns inom anläggningen och på flera ställen syns berg i dagen. Se figurer 31. Fairwayytorna på de studerade hålen 13, 14, 15 och 17 är relativt plana med högre belägen mark i flera olika riktningar. Enligt Dahl (pers. medd., 2010) har de en ganska kompakt växtbädd under fairway med en tendens till ännu högre penetrationsmotstånd ca 100 mm ner i profilen. Detta högre motstånd försvinner när växtbädden är blöt och blir då likartat genom hela profilen.

Totalt sett utgörs golfbanan av 15 ha fairway med en terrass bestående av mellanlera till styv lera. Det översta lagret (0-100 mm) består enligt jordprov på hål 17 av en sandig lättlera (22 % ler). Under den sandiga lättleran finns en styv lera med en lerhalt på 42 % ner till ett djup av ca 250 mm. Sedan övergår terrassen till att vara en så kallad varvig lera (Hedlund, 2009). Med varvig lera menas att jordprofilen är skiktad och varvas med ett lager lerjord och ett jordlager med grövre partiklar och då oftast med en högre genomsläpplighet. Denna struktur har skapats av inlandsisen och gör att marken, ur ett avvattningsperspektiv kan få väldigt skiftande och speciella egenskaper. Exempelvis reducerar lerlagret ofta den vertikala vattentransporten i växtbädden, medan det skapas ett horisontellt flöde i det grövre lagret med högre genomsläpplighet.



Figur 31. Provgrop mellan hål 14 och 15 på KDRGK. Grundvattenytan framträder i botten på gropen.



Figur 32. Uppgrävt material från provgropen mellan hål 14 och 15. Hedlund studerar aggregatstrukturen.

I figurerna 31 och 32 visas hur materialet och profilen i en provgrop mellan hål 14 och 15 ser ut. I botten på gropen framträder grundvattenytan.

Enligt de undersökningar som har gjorts varierar det inom anläggningen var den varviga leran startar i djupled. I borrhålet som gjorts i förstudien för förbifart Stockholm i området, börjar den varviga leran på ca 1000 mm djup. I borrhål på fairway 17 och schaktgropen mellan hål 14 och 15 identifierades en varvig lera på 450 mm djup med bra struktur (väl aggregerad) (Hedlund, 2009). För att undersöka genomsläppligheten och jordprofilen borrades två hål på fairway 17. Borrhål 1 placerades på höger sida, i början av fairway från utslagsplatsen sett. Borrhål 2 ca 150 m från greenen. Se figur 33.



Figur 33. Karta över den del av Kungliga Drottningholms golfanläggning där fallstudien ligger. På flera ställen kan berg i dagen synas. Foto: Johan Benestam.

Borrhål 1 och 2 var ca 850 mm djupa och de jordlager, strukturer och olika utseende som Hedlund (2009) kunde identifiera följer i tabell 23.

Tabell 23. Kommentarer och lagertjocklekar för borrhål 1 från fairway 17 på KDRGK

Lager nr	Djup (mm)	Kommentarer
1	0-180	Välutvecklad aggregatstruktur och många rötter
2	180-270	Något tätare lera
3	270-700	Varvig lera med viss struktur
4	> 700	Varvig lera, ostrukturerad och blöt. <b>Övrigt:</b> Ett tunt skikt med vatten ställde sig på hålets botten, i övrigt rann inget vatten in i hålet den närmaste timmen. Bortsett från jorden i den nedersta 100 mm, föll den isär lätt och hade välutvecklad struktur med små aggregat. Ett hål med 200 mm djup, gjordes bredvid det andra och fylldes med vatten. På 54 minuter hade vattenytan sänkts 15 mm vilket ger en $K_s$ på 16,6 mm/h. Leran vid sidan var inte mättad innan försöket inleddes och kan ha tagit till sig vatten och därmed skapat ett högre värde.

Tabell 24. Kommentarer och lagertjocklekar för borrhål 2 från fairway 17 på KDRGK

Lager nr	Djup (cm)	Kommentarer
1	0-70	Bra aggregatstruktur och många rötter
2	70-110	Packningssula
3	110-400	Ganska torr lera, med grövre aggregatstruktur än ovan
4	400-	Varvig lera börjar
5	> 700	Varvig lera, ostrukturerad och blöt. <b>Övrigt:</b> Efter två timmar hade vattenytan i hålet stig upp till 130 mm från botten och efter ännu en timme till 200 mm. När 6 timmar hade gått stod vattenytan 450 mm från markytan vilket innebär att en vattenpelare på 400 mm hade bildats i hålet.

I tabell 24 redovisas ett resultat från en enklare mätning av jordens genomsläpplighet som Hedlund (2009) gjorde i samband, med undersökningen av marken. Hon fick fram ett värde på den hydraulisk konduktivitet på 16,6 mm/h. Det anser hon kan vara lite högt på grund av att leran runt hålet kan ha dragit till sig vatten, i och med att den inte var helt vattenmättad.

### Avvattningssystem

Jonsson (2009) skriver att täckdikningssystemet som finns på plats är från jordbrukstiden innan banan anlades. Rör ligger med ett avstånd på mellan 12 – 15 m och på ett djup av ca 1 m. Avvattningssystemets funktion är nu nedsatt på grund av igensättning av ledningar och brunnar samt ledningsbrott.

Enligt Hedlund (2009) anlades täckdikningssystemet när golfbanan byggdes 1959. Inga kartor eller annan information finns om det befintliga täckdikessystemet i dag. Under årens lopp har täckdikessystemet kompletterats med fler dräneringsrör vid vissa golfhål.

Avskärande diken mot kringliggande högre mark finns inom anläggningen med varierande djup på mellan 200 och 500 mm, med ett genomsnitt på 400-500 mm. Det är inte tillräckligt djupt för att skära av infiltrationen från skogspartierna och därmed förhindra att artesiskt vatten uppkommer (Hedlund, 2009).

## **Grundvattnet**

I projekteringsarbetet för förbifart Stockholm har det funnits 9 grundvattenprovvrör inom golfbanans område eller i nära anslutning. Under en längre tidsperiod har mätningar av grundvattennivåns läge utförts i dessa grundvattenrör. De slutsatser Hedlund (2009) drar av resultaten av mätningarna är att grundvattenytan generellt ligger högt. Flera prover visar på att grundvattenytan ligger över markytans nivå vilket är ett resultat av artesiskt vatten. Artesiskt vatten uppkommer i marken här, på grund av att det runt flera fairwayytor finns högre belägna skogspartier, där nederbörd kan infiltrera och sedan transporteras horisontellt, till de lägre belägna fairwayytorna. De lerlager som finns i marken under fairway hindrar eller försvårar sedan vattnet från att nå upp till markytan. Vattnet blir instängt under lerlagren och ett övertryck på vattnet skapas på grund av att vatten fortsätter att trycka på, från högre belägna markområden. Denna typ av vatten i marken kallas för artesiskt vatten. Ovan beskrivna situation finns runt flera av de undersökta hålen. Hedlund skriver vidare i sin rapport att de höga grundvattennivåerna inte är det som påverkar vattenhalten i växtbädden mest, utan snarare de täta lerlager som hindrar nederbörd från att perkolera ner genom profilen.

## **Nederbörd**

Vilken typ av avvattningslösningar som kommer att passa för anläggningen är relaterat till hur nederbörden ser ut på platsen och vilka krav klubben ställer. KDRGKs mål är att luftinträgningsnivån skall ligga på ett djup av 50 mm efter att fairwayytorna har fått dränera under 24 timmar efter ett kraftigt regn (30mm/h). Klubbens mål skiljer sig lite från Bakers (1982) rekommendation att dimensionera efter den största regnintensitet, som innefaller under ett dygn och återkommer vartannat år. Skillnaden mellan klubbens och Bakers rekommendation är att klubben i sitt talar om vilken nivå grundvattenytan skall vara på efter 24 timmar. Någon sådan rekommendation har inte Baker. Enligt Karlsson (1988) innebär Bakers rekommendation en regnintensitet på 30 – 35 mm/dag för området vilket ligger på samma intensitet som klubben siktar på. Jämför vi klubbens mål med Ami & Kelly (2008) rekommendationerna på 25 mm/dag som dräneringskoefficient, ligger klubbens mål högre och även de nämner inte heller något om var grundvattenytan skall vara efter regnet.

KDRGK har en väderstation installerad mellan hål 13 och 17. Data från väderstationen finns redovisat i bilaga 1. Hedlund (2009) gör följande kommentarer kring data från väderstationen om kraftiga regn under perioden sista oktober 2008 till sista oktober 2009:

- vid 5 tillfällen under perioden har regnintensiteten varit mellan 10 och 15 mm/24 timmar och vid 6 tillfällen har intensiteten varit mellan 16 – 35 mm/24 timmar.
- under perioden inföll de kraftigaste regnen vid två tillfällen och då dagarna efter varandra. 2009-06-14 kom 32 mm regn och dagen efter föll 17 mm. 2009-07-08 kom 25 mm och dagen efter föll 34 mm.
- uträknat ger detta en genomsnittlig regnintensitet på 1,5; 0,29; 1,5 och 0,79 mm/timme vid dessa tillfällen. Det finns inga nederbördsdata från längre tillbaka i tiden än den redovisade perioden ovan.

För att få mer tillförlitliga data att göra dimensioneringsberäkningar på, har data från Vägverket (2008) inhämtats. Enligt Dahlströms (1979) Z-värdes karta ligger Lovön på gränsen mellan ett Z-värde på 16 och 18. I tabell 25 redovisas uträknade nederbördsbidrag i mm och flöde i l/s km<sup>2</sup> som erhålls för en plats med ett Z-värde på 16 vid olika varaktighet och återkomsttid. Exempelvis kommer ett regn för regionen med en varaktighet på 24 timmar och som återkommer vartannat år, ge 32,7 mm nederbörd och ett flöde på 380 l/s km<sup>2</sup> (3,8 l/s ha). Siffrorna bygger på statistik från perioden 1961 – 1990 (Vägverket, 2008).



Tabell 25. Regional parameter vid Z-värde 16. Varaktighet och frekvens av nederbördsintensitet,  $T$  = återkomst i månader (tabellen är framtagen enligt P90 Beräkningstips på Svenskt Vattens hemsida).

T		Minuter						Timmar						
		10	15	20	25	30	40	50	60	2	4	6	12	24
12	l/s/km <sup>2</sup>	9800	8000	6530	5570	4890	3980	3390	2970	1810	1100	820	500	300
	mm	5,9	7,2	7,8	8,4	8,8	9,5	10,2	10,7	13,0	15,8	17,7	21,5	26,1
24	l/s/km <sup>2</sup>	12300	10040	8200	7000	6140	5000	4260	3730	2270	1380	1030	620	380
	mm	7,4	9,0	9,8	10,5	11,0	12,0	12,8	13,4	16,3	19,8	22,2	27,0	32,7
60	l/s/km <sup>2</sup>	16670	13610	11120	9480	8320	6770	5770	5060	3070	1870	1390	850	510
	mm	10,0	12,2	13,3	14,2	15,0	16,2	17,3	18,2	22,1	26,9	30,1	36,5	44,4
120	l/s/km <sup>2</sup>	21290	17380	14190	12100	10620	8640	7360	6460	3920	2380	1780	1080	660
	mm	12,8	15,6	17,0	18,1	19,1	20,7	22,1	23,2	28,2	34,3	38,4	46,6	56,6

Nedanstående regnintensitetsdata i tabell 26 och 27 har inhämtats från Hernebring (2006) vilka baseras på mätdata från perioden 1984-2004. Samma regn som i ovanstående exempel ger här 35,6 mm och ett flöde på 410 l/s km<sup>2</sup> (4,1 l/s ha).

Tabell 26. Regnintensitet l/s ha för Stockholm vid olika blockregns varaktighet och återkomsttider baserat på regndata från perioden 1984-2004 Torsgatan Stockholm. Bygger på information från Hernebring (2006)

Återkomsttid (år)	Blockregnets varaktighet (min)									
	5	10	15	20	30	40	50	60	90	120
	l/s ha									
0,5	90,4	66,2	53,2	44,6	34,2	28,6	24,9	22,2	17,1	14,2
1	119,2	88,5	71,2	59,9	45,9	38,0	32,9	29,4	22,4	18,5
2	154,1	116,3	94,0	79,8	61,1	50,2	43,3	38,7	29,4	24,1
5	212,6	164,3	133,7	115,2	88,6	72,1	61,9	55,6	42,1	34,0
10	268,7	211,8	173,4	151,4	116,9	94,5	80,9	73,0	55,2	44,2

Tabell 27. Regnintensiteter i l/s ha för blockregns varaktighet 6, 12 och 24 timmar vid olika återkomsttid för Stockholm. Bygger på information från Hernebring (2006)

Återkomsttid (år)	Blockregnets varaktighet (timmar)					
	6	6	12	12	24	24
	l/s, ha		mm		l/s, ha	
	mm		mm		mm	
0,5	7,1	15,4	4,4	18,9	2,6	22,7
1	9,0	19,5	5,5	23,7	3,3	28,6
2	11,4	24,5	6,9	29,6	4,1	35,6
5	15,3	33,1	9,1	39,4	5,4	46,9
10	19,2	41,5	11,3	48,8	6,7	57,5

Vid bedömning av vilken konstruktion som blir mest ekonomisk är det relevant att veta hur ofta regn med olika intensitet kommer. På SMHI:s (2011) webbsida finns det kartor som redovisar hur ofta det inträffar att det regnar mer än 0,1: 1,0 och 10 mm/dygn på olika platser i Sverige. För området där KDRGK ligger har följande värden erhållits. 0,1 mm/dygn ca 150 gånger/år, 1,0 mm/dygn 80-100 gånger/år och för 10 mm/dygn 10-15 gånger/år. Hur ofta det åskar på olika platser i Sverige kan även det erhållas från SMHI:s webbsida och för området där KDRGK ligger redovisas ca 10 gånger/år (SMHI, 2011).

## **Maskar**

Fram på hösten letar sig maskar upp till ytan (figur 34) och kvarlämnar små lerhögar som sedan smetas ut med bärrullarna på fairwayklipparen, vilket leder till en lägre kvalitet rent utseendemässigt (Dahl, pers. medd., 2010). En anledning till att problemet med maskar ökar fram på hösten kan enligt Jonsson (2010) vara, att vattenhalten i jorden stiger. Det resulterar i att leran sväller och täpper till sprickbildningar m.m. som hjälper till att syresätta marken. Då de större porerna försvinner kan mer eller mindre vattenmättade förhållanden uppstå.

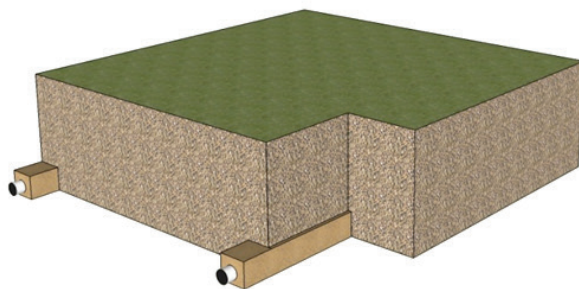


Figur 34. Maskhögar på fairway 17 KDRGK.

## **Föreslagna åtgärder**

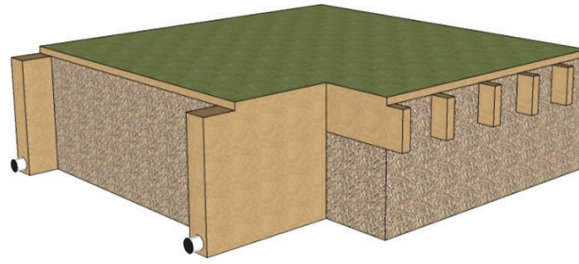
KDRGK har kommit med tre förslag på renoveringsalternativ vilka kortfattat redovisas nedan (Hedlund, 2009 & Dahl, pers. medd., 2009).

*Alternativ 1:* Kallas fortsättningsvis ”Täckdikning” (figur 35). Täckdikningsystem med ett dränerings- rörsdjup på 600 mm och med ett avstånd mellan grendraineringsrören på 5 m. Befintlig jord skall användas för att återfylla dräneringsrörsschakten efter rörläggningen.



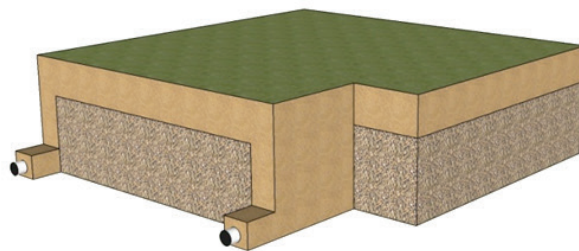
Figur 35. Täckdikningskonstruktionen i profil med grendraineringsrör.

*Alternativ 2:* Kallas fortsättningsvis ”Spår-/slitsdränering” (figur 36). Spår- och slitsdräneringssystem med ett spåravstånd på 5 m, med ett djup på 600 mm och med dräneringsrör i botten. Spåret skall återfyllas med grus runt röret och sedan med sand upp till ytan. Till spåret kommer slitsdräneringar anslutas med ett djup på 200 mm, en bredd på 25 mm och med ett slitsavstånd på 260 mm. Slitarna skall återfyllas med sand upp till markytan. I lågpunkter kommer ytvattenbrunnar att installeras för att ta om hand eventuell ytvattenbildning. Växtbäddens översta 20 – 30 mm kommer att tas bort och ersätts med 50 mm finsand - mycket grov sand (0,2 – 2,0 mm).



Figur 36. Spår-/slitsdräneringskonstruktionen i profil.

*Alternativ 3:* Kallas fortsättningsvis ”Sandkapping” (figur 37). Sandkappingkonstruktion där växtbäddens översta skikt schaktas bort och topografin förändras så att en 2 % lutning av terrassen skapas. Ovanpå terrassen kommer sedan ett nytt växtjordlager på 200 mm placeras och som består av sand. Infiltrationsbrunnar placeras ut med ett avstånd på ca 70 m och runt varje brunn läggs dräneringsrör med ett avstånd på 5 m. Varje ytvattenbrunn kommer sammankopplas med närliggande brunnar med hjälp av dräneringsledningar. Under sandkappingen kommer en systemtäckdikningen med ett avstånd på 6000 mm att läggas för att avvattna växtbädden.



Figur 37. Sandkappingkonstruktionen i profil.

### ***Förmågan hos det befintliga avvattningssystemet att avleda nederbörd***

Som beskrivs ovan har anläggningen inga större problem att ta hand om regn som faller under sommaren. Vid denna tidpunkt på året är oftast vattenhalten i växtbädden låg, det råder stort djup till grundvattnet och leran har spruckit upp på grund av låg vattenhalt. Sprickbildningen som sker i lerjorden skapar en hög genomsläpplighet och den avvattande intensiteten blir därmed hög (Dahl, pers. medd., 2010). Under denna period är också avdunstningen från mark och växter stor och därmed kan eventuellt ytvatten snabbt försvinna (Baker, 1982).

### ***Förutsättningar vid beräkning av avvattningsförmåga***

För de olika avvattningslösningar som redovisas nedan har avvattningsförmågan beräknats för två olika scenarier. För båda scenarierna har det dimensionerande regnet av författaren satts till 32,5 mm/24 timmar vilket grundar sig på följande rekommendationer och mätningar Karlsson (1988) 30-35 mm/24 h, Vägverket (2008) 32,7 mm/24 h och Hernebring (2006) 35,6 mm/24 h. De förutsättningar som framkommit i undersökningarna och som beskrivs ovan för hål nr. 17 har använts vid beräkandet. Detta innebär plan fairway med liten lutning och högre belägen mark i flera riktningar runt spelytorna. Det översta jordlagret (0 – 100 mm) består av en sandig lättlera med ett  $K_s$ -värde på 10 mm/h. Under det ett lager (100 – 400 mm) av

mellanlera till styv lera med ett  $K_s$ -värde på 10 mm/h. Ett tredje lager (400 – 700 mm) av väl strukturerad varvig lera. Från 700 mm och neråt finns en varvig lera med dålig struktur och  $K_s$ -värdet har därför satts till 0 mm/h.

I de beräkningar som gjorts i detta arbete för att se vilken dräneringsförmåga de olika lösningarna resulterar i, har ett värde på den hydrauliska konduktiviteten satts till 10 mm/h för ursprungsmaterialet i skiktet 0 – 700 mm. Detta värde grundar sig delvis på ovan nämnda mätning på 16,6 mm/h, men även på att McIntyre & Jacobsen (2000) anser att lerjordar i sportsammanhang normalt har ett  $K$ -värde på 5-10 mm/h. Samma  $K_s$ -värde används både för det översta skiktet som består av en sandig lättlera, som för den mellanlera till styva leran som finns under. Enligt McIntyre & Jacobsen (2000) har en sandig lättlera ett  $K_s$ -värde på 10 – 50 mm/h. Författaren har valt att använda ett värde som ligger i den nedre delen av skalan för den sandiga lättleran som finns i det översta 0 – 100 mm. Packningen är här som störst från maskiner och golfare samt att det finns fler rötter som kan sätta igen större porer och därmed skapas en lägre hydraulisk konduktivitet. Under sommaren kan den hydrauliska konduktiviteten vara högre tack vare torrsprickor. Författaren har valt att använda sig av ett  $K_s$ -värde som kan vara rimligt under hösten, eftersom det är då som KDRGK har haft de största problemen. Baker (1982) nämner i sina rekommendationer att dimensioneringen skall göras för de regn som kommer på hösten och vintern, på grund av att det är dessa som ger de största problemen.  $K_s$ -värdet på de två jordar som modelljorden är uppbyggd efter (se bilaga 2), har högre genomsläpplighetsvärden än de 10 mm/h som beräkningarna bygger på. Anledningen till att författaren har valt ett lägre värde, är att laboratoriemätning ger generellt sett ett högre värde (McIntyre & Jacobsen 2000, McCoy, 2009 [www]). Temperaturen på markvattnet i växtbädden på hösten är också lägre än under laboratoriemätningen. Det ger ett högre värde på den dynamiska viskositeten och  $K_s$ -värdet sjunker därmed.

Enligt McIntyre & Jacobsen (2000) har en sanddominerad växtbädd ett  $K_s$  på mellan 10 - 50 mm/h. För sandmaterialet i sandkappingen har ett högre värde på 100 mm/h valts. Detta har gjorts därför att sandmaterialet som används som växtjord har ett  $K_s$  på 320 mm/h enligt laboratorieanalysen. Sandmaterialet som används är grövre än det sandmaterial i de sandbäddar som McIntyre & Jacobsen syftar på. I beräkningen av dräneringsintensiteten används den horisontella hydrauliska konduktiviteten vilket borde vara högre, eftersom påverkan av grässvålen på  $K_s$ -värdet i den riktningen är liten. Därför har ett högre värde valts i sandkappingen. Tabell 28 visar en sammanställning av de antaganden som beräkningarna baseras på.

Markytan på KDRGK är kuperad vilket kommer att påverka var vattendelaren mellan dräneringsrören hamnar. För alla beräkningar väljer därför författaren att utgå ifrån att växtbädden ligger i plan och vattendelaren befinner sig mitt emellan dräneringsrören. Ett lägre värde på dräneringsintensiteten hade uppnåtts om växtbädden hade lutat åt ett håll och det mesta vattnet runnit åt det hållet. Anledningen till den minskade dräneringsintensiteten är att den hydrauliska gradienten minskar och därmed skapas en mindre drivande kraft.

För att kunna konstruera vattenretentionsdiagram och volymsdiagram med dräneringskurvor krävs det mer data om växtbädden, än vad som har mäts fram i fält och på laboratorium av KDRGK i förundersökningen. Detta har lösts genom att använda uppmätta värden från jordar med likartad textur,  $K_s$ -värde och djup i profilen som de som finns på platsen. De uppmätta värdena kommer från jordar som har analyserats Wiklert, Andersson & Wiedow (1983a & b) vid SLU i Ultuna. Vilka fysikaliska data som används vid beräkningarna redovisas i bilaga 1.

Tabell 28. Sammanställning av de antaganden som beräkningar baseras på

Faktor	Antaganden	anmärkning
Dimensionerande regn	32,5 mm på 24 timmar	Samma intensitet under tiden.
Hydraulisk konduktivitet ( $K_s$ )	<i>Täckdikning:</i> 10 mm/h i djupet 0 - 600 mm. <i>Spår-/slitsdränering:</i> 50 mm/h i djupet 0 - 50 mm, 10 mm/h i djupet 10 - 600 mm. <i>Sandkapping:</i> 100 mm/h i djupet 0 - 200 mm, 10 mm i djupet 200 - 400 mm.	I beräkningen räknar vi med att jordlagret under täckdikensrören är ogenomsläppligt. Därmed bortses från eventuella flöden från underliggande lager till rören.
Jordart	<i>Täckdikning:</i> 0 - 100 mm sandig lättlera 100 - 400 mm mellanlera – styv lera 400 - 700 mm väl strukturerad varvig lera > 700 mm varvig lera ( $K_s = 0$ ) <i>Spår-/slitsdränering:</i> 0 - 50 mm sand i övrigt som täckdikningen. <i>Sandkapping:</i> 0 - 200 mm sand i övrigt som täckdikningen.	
Växtbäddslutning	Alla växtbäddar ligger i plan	

Vid beräkning av dräneringsrörsavstånd kommer Hooghoudts formel (37) att användas. Formeln är avsedd för att räkna ut vilket avstånd mellan dräneringsrören som krävs för att behålla grundvattenytan mitt emellan rören konstant, för en förutbestämd regnintensitet (Adams & Gibbs, 1994). Den dräneringshastighet som erhålls av Hooghoudts formel talar om med vilken hastighet som nederbörd dräneras mitt emellan täckdikensrören och därmed den lägsta hastigheten (Hillel, 2004). Det bör understrykas att denna typ av beräkningar bara ger en indikation på vad dräneringsintensiteten kommer att bli och vilken kapacitet konstruktionen/växtbädden kommer att få.

Enligt Adams & Gibbs (1994) kan Hooghoudts formel användas vid beräkningar av dräneringssystem med slitsar eller grävda spår och deras avvattande förmåga. Vid denna typ av dräneringssystem är tanken att huvuddelen av nederbörden koncentreras och infiltreras genom slitsen/spåret. Formeln ändras då så att endast slitens/spårets area av markytan beräknas. Genom att dividera avståndet ( $D$ ) mellan slitsarna/spåren med deras bredd ( $b$ ), anpassas formeln för dessa förhållanden. För mer information om beräkningar av spår- och slitsdräneringssystem med Hooghoudts formel, se kapitlet *Hooghoudts formel*.

I arbetet kommer en formel (60) som Dumm tagit fram och som bygger på Boussinesq ekvation för icke stationärt flöde att användas, för beräkning av tidsåtgången för att återfå grundvattenytan i ursprungligt läge efter att ha stigit vid ett regn.

Målet med beräkningarna är att ge en bild av vilken dräneringsintensitet de olika avvattningslösningarna får vid beräkningar med Hooghoudts formel och vilken tid det tar att sänka grundvattenytan enligt Dumms formel. Författaren vill påpeka att ingångsvärdena är osäkra och behöver undersökas mer innan definitivt beslut om åtgärd tas. Däremot anser författaren att slutsatser med större säkerhet, kan dras av eventuella skillnader mellan de olika lösningarnas dräneringsintensiteter och tid för att sänka grundvattnet till ursprungsläget.

## Beräkningarna

### *Scenario 1. Dräneringsintensitet och grundvattenytans förändring*

I arbetet nedan jämförs två olika scenarier där grundvattenytans läge är det som skiljer, det vill säga om grundvattenytan befinner sig ett visst djup under markytan eller om den befinner sig i markytan. I det senare fallet är marken helt vattenmättad och ingen luft finns i porsystemet, se tabell 29.

Tabell 29. Antaganden som beräkningar baseras på för scenario 1 respektive 2

	Scenario 1	Scenario 2
Dimensionerande regn inträffar när	växtbädden befinner sig i dräneringsjämvikt grundvattenytan befinner sig på 700 mm djup	växtbädden är mättad grundvattenytan befinner sig vid markytan (0 mm djup)

I övrigt antas i båda fallen följande:

- inget vatten perkolerar/avvattnas under avvattningskonstruktionen. Anledningen till att terrassens förmåga att avvattna på detta djup sätts till noll, är att författaren vill demonstrera vilken förmåga och bidrag till platsens dränering just den valda avvattningslösningen har. I fallet med KDRGK är enligt förstudien, grundens förmåga att dränera liten och har därför satts till  $K_s = 0$  mm/h
- avvattningslösningen måste ha en dräneringsintensitet som överstiger 32,5 mm/dygn eller 1,35 mm/h för att klara det dimensionerande regnet
- Hooghoudts formel används för beräkning av dräneringsintensiteten.

*Täckdikning.* Inget flöde till täckdikningsrören existerar inledningsvis eftersom grundvattenytan ligger under dräneringsrören (grundvattenyta på 700 mm djup och täckdikningsrör på 600 mm djup). I ett scenario där det dimensionerande regnet inträffar kommer grundvattenytan att stiga så högt att luftmängden minskar till 5,5 mm enligt beräkningen nedan.

Luftmängden vid ett dräneringsdjup på 700 mm minus det dimensionerande regnet, ger den luftmängd som finns kvar.

Luftmängd 38 mm vid ett Dr på 700 mm (Bilaga 2) - det dimensionerande regnet 32,5 mm:  
 $38 - 32,5 = 5,5$  mm

En luftmängd på 5,5 mm inträffar mellan ett dräneringsdjup på 100 mm (3 mm luftmängd) och 200 mm dräneringsdjup (9 mm luftmängd), se bilaga 2. I den fortsatta diskussionen antas därför att grundvattenytan steg upp till ett djup av 150 mm. Det kommer att ta ett tag innan markvattnet har hunnit inta dräneringsjämviktsläge samt för grundvattenytan att stiga upp till 150 mm från markytan under regnet. Under den tid som grundvattenytan är ovanför dräneringsrören kommer överskottsvatten att avvattnas mot dräneringsrören. Eftersom fallhöjden är liten på grund av att grundvattenytan inledningsvis inte har hunnit stiga upp till 450 mm över botten på dräneringsrören, blir den avvattnade mängden inledningsvis liten. I resonemanget och beräkningen på hur högt grundvattenytan stiger efter det dimensionerande regnet, bortses därför den mängd markvatten som kan avvattnas medan grundvattenytan stiger. När grundvattenytan har stigit till sin maximala höjd efter regnet, är den dränerande intensiteten 0,32 mm/h mitt emellan dräneringsrören (beräkning 61).

$$v = \frac{4Kh^2}{S^2} = \frac{4 \times 10 \times 450 \times 450}{5000 \times 5000} \approx 0,32 \text{ mm/h} \quad (61)$$

Fallhöjden är nu 450 mm och kommer att minska allt eftersom markvatten dräneras bort av dräneringsrören och därmed kommer dräneringsintensiteten att minska.

*Spår-/slitsdränering.* Inga förändringar av hur grundvattenytan fluktuerar kommer att ske jämfört med täckdikningen. Att denna konstruktion har både slitsar och spår som är sandfyllda upp till markytan påverkar inte dräneringsintensiteten under uppsatta förutsättningar. Fritt vatten på markytan måste finnas för att vattnet ska gå in i slitsar och spår via ytan och därmed utnyttja deras högre  $K_s$ -värde. Fritt vatten uppstår endast på markytan vid en regnintensitet som är högre än infiltrationskapaciteten, vilket inte uppnås i detta scenario. Stigningen av grundvattenytan blir densamma som för täckdikning i och med att samma förutsättningar för avvattning existerar på djupet. Grundvattenytan stiger alltså till 150 mm från markytan vilket är 50 mm högre upp än var slitsarna börjar. Fallhöjden på 50 mm som skapas från grundvattenytan till slitarnas botten gör att en liten mängd vatten kan avvattnas via dem. Den mängden är så liten att den bortses här. För en djupare bild av slitarnas funktion se beräkningar i kapitlet *Spår och slitsars dräneringsförmåga*.

*Sandkapping.* Precis som för täckdikning och spår-/slitsdränering är dräneringsrörens avvattnade förmåga i början låg, på grund av att grundvattenytan inte har stigit högt nog över dräneringsrören och därmed skapat någon större drivande kraft. Enligt beräkningen kan hela nederbörden magasineras i växtbädden vilket resulterar i att grundvattenytan stiger från 700 till ca 400 mm och påverka luftmängden från 61 mm till 28,5 mm enligt beräkningarna nedan.

Luftmängd 61 mm vid ett Dr på 700 mm (Bilaga 2, tabell 5) - det dimensionerande regnet 32,5 mm:  
 $61 - 32,5 = 28,5 \text{ mm}$

En luftmängd på 28,5 mm sammanfaller mellan ett dräneringsdjup på 300 mm (14 mm luftmängd) och 450 mm dräneringsdjup (35 mm luftmängd), se bilaga 2, tabell 6. Förutsätts att förändringen av luftmängden är linjär mellan 450 mm och 300 mm infaller en luftmängd på 28,5 mm på ett grundvattendjup av 400, se beräkningen nedan.

35 mm luftmängd – 14 mm luftmängd = 21 mm luftmängd  
 $21 \text{ mm luftmängd} / 150 \text{ mm förändringen i på grundvattenytan } (450 - 300 \text{ mm}) = 0,14 \text{ mm}$   
 förändring av luftmängden/förändring av djupet i mm  
 $35 \text{ mm} - 28,5 \text{ mm} = 6,5 \text{ mm luftmängd}$   
 $6,5 \text{ mm} / 0,14 \approx 46 \text{ mm}$   
 $450 - 46 \approx 400 \text{ mm}$

När grundvattenytan har stigit till sin maximala höjd efter regnet, är den dränerande intensiteten 0,04 mm/h mitt emellan dräneringsrören (beräkning 62). Fallhöjden är nu 200 mm och kommer att minska allt eftersom markvatten dräneras bort av dräneringsrören och därmed kommer dräneringsintensiteten att minska.

$$v = \frac{4 \times 10 \times 200 \times 200}{6000 \times 6000} \approx 0,04 \text{ mm/h} \quad (62)$$

## Scenario 2. Dräneringsintensitet

Förutsättningar för scenario 2:

- det dimensionerande regnet inträffar när växtbädden är mättad. Nederbörden infiltrerar ytan med samma hastighet som avvattningslösningen förmår avvattna. Inget vatten perkolerar/avvattnas under avvattningskonstruktionen. Se förklaring under scenario 1.
- grundvattenytan befinner sig vid markytan (0 mm djup).
- avvattningslösningen måste ha en dräneringsintensitet som överstiger 32,5 mm/dygn eller 1,35 mm/h för att klara det dimensionerande regnet
- Hooghoudts formel används för beräkning av dräneringsintensiteten

*Täckdikning.* Enligt beräkning 63 skapar systemtäckdikningen en dräneringsintensitet på 0,58 mm/h mitt emellan dräneringsrören, när växtbädden är fylld med vatten upp till markytan. Täckdikningen klarar inte att uppnå den dräneringsintensitet på 1,35 mm/h som behövs för att ta hand om det dimensionerande regnet.

$$v = \frac{4Kh^2}{S^2} = \frac{4 \times 10 \times 600 \times 600}{5000 \times 5000} \approx 0,58 \text{ mm/h} \quad (63)$$

*Spår-/slitsdränering.* Till skillnad från täckdikning består denna växtbädd av två lager med olika genomsläpplighet. Sandlagret som pålagts har ett högre  $K_s$  och därmed måste en sammanvägd horisontell hydraulisk konduktivitet ( $K_h$ ) beräknas. Om växtbädden består av två skikt med olika hydraulisk konduktivitet skall ett sammanvägt medelvärde räknas fram. Enligt Adams & Gibbs (1994) kan det göras genom att beräkna den sammanvägda hydrauliska konduktiviteten. För spår-/slitsdräneringen blir den sammanvägda horisontella hydrauliska konduktiviteten 13,3 mm/h (beräkning 64).

$$K_h = \frac{K_1 h_1 + K_2 h_2}{h_1 + h_2} = \frac{50 \times 50 + 10 \times 550}{50 + 550} \approx 13,3 \quad (64)$$

$K_h$  = den sammanvägda horisontella hydrauliska konduktiviteten

$K_1$  &  $K_2$  = hydrauliska konduktiviteten i materialet i lager ett resp. lager två osv....

$h_1$  &  $h_2$  = höjden på materiallager ett resp. två osv....

Rörens förmåga att dränera växtbädden mitt emellan spårdräneringarna ökar från 0,58 – 0,75 mm/h tack vare sandlagret, beräkning 65.

$$v = \frac{4Kh^2}{S^2} = \frac{4 \times 13 \times 600 \times 600}{5000 \times 5000} \approx 0,75 \text{ mm/h} \quad (65)$$

Beräkningar på slitsars och spårs dräneringsförmåga redovisas utförligt i kapitlet *Spårs och slitsars dräneringsförmåga*. Här kommer bara deras dräneringsintensitet att redovisas. Slitsarna kan bidra med en dräneringsintensitet på 0,06 mm/h enligt beräkningen 74. Anledningen till att slitsarna inte får en högre kapacitet är att enligt förutsättningarna har grundvattenytan stigit till markytan och då är även slitsarna vattenmättade. Därmed försvinner både magasineringkapaciteten och slitsbottens förmåga att avvattna.

Spårdräneringens förmåga till intag av ytvatten bidrar enligt beräkning 82 med en dräneringsintensitet på 2 mm/h. Behovet av en dräneringsintensitet på 1,35 mm/h uppnås därmed, med hjälp av spårdräneringens förmåga att dränera växtbädden. Den totala dräneringsintensiteten blir 2,8 mm/h (2,0 mm/h + 0,06 mm/h + 0,75 mm/h  $\approx$  2,8 mm/h) mitt



emellan dräneringsrören. Den ytvattenbildning som skapas av det dimensionerande regnet klarar föreslagen konstruktion att ta hand om.

Efter att regnet har upphört skapas inget ytvattenflöde och då sker avvattningen bara genom växtbädd, med en kapacitet på 0,75 mm/h. Till ovanstående konstruktion kommer KDRGK att anlägga ytvattenbrunnar i lågpunkter för att ta hand om överskottsvatten. För det dimensionerande regnet ovan borde mängden överskottsvatten till brunnarna bli minimal. En högre regnintensitet än 2,81 mm/h krävs för att någon större mängd ska belasta brunnarna.

*Sandkapping.* Precis som för spår-/slitsdräneringen måste först den sammanvägda horisontella hydrauliska konduktiviteten beräknas och för sandkappingen blir den 40 mm/h, enligt beräkning 66. När grundvattenytan ligger i marknivån kommer sandkappingkonstruktionen att uppnå en dräneringsintensitet mitt emellan dräneringsrören på 1,76 mm/h (beräkning 67). Det innebär att sandkappingkonstruktionen klarar av det dimensionerande regnet vid mättat tillstånd.

$K_h$  = Den sammanvägda hydrauliska konduktiviteten

$K_1$  &  $K_2$  = Hydrauliska konduktiviteten i materialet i lager ett resp. lager två osv....

$h_1$  &  $h_2$  = Höjden på materiallager ett resp. två osv....

$$K_h = \frac{K_1 h_1 + K_2 h_2}{h_1 + h_2} = \frac{100 \times 200 + 10 \times 400}{200 + 400} = \frac{24000}{600} = 40 \text{ mm/h} \quad (66)$$

$$v = \frac{4 \times 40 \times 660 \times 600}{6000 \times 6000} \approx 1,76 \text{ mm/h} \quad (67)$$

Om terrassen packskadas vid utläggning av sandmaterialet och därmed terrassen  $K_s$ -värde blir 0, sjunker dräneringsintensiteten från 1,76 mm/h till 0,44 mm/h enligt beräkning 68. I och med att terrassens  $K_s$ -värde är satt till 0 mm/h räknas inget  $K_h$  fram och därmed sätts  $K_s$ -värde nu till 100 mm/h i formeln.

$$v = \frac{4 \times 100 \times 200 \times 200}{6000 \times 6000} \approx 0,44 \text{ mm/h} \quad (68)$$

### ***Tidsåtgång för att sänka grundvattenytan***

Nedan redovisa hur lång tid det tar att sänka grundvattenytan till 450 mm djup från markytan. Att sänka grundvattenytan till samma höjd som dräneringsrören ligger på kommer att ta flera veckor (Bilaga 3). Anledningen är att den drivande kraften är mycket liten i slutet och vattnets flödeshastighet blir då mycket låg. Det gör att information om den sänkningstiden är av lågt intresse.

Av större intresse är det där emot att få reda på hur lång tid det tar för bädden att uppnå tillräcklig mängd luftfyllda porer, med hjälp av avvattningslösningen och avdunstning. När grundvattenytan är på 450 mm djup finns det ungefär 12 mm vatten i växtbädden som måste bortföras, för att grundvattenytan ska sänkas till samma djup som dräneringsrören ligger på. Detta är samma mängd vatten som hinner avdunsta under den tiden det tar att sänka nivån till 450 mm. I båda fallen ca 6 dagar (2 mm evapotranspiration/dag x 6 dagar = 12 mm, 5,8 dygn se beräkning 69) Därmed har avvattningslösningen ungefär 6 dagar på sig att kunna påverka

vattenhalten i bädden. Därför redovisas tidsåtgång för sänkning av grundvattenytan till 450 mm djup.

Förutsättningar:

- evapotranspirationen från gräsytan är satt till 2 mm/dygn i och med att vi utgår ifrån ett scenario som uppträder på hösten
- beräkningar på tidsåtgången är gjorda med formel 60 som är framtagen av Dumm.

För att kunna använda Dumms formel beräknas en genomsnittlig dränerbar porvolym inom det intervallet, som grundvattenytan skall sänkas. Det görs genom att dividera sänkingsdjupet med luftmängden som kommer att finnas när det nya grundvattendjupet har uppnåtts och dräneringsjämvikt råder i växtbädden.

*Täckdikningen.* Den dränerbara porvolymen är i genomsnitt 5 % för ett dräneringsdjup på 450 mm, enligt beräkning nedan.

Luftmängd 22,5 mm vid ett dräneringsdjup på 450 mm (Bilaga 2) / det nya grundvattendjupet 450 mm:

$$22,5 / 450 = 0,05 = 5 \%$$

Det kommer att ta 5,8 dygn enligt beräkning 69, att med hjälp av täckdikningen sänka grundvattenytan i växtbädden till 450 mm från markytan. För fler tidsåtgångar för olika sänkingsdjup se tabell 15 bilaga 3. I bilaga 3 visas beräkningarna som ligger till grund för siffrorna i tabellen.

Dumms formel skrivs om så att tidsåtgången ( $t$ ) läses ut i ekvationen.

$$L^2 = \frac{4,5 t K h_o h_t}{V(h_o - h_t)} \Rightarrow t = \frac{L^2 V(h_o - h_t)}{4,5 K h_o h_t} = \frac{25 \times 0,05(0,6 - 0,15)}{4,5 \times t \times 0,24 \times 0,6 \times 0,15} \approx 5,8 \text{ dygn} \quad (69)$$

*Spår-/slitsdränering.* Att sänka grundvattenytan till 150 mm över dräneringsrören med hjälp av avvattningssystemet kommer att ta 8,8 dygn enligt ekvation 70. Tidsåtgång för fler sänkingsdjup se tabell 15, bilaga 3. Den dränerbara porvolymen är i genomsnitt 7,6 % för ett dräneringsdjup på 450 mm där det finns 34,3 mm luftmängd i profilen, se bilaga 2 (34,3 mm / 450 mm = 0,076 mm).

$$t = \frac{L^2 V(h_o - h_t)}{4,5 K h_o h_t}; t = \frac{25 \times 0,076(0,6 - 0,15)}{4,5 \times 0,24 \times 0,6 \times 0,15} \approx 8,8 \text{ dygn} \quad (70)$$

*Sandkapping.* Att sänka grundvattenytan till 450 mm från markytan med hjälp av dräneringsrören och därmed återfå dräneringsjämvikt i sandkappingen kommer att ta 13,2 dygn enligt beräkning 71. Den dränerbara porvolymen är i genomsnitt 7,9 % för ett dräneringsdjup på 450 mm där det finns 35,4 mm luftutrymme i profilen se bilaga 2 (35,4 mm / 450 mm = 0,079)

$$t = \frac{L^2 V(h_o - h_t)}{4,5 K h_o h_t}; t = \frac{36 \times 0,079(0,6 - 0,15)}{4,5 \times 0,24 \times 0,6 \times 0,15} \approx 13,2 \text{ dygn} \quad (71)$$

### ***Spår och slitsars dräneringsförmåga***

Den valda konstruktionen i avvattningslösningen spår-/slitsdränering skapar ett speciellt händelseförlopp mellan scenario 1 och 2, och som förändras med tiden innan hela växtbädden är mättad. Detta händelseförlopp mellan scenarierna visas nedan med den dräneringsförmågan slitsar och spår ger upphov till. Först beskrivs slitsarnas dräneringsförmåga och därefter diskuteras spårens.

Är regnintensiteten större än dräneringsintensiteten i växtbäddsmaterialet, under det pålagda sandlagret på 50 mm, kommer nederbörden att börja fylla upp och mätta sandlagret. När sandlagret är mättat ansamlas nederbörd på ytan och kan nu lätt förflytta sig mot slitsar och spår.

I det mättade sandlagret sker en avvattning i sidled till närmaste slits. Utgår vi från att fallhöjden är 50 mm (sandlagrets tjocklek) och att avståndet mellan slitsarna är 260 mm, uppnås en dräneringsintensitet på 7,5 mm/h (beräkning 72). I uträkningen har ett  $K_s$  på 50 mm/h använts, vilket är lägre än sandens uppmätta värde på laboratorium. Detta val motiveras med att delar av sandlagrets porsystem är fyllt av gräsrotter och jordmaterial från maskar. McIntyre & Jacobsen (2000) hänvisar till att en gräsbevuxen sanddominerad växtbädd har en  $K_s$  på mellan 10 – 50 mm/h. Det högre värdet har här valts med tanke på att det är frågan om ett rent sandmaterial.

$$v = \frac{4 \times 50 \times 50 \times 50}{260 \times 260} \approx 7,5 \text{ mm/h} \quad (72)$$

En ökning av ytans dräneringsintensitet med ca 7,5 mm/h (beräkning 72) kan uppnås med sandkapping och slitsar. Skulle inte en ökning av dräneringsförmågan hos en icke vattenmättad växtbädd från 10 mm/h (växtbäddens  $K_s$ ) till 17,5 mm/h räcka kommer nederbörden att ansamlas på markytan. Med icke vattenmättad växtbädd åsyftas här jorden under sandlagret. Skulle den vara mättad blir dräneringsintensiteten 8,25 mm/h. 7,5 mm/h + 0,75 mm/h som dräneringsrören skapar.

Att dräneringsförmågan ökar till 17,5 mm eller 8,25 mm/h är inte helt säkert. En beräkning behöver först göras för att se om slitsen klarar av att ta emot och leda bort denna mängd. Vid beräkning av slitsens dränerande förmåga måste en dräneringsfaktor räknas fram, genom att dividera avståndet mellan slitsarna ( $D$ ) som är 260 mm och bredden ( $b$ ) på slitsen som är 25 mm, se beräkning 73. Detta görs för att nederbörden kommer att koncentreras från att ha fallit på och infiltrerat hela ytan, till att sedan infiltrera samt perkolera enbart genom slitsens bredd.

$$\frac{D}{b} = \frac{260\text{mm}}{25\text{mm}} = 10,4 \quad (73)$$

Antar vi att sandmaterialet i slitsen har ett  $K_s$  på 100 mm/h, klarar slitssystemet en nederbördsintensitet på 9,6 mm/h (100 mm/h / kvoten 10,4  $\approx$  9,6 mm/h).

När sandmaterialet i slitsen är vattenmättat kommer den dränerande förmåga att begränsas till den hastighet som slitsen kan avvattnas mot spårdräneringen. För att beräkna slitsens förmåga att ta emot ytvatten kan Hooghoudts formel användas. I beräkningen nedan har Hooghoudts formel anpassas för att gälla för slitssystem genom att ovan nämnda  $D$  och  $b$  har införts. Enligt beräkning 74 uppnås en dräneringsintensitet på 0,06 mm/h av slitsen, när den är vattenmättad och är ansluten till en spårdränering.

$$\begin{aligned}
K_s &= 100 \text{ mm/h} \\
h &= 200 \text{ mm} \\
b &= 25 \text{ mm} \\
S &= 5000 \text{ mm} \\
D &= 260 \text{ mm}
\end{aligned}$$

$$v = \frac{4Kh^2b}{S^2D} = \frac{4 \times 100 \times 200 \times 200 \times 25}{5000 \times 5000 \times 260} \approx 0,06 \text{ mm/h} \quad (74)$$

Slitsens infiltrerande förmågan blir 0,64 mm/h när inte dräneringsintensiteten över hela ytan beaktas, utan bara infiltrationshastigheten i slitsen mitt emellan spårdräneringen (beräkning 75, där D & b då är uteslutna).

$$v = \frac{4 \times 100 \times 200 \times 200}{5000 \times 5000} \approx 0,64 \text{ mm/h} \quad (75)$$

Av ovanstående uträkningar på slitsens infiltrerande förmåga kan utläsas att när den är vattenmättad, klarar den inte av att avleda vattnet till spåret med samma intensitet som det 50 mm tjocka sandlagret, i ytan klarar av att tillföra vatten.

Enligt Gibbs (2010) kan sand-/gruslagren i slits-/spårdräneringskonstruktion ta emot ca 4-5 mm nederbörd innan porsystemet är fyllt. Han anser att det skall ses som en bonus och inte tas hänsyn till vid dimensionering. För den kompletta förståelsen i detta arbete så väljer författaren att räkna fram den magasinierande förmågan på slitsen. Utgår vi från att sandmaterialet i slitssystemet har en porositet på 40 % och är helt tömd på vatten, skulle valda dimensioner för slitssystemet kunna magasinera 8 mm nederbörd i slitsarna. Detta är detsamma som 8 dm<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> gräsyta (beräkning 76). Beräkningen utgår ifrån 1 m<sup>2</sup> och fyra slitsar per meter. Uträkningen blir följande.

$$\begin{aligned}
\text{Slitsarnas infiltrationsyta: } &4 \text{ st } 25 \text{ mm breda slitsar} \times 10 \text{ dm (slitsarnas längd)} = 10 \text{ dm}^2 \\
\text{Slitsarnas volym: } &10 \text{ dm}^2 \text{ (slitarnas infiltrationsyta)} \times 2 \text{ dm (slitsens djup)} = 20 \text{ dm}^3 \\
\text{Slitsarnas vattenmagasineringsförmåga: } &20 \text{ dm}^3 \times 40 \% \text{ (sandens porositet)} = 8 \text{ dm}^3 \\
\text{mm nederbörd/m}^2 \text{ gräsyta som slitssystemet kan magasinera: } &8 \text{ dm}^3 / 100 \text{ dm}^2 \text{ (totala ytan)} \\
&= 0,08 \text{ dm} = 8 \text{ mm}
\end{aligned} \quad (76)$$

Nedan följer uträkningar (beräkningar 77-79) på hur lång tid det tar för slitsen att fyllas och därmed att sänka slitssystemets dräneringsintensitet från 9,6 mm/h till 0,06 mm/h mitt emellan spårdräneringarna. Beräkningen utgår ifrån att växtbädden under slitsen inte är vattenmättad utan kan ta emot vatten med sitt fulla K<sub>s</sub>-värde. Obs att nedan har ordet vatten och inte nederbörd använts. Detta för att det inte ska bli en förväxling mellan en slits infiltration och perkolationskapacitet och en slits inverkan på en gräsytas dräneringsintensitet.

$$\begin{aligned}
&\text{Lagringskapaciteten / slits i mm vatten:} \\
&\text{Slitsens djup } 200 \text{ mm, Sandmaterialets porositet } 40 \% \\
&200 \text{ mm} \times 40 \% = 80 \text{ mm}
\end{aligned} \quad (77)$$

$$\begin{aligned}
&\text{Påfyllningshastighet per tidsenhet:} \\
&\text{Infiltrationshastighet på slitsen} = 100 \text{ mm/h (sandens } K_s \text{-värde)} \\
&\text{Infiltrationshastighet i växtbädden under slitsen} = 10 \text{ mm/h (växtbäddens } K_s \text{-värde)} \\
&100 \text{ mm/h} - 10 \text{ mm/h} = 90 \text{ mm/h}
\end{aligned} \quad (78)$$

På en timme hinner slitsen infiltrera 100 mm vatten och under den tiden hinner växtbädden under slitsen bortföra 10 mm. Därmed blir påfyllnadshastigheten på slitsen 90 mm/h.

Efter 0,9 h (54 min) är slitsen fylld om vi utgår ifrån att den matas med sin fulla förmåga att infiltrera vatten och bidrar nu med en dräneringsintensitet på 0,06 mm/h plus den mängd som botten på slitsen klarar av att dränera (se beräkning nedan).

*Tid till vattenmättad slits:*

Påfyllnadshastighet 90 mm/h

Lagringskapacitet 80 mm

80 mm / 90 mm/h  $\approx$  0,9 h

(79)

Vilken dräneringsintensitet som botten klarar av att dränera beror på om grundvattenytan har nått slitsen eller inte. Är grundvattenytan uppe i slitsen är den 0 mm/h. Annars ligger dräneringsintensiteten på 1 mm/h enligt beräkningen nedan.

*Slitsbottnens bidrag till dräneringsintensiteten:*

Dräneringsfaktor 10,4 (D/b)

$K_s$  i växtbädden under slitsen 10 mm/h

10 mm/h / 10,4  $\approx$  1 mm/h

(80)

Enligt vald konstruktion anläggs ett spårdräneringssystem med sand upp till markytan och kan då bidra till att öka dräneringsintensiteten. Vid beräkning av spårets bidrag räknas en dräneringsfaktor fram på samma sätt som för slitsen ovan. Dividera avståndet mellan spåren (D) som är 5000 mm och bredden (b) på spåret som är 100 mm. Dräneringsfaktorn blir 50 enligt beräkning 81.

$$\frac{D}{b} = \frac{5000\text{mm}}{100\text{mm}} = 50 \quad (81)$$

Antar vi att grässvålen ovanför spåret har en infiltrationsförmåga på 100 mm/h, avvattnas gräsytan med en dräneringsintensitet på 2 mm/h (100 mm/h / 50 = 2 mm/h).

Någon begränsande magasineringseffekt har inte spåret i och med att förmågan att transportera bort vatten från spåret via dräneringsrören i botten, är större än infiltrationsförmågan genom grässvålen (förutsatt att dimensioneringen av rörsystemet är rätt). Precis som slitsar kan spår avvattna sandkappingen som är i närheten. Utgår vi från samma förutsättningar som vid slitsarnas dränering av sandlagret i texten ovan, men ökar avståndet (S) till det dubbla, så uppnås en dräneringsintensitet på 2 mm vid ett avstånd på 250 mm från spåret enligt beräkning 82.

$$v = \frac{4 \times 50 \times 50 \times 50}{500 \times 500} = 2,0 \text{ mm/h} \quad (82)$$

### **Ytvattenbrunnar**

Rationella metoden (formel 83) har valts för att beräkna det maximala toppflödet till ytvattenbrunnar för sandkappingkonstruktionen. Enligt förutsättningar inträffar det dimensionerande flödet när växtbädden är mättad (scenario 2) och därför sätts avrinningskoefficienten (C) till 1,0. Alltså all nederbörd rinner av eller blir kvar på ytan. Enligt tabell 25 uppstår en nederbördsintensitet på 3,8 l/s·ha för ett regn som varar i 24 timmar och återkommer vartannat år och för tabell 27 redovisas ett värde på 4,1 l/s·ha.

Författaren väljer att använd 3,95 l/s·ha för beräkningen vilket ligger mitt emellan de båda värdena.

Det maximala toppflödet till varje ytvattenbrunn blir enligt Rationella formeln 1,5 l/s för ett regn som varar i 24 timmar och återkommer vartannat år (beräkning 84).

$$q = C \times i \times A \quad (83)$$

$q$  = maximala toppflödet (l/s)

$C$  = avrinningskoefficient (1,0)

$i$  = nederbördsintensitet i l/s · ha (3,8 l/s·ha resulteras av ett regn med en varaktighet på 24 h och återkommer vartannat år)

$A$  = den avvattandearean till varje ytvattenbrunn, avrinningsområdets yta (ha)

$A = r^2 \times \pi = 35^2 \times 3,1415 \approx 3848 \text{ m}^2 \approx 0,3848 \text{ ha}$

$r$  = radien på avrinningsområdet för ytvattenbrunnen (m)  $70 \text{ m} / 2 = 35 \text{ m}$

$$q = 1,0 \times 3,95 \times 0,3848 \approx 1,5 \text{ l/s} \quad (84)$$

För att få fram vilken varaktighet på regnet som krävs för att hela avrinningsområdet ska bidra till flödet till ytvattenbrunnen, görs en beräkning (beräkning 85 eller 86) på den tid det tar för vattnet att förflytta sig. Det vill säga hur lång tid det tar för nederbörden att förflytta sig på ytan, från den vattendelare som ligger längst från brunnen i avrinningsområdet, till brunnen. För vald konstruktion tar det 23,3 minuter innan hela avrinningsområdet bidrar och därmed skall ett regn med en varaktighet på 23,3 minuter användas, för att ta reda på vilken regnintensitet som uppstår. Regnintensiteten behövs för att med hjälp av Rationella formeln beräkna vilket flöde som skapas till ytvattenbrunnen (beräkning 87). Ett regn med en varaktighet på 25 minuter som återkommer vartannat år skapar en nederbördsintensitet på 70 l/s·ha (tabell 25) vilket genererar ett flöde på 27 l/s (beräkning 85 – 87) till ytvatten brunnen. Under de 25 minuter som regnet varar faller en nederbördsmängd av 10,5 mm enligt tabell 25.

$$T = \frac{107 \times L^{0,33}}{M \times S^{0,2}} = \frac{107 \times 35^{0,33}}{32,5 \times 0,02^{0,2}} \approx \frac{345,9}{14,86} \approx 23,3 \text{ min} \quad (85)$$

$T$  = rinntid (min)

$M$  = Mannings tal (se tabell 12, Kort gräs 30 - 35  $\approx$  32,5)

$L$  = rinnsträcka (m) Avståndet mellan ytvattenbrunnarna  $70 \text{ m} / 2 = 35 \text{ m}$

$S$  = lutning (m/m) (längd/höjd) 2 %

Inhämtas information om rinnhastighet för en gräsyta med ängsgröe och med en släntlutning på 2 % från figur 14, uppnås en hastighet av 5 fot/minut vilket är detsamma som 1,5 m/min.

$$t = \frac{L}{v}; t = \frac{35}{1,5} \approx 23,3 \text{ min} \quad (86)$$

$L$  = längd (m) Avståndet mellan ytvattenbrunnarna  $70 \text{ m} / 2 = 35 \text{ m}$

$v$  = rinnhastighet (m/min) 1,5 m/min

$t$  = tiden (min)

$i$  = nederbördsintensitet i l/s · ha (70 l/s ha, uppnås av ett regn med en varaktighet på 25 min och återkommer vartannat år för platsen, se tabell 25)

Införs alla värdena i Rationella formeln uppnås ett maximalt toppflöde till ytvattenbrunnen på 27 l/s, enligt beräkning 87.

$$q = 1,0 \times 70 \times 0,3848 \approx 27 \text{ l/s} \quad (87)$$

### **Dressningsbehov för att behålla växtbäddens egenskaper**

*Täckdikningen.* För att beräkna den årliga dressmängden som behövs för att späda ut jordmaterialet som maskarna transporterar upp, har formel 33 som rekommenderas av Gibbs (2010) använts, se formel 88.

$$A = (R - B)/(C - R) \times 100 \quad (88)$$

*A* = mängden dressmaterial i ton/ha som krävs för att späda ut 100 viktenheter av maskhögarna

*B* = hur stor andel av terrassmaterialet i viktprocent som är större än 0,18 mm ( $D_{20}$ -värde)

*C* = hur stor andel av dressmaterialet i viktprocent som är större än 0,18 mm ( $D_{20}$ -värde)

*R* = bestämd andel av materialet i sandkappingen som ska vara över 0,18 mm

Förutsättningarna i täckdikningsalternativ ger följande värden.

*B* = 52 viktprocent (enligt jordanalys tabell 28)

*C* = 95 viktprocent (enligt jordanalys tabell 28)

*R* = 80 viktprocent (rekommendation Gibbs, 2010 [www])

Ovan framtagna värden ger ett årligt dressningsbehov på 47 ton/ha för att späda ut och behålla en sanddominerad yta, enligt beräkning 89.

$$A = (80 - 52)/(95 - 80) \times 100 \approx 187 \text{ ton/ha} \quad (89)$$

$A \approx 187$  ton/ha. I och med att maskarna bara transporterar upp 25 ton och inte 100 (viktenheter i *A* ovan), måste *A* - värdet delas med 4. Det ger ett dressningsbehov på 47 ton/ha för att späda ut maskhögarna på markytan ( $187/4 = 47$  ton).

Författaren har valt att använda formeln (34) som Adams & Saxon (1979) har utvecklat och rekommenderar för beräkning av det årliga dressmängdsbehovet, för att späda ut det organiska materialet (formel 90).

$$T = I(D - 100)/P - D \quad (90)$$

*T* = årlig dressningsmängd ( $\text{kg/m}^2$ )

*I* = mängd nedbrutet organiskt material från gräsytan ( $\text{kg/m}^2$ ) (plantrester  $\times 0,25$ )

*D* = önskad organisk halt i markytan (5 vikt-% i skiktet 0-50 mm Adams, 1986)

*P* = andelen organiskt material i dressmaterialet (vikt-%)

Följande värden gäller för täckdikningslösning.

$I = 0,8 \times 0,25 = 0,2$  ( $0,8 \text{ kg/m}^2$ , rekommendation Kvalbein & Trygve, 2008)

*D* = 5 vikt-% enligt (rekommendation Adams, 1986)

*P* = 0 vikt-%

Dressningsbehovet blir  $3,8 \text{ kg/m}^2$  enligt beräkning 91 vilket ger 38 ton/ha. Därmed blir det sammanlagda årliga behovet 85 ton/ha ( $47 \text{ ton/ha} + 38 \text{ ton/ha} = 85 \text{ ton/ha}$ )

$$T = \frac{0,2 \times (5 - 100)}{0 - 5} = 3,8 \text{ kg/m}^2 \quad (91)$$

*Spår-/slitsdränering.* Följande värden har använts till beräkningen av årlig dressandmängd för att späda ut maskextrakt.

$B = 75$  viktprocent(enligt jordanalys tabell 28)

$C = 95$  viktprocent (enligt jordanalys tabell 28)

$R = 80$  viktprocent (Rekommendation Gibbs, 2010 [www])

Ovanstående värden ger ett årligt dressningsbehov på 8,3 ton/ha för att späda ut och behålla den sanddominerade växtbäddens fysikaliska egenskaper, enligt beräkning 92.

$$A = (80 - 75)/(95 - 80) \times 100/4 \approx 8,3 \text{ ton/ha} \quad (92)$$

Samma förutsättningar gäller för spår-/slitsdräneringen som för täckdikningen för utspädning av det organiska materialet. Den sammanlagda åtgången blir då 46,3 ton/ha och är enligt beräkning 93.

$$8,3 \text{ ton/ha} + 38 \text{ ton/ha} = 46,3 \text{ ton/ha} \quad (93)$$

*Sandkapping.* För sandkapping anses förekomsten och påverkan av mask liten på grund av det tjocka sandlagret. Därför bort ses från något behov att dressa på grund av mask. Behovet att späda ut det organiska materialet finns kvar och är av samma intensitet som täckdikningen och spår-/slitsdräneringen, det vill säga 38 ton/ha och år.

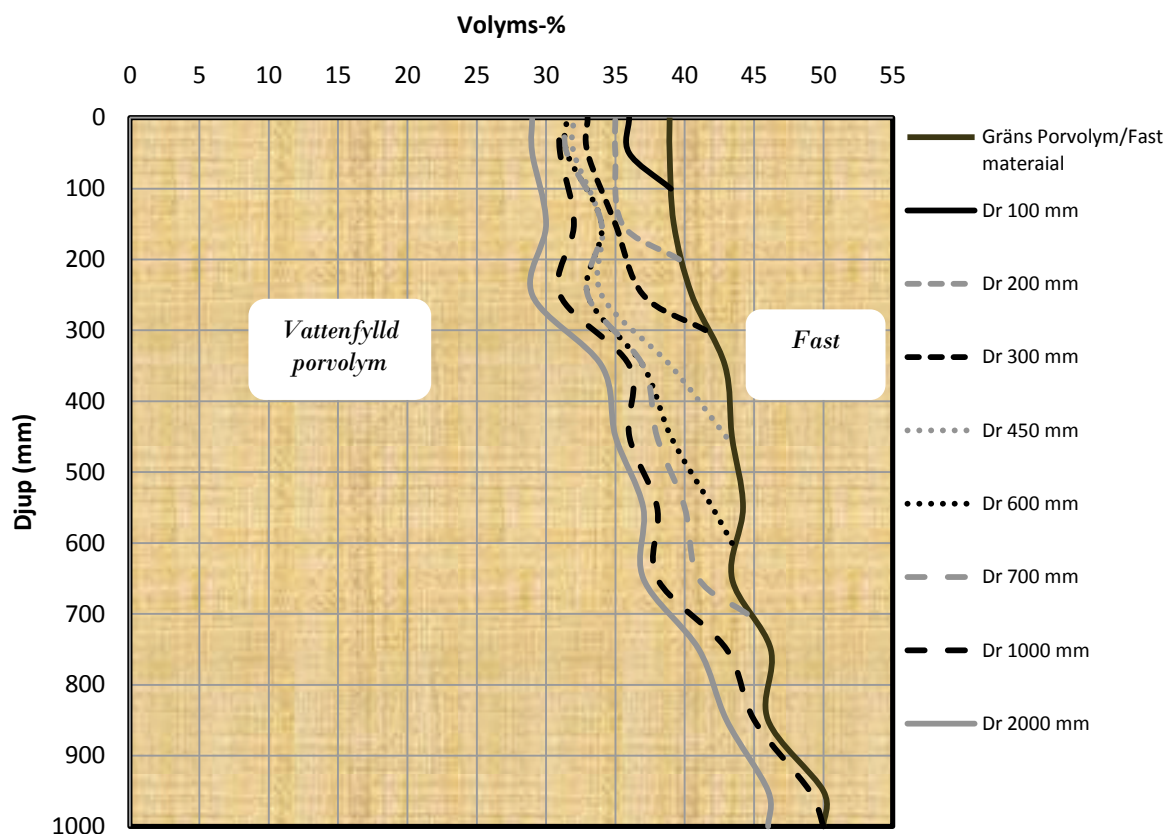
#### ***Växtbäddsmaterialets och avvattningslösningens påverkan på förhållandet mellan luft och vatten i porerna***

Hur förhållandet blir mellan mängden luft respektive vatten i en växtbädd på olika djup bestäms av avståndet till grundvattenytan och porsystemets utseende. I volymsdiagrammen nedan kan en bild skapas av hur avvattningslösningen och växtbäddens material har påverkat luft- och vattenmängden på olika djup. Förkortningen Dr i tabellen står för dräneringsdjup vilket även skulle kunna vara grundvattnets djup. Information från tabell 29 och 30 har använts vid framtagande av bindningskaraktistik för växtbäddarna (se bilaga 3). Värde från bindningskaraktistikan har sedan använts till att konstruera volymstabeller (se bilaga 2) och volymsdiagram med dräneringskurvor (figur 38, 39, 40) för olika dräneringsdjup.

*Täckdikning.* Av figur 38 kan det utläsas att för täckdikningen ökar volymmängden luftfyllda porer på 50 mm djup från ca 6 till 10 % när dräneringsdjupet (Dr) ändras från 300 mm till 2000 mm. Hummel (1993) föreslår en luftvolymsmängd mellan 19 – 24 % i skiktet 0 – 50 mm för växtbäddsmaterial till en USGA uppbyggd green. Detta uppnås inte av växtbädden vid ett Dr på 2000 mm.

På 150 mm djup är luftmängden ca 4 respektive 9 % för dräneringsdjup 300 mm respektive 2000 mm (figur 38). McCoy (2009) rekommenderar att för växtbäddsmaterial till en USGA uppbyggd green skall minst 10 - 15 % av porerna vara luftfyllda på 150 mm djup. Det lägre värdet för 150 mm djup uppfylls nästan med ett dräneringsdjup på 2000 mm.





Figur 38. Volymdiagram för täckdickningen med dräneringskurvor för ett avstånd ner till grundvattenytan på 100-2000 mm. X-axeln redovisar volyms-% fastmaterial, vatten och luft. Y-axeln redovisar avståndet från markytan i mm. Figuren bygger på data från bilaga 2.

Vid ett dräneringsdjup/grundvattennivå på 700 mm krävs flera dagars avdunstning (ET) för att torka ut jorden så att andelen luftvolym kommer upp till rekommendationen på 10 volym-% luftfyllda porer på 150 mm djup (Obs att 10 % är det lägre värdet i spannet som McCoy (2009) rekommenderar). Utgår vi från förutsättningar som redovisas nedan tar det ca 5 dagar enligt uträknade data i tabell 30 innan det finns tillfredställande luftvolym, som kan sörja för ett tillräckligt gasutbyte kring rötterna.

Förutsättningarna vid beräkning av tidsåtgång till att uppnå tillfredställande luftmängd i växtbädden för gräsrötterna

- de översta 300 mm ska torka ut till 10 volym-% luftfyllda porer utmed hela djupet. Författaren har valt värdet 10 % på grund av att det rör sig här om en befintlig jord där rötter har minskat porositeten. Rekommendationerna ovan gäller för nytt växtbäddsmaterial.
- vi bortser från eventuell kapillär upptransport till de översta 300 mm och förändring av grundvattenytans läge.
- en avdunstning på 2 mm/dygn (avdunstning på hösten)

Tabell 30. Befintlig luftvolym respektive luftvolymsmål och behovet av avdunstning för att få en tillfredställande luftvolym

Djup (mm)	Bef. luftvolym (volym-%)	Luftvolymsmål (volym-%)	Avdunstningsbehov(mm)
0-100	7,4	10	2,5
100-200	5,2	10	4,8
200-300	7,5	10	2,6
<b>Totalt</b>			<b>9,9</b>
<b>Dygn</b>			<b>5</b>

I litteraturen nämns ofta att hänsyn måste tas till den mättade kapillärvattenzonen som finns mellan grundvattenytan och luftinträsningsnivån (McCoy, 2009 [www], McIntyre & Jacobsen, 2000, Adams & Gibbs, 1994). Någon sådan mättad kapillärvattenzon kan inte utläsas från något dräneringsdjup i volymsdiagrammet.

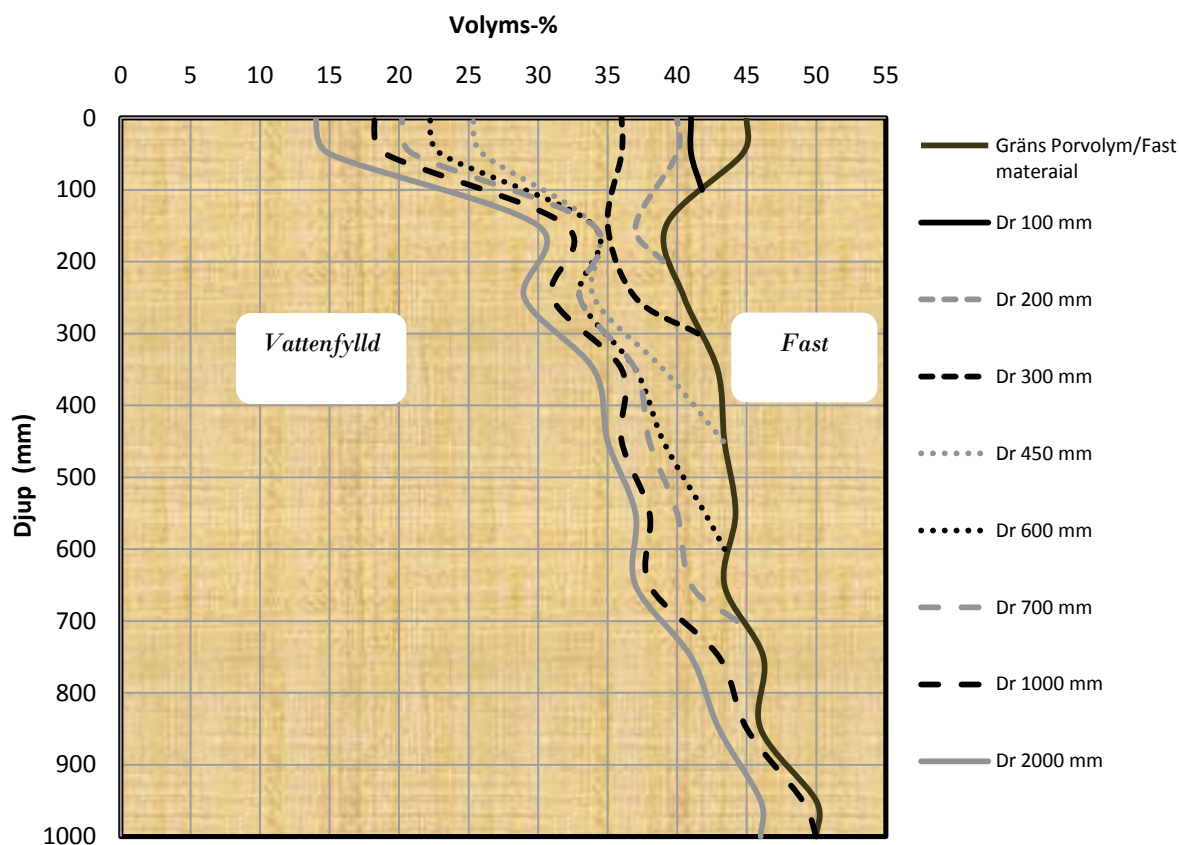
Vid val av avvattningslösning gäller det även att uppnå tillräcklig volym vatten till grässets förbrukning, för att undvika onödig belastning av miljön genom konstbevattning. I tabell 31 visas vilken tillgänglig vattenkapacitet som finns för täckdikningen. Vattnet kommer att räcka i ca 17,3 dygn vid en evapotranspiration på 2 mm/dygn och att växten klarar av att utnyttja hälften av den växttillgängliga mängden vatten. Beräkningen utgår ifrån den vattenmängd som växten kan utnyttja i de översta 300 mm och efter att den jorden utsatts för ett avvattnade tryck på 0,7 mvp.

Tabell 31. Mängd växttillgängligt vatten i det översta 300 mm av växtbädden i mm och hur många dagar det räcker till för att försörja gräset vid ett ET-värde på 2 mm/dag och att gräset klarar av att utnyttja hälften av det växttillgängliga vattnet

Djup (mm)	Mängd vatten (mm)	Mängd icke växttillgängligt vatten (mm)	Mängd växttillgängligt vatten (mm)
0-100	31,5	9,4	22,1
100-200	34	10	24
200-300	33	10	23
<b>Totalt</b>			<b>69,1</b>
<b>Dygn</b>			<b>17,3</b>

*Spår-/slitsdränering.* För spår-/slitsdräneringen ökar mängden luftfyllda porer på 50 mm djup från ca 9 till 30 volym-% när dräneringsdjupet ändras från 300 mm till 2000 mm, se figur 39. När grundvattennivån ligger på 300 mm djup kommer luftvolymen ligga under rekommendationen på 19 – 24 % medan vid 2000 mm djup är den högre.

På 150 mm djup är luftmängden ca 4 respektive 9 % för dräneringsdjup 300 mm och 2000 mm, vilket är samma som för täckdikningen, figur 39. Därmed uppfylls nästan kravet på mängd luftvolym med ett dräneringsdjup på 2000 mm medan vid ett dräneringsdjup på 300 mm ligger luftvolymen på knappt hälften av rekommendationen.



Figur 39. Volymdiagram för spår-/slitsdräneringen med dräneringskurvor för ett avstånd ner till grundvattenytan på 100 - 2000 mm. X-axeln redovisar volyms-% fastmaterial, vatten och luft. Y-axeln redovisar avståndet från markytan i mm. Figuren bygger på data från bilaga 2.

Innan en tillfredställande luftvolym inträder (10 %) krävs 3,6 dygns avdunstning, när grundvattenytan ligger på 700 mm, tabell 32.

Tabell 32. Befintlig luftvolym respektive luftvolymsmål och behovet av avdunstning för att få en tillfredställande luftvolym

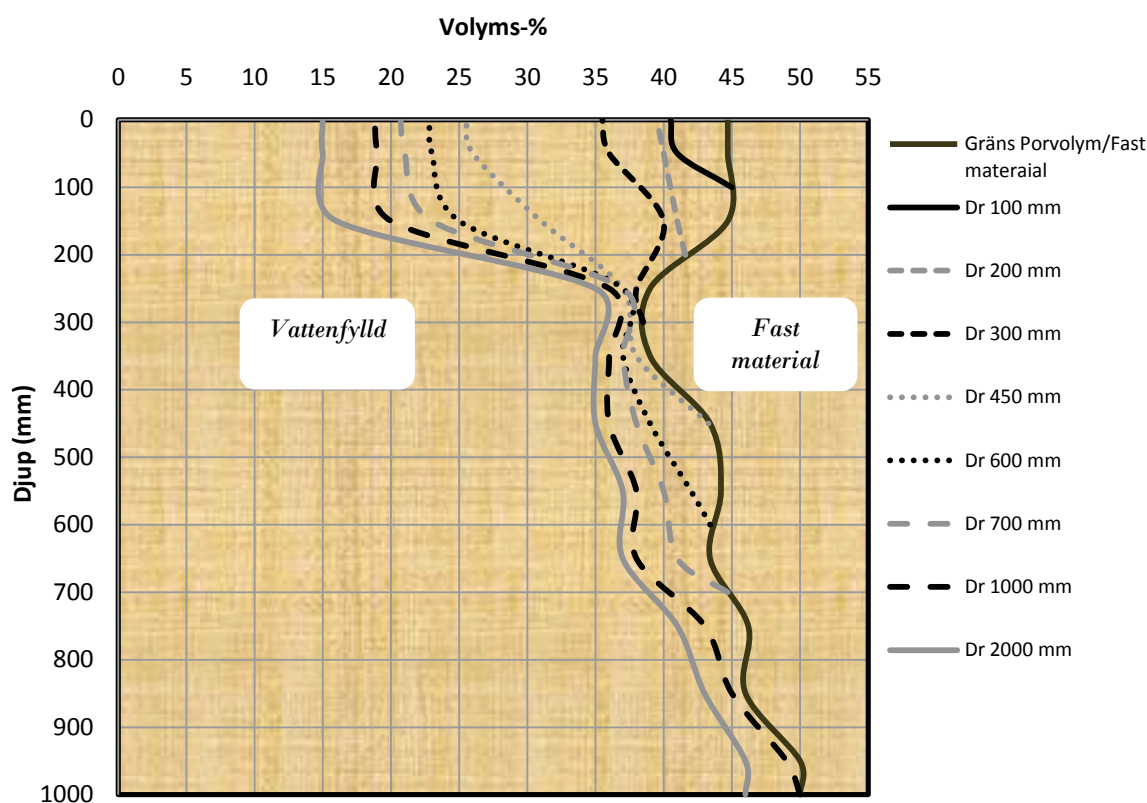
Djup (mm)	Bef. luftvolym (volym-%)	Luftvolymsmål (volym-%)	Avdunstningsbehov(mm)
0-100	23,7	10	0
100-200	5.2	10	4,8
200-300	7.5	10	2,5
<b>Totalt</b>			<b>7,3</b>
<b>Dygn</b>			<b>3,6</b>

Någon mättad kapillärvattenzon kan inte utläsas från något dräneringsdjup i volymdiagrammet. I tabell 33 visas vilken tillgänglig vattenkapacitet som finns för spår-/slitsdräneringen. Vattnet kommer att räcka i ca 14,5 dygn vid ett ET-värde på 2 mm och att växten klarar av att utnyttja hälften av den växttillgängliga mängden vatten.

Tabell 33. Mängd växttillgängligt vatten i det översta 300 mm av växtbädden i mm och hur många dagar det räcker till för att försörja gräset vid ett ET-värde på 2 mm/dag och att gräset klarar av att utnyttja hälften av det växttillgängliga vattnet

Djup (mm)	Mängd vatten (mm)	Mängd icke växttillgängligt vatten (mm)	Mängd växttillgängligt vatten (mm)
0-100	21	10	11
100-200	34	10	24
200-300	33	10	23
<b>Totalt</b>			<b>58</b>
<b>Dygn</b>			<b>14,5</b>

*Sandkappingen.* För sandkappingen ökar mängden luftfyllda porer på 50 mm djup från 5 till 30 % när dräneringsdjupet ändras från 300 mm till 2000 mm, figur 40.



Figur 40. Volymdiagram för sandkappingen med dräneringskurvor för ett avstånd ner till grundvattenytan på 100 - 2000 mm. X-axeln redovisar volym-% fastmaterial, vatten och luft. Y-axeln redovisar avståndet från markytan i mm. Figuren bygger på data från bilaga 2.

På 150 mm djup är luftmängden 15 respektive 29 volym-% för samma dräneringsdjup. Vid förutsättningarna för ovanstående lösning med ett dräneringsdjup på 700 mm finns tillräckligt med luft för att uppnå målet på 10 volym-%, se tabell 34. Samma grundförutsättningar som tidigare.

Någon mättad kapillärvattenzon kan inte utläsas från något dräneringsdjup i volymdiagrammet.

Tabell 34. Befintlig luftvolym respektive luftvolymsmål och behovet av avdunstning för att få en tillfredställande luftvolym

Djup (mm)	Bef. luftvolym (volym-%)	Luftvolymsmål (volym-%)	Avdunstningsbehov(mm)
0-100	23,7	10	0
100-200	21,7	10	0
200-300	2	10	8
<b>Totalt</b>			<b>8</b>
<b>Dygn</b>			<b>4</b>

I tabell 35 redogörs för vilken tillgänglig vattenvolym som finns för sandkappingen. Vattnet kommer att räcka i ca 14,8 dygn vid en evapotranspiration på 2 mm och att växten klarar av att utnyttja hälften av den växttillgängliga mängden vatten.

Tabell 35. Mängd växttillgängligt vatten i det översta 300 mm av växtbädden i mm och hur många dagar det räcker till för att försörja gräset vid ett ET-värde på 2 mm/dag och att gräset klarar av att utnyttja hälften av det växttillgängliga vattnet

Djup (mm)	Mängd vatten (mm)	Mängd icke växttillgängligt vatten (mm)	Mängd växttillgängligt vatten (mm)
0-100	21	3,4	17,6
100-200	23	3,4	19,6
200-300	37	15	22
<b>Totalt</b>			<b>59,2</b>
<b>Dygn</b>			<b>14,8</b>

## DISKUSSION

### Litteratur

I litteraturstudien framgår det tydligt vad som i grunden styr i vilken riktning som vatten kommer att förflytta sig och med vilken hastighet samt hur mycket vatten som hålls kvar i jordprofilen. Det som styr detta i avvattningssammanhang är vilken mekanisk energimängd vattnet har, i förhållande till sin omgivning. Det vill säga storleken på den hydrauliska gradienten, alltså förändringen i energimängd/förändring i rummet. I och med att vattnet skall flöda genom ett poröst material och därmed i ett porsystem, så kommer porsystemets karaktär i jorden att påverka flödes hastigheten. Detta genom att olika storlek på friktionsförluster skapas. Porsystemet skapar också en kvarhållande kraft med hjälp av kapillärkrafterna vilket påverkar mängden vatten som blir kvar i jorden. Hur stor denna kraft blir styrs av porernas storlek och därmed av utseendet på porsystemet. Detta i sin tur styrs av jordmaterialets struktur och textur. Därmed kommer valet av material och skötselregim, i stor utsträckning att påverka mängden vatten och luft som hålls kvar i växtbädden samt vilken flödes hastighet på vattnet som kan skapas.

Att det är de ovan nämnda faktorerna som styr och påverkar vattnet i grunden verkar alla källor vara övers om i studien, även om de förklarar det hela på olika sätt. Att sedan tillämpa denna kunskap på dränering av sportgräsytor under svenska förhållanden och att försöka få ut information om vilken dräneringsintensitet och hur mycket luft/vatten som finns i växtbädden,

är mycket mer komplicerat. Det som komplicerar det hela är att det är många faktorer som samverkar och att dessa faktorer ofta förändras både vertikalt och horisontellt i en växtbädd, i och med att porsystemets utseende i jorden lätt förändras. Att porsystemet utseende lätt förändras från en plats till en annan gör att uppmätta egenskaper som t.ex. mättad hydraulisk konduktivitet, kan skilja mycket inom samma yta och på olika djup. Hooghoudts formel som har använts i beräkningarna av dräneringsintensiteten i fallstudien, kräver att indata är av hög kvalitet för att ge relevant svar (Adams & Gibbs, 1996). Samma problem och krav gäller även vid framtagning av data för konstruktion av bindningskurvor och dräneringskurvor i form av volymsdiagram.

Vid insamling av mätdata som skall användas för ovan nämnda beräkningar och simuleringar gäller det att först få en uppfattning om hur många prover som måste tas för att kunna få fram ett representativt svar samt få en uppfattning av hur det skiljer sig både vertikalt och horisontellt inom området.

För att kunna presentera en högkvalitativ gräsyta i sportsammanhang har det visat sig att avvattningens funktion har stor betydelse. Målet med avvattningen är att öka markens lämplighet för ändamålet, vilket inom sportsektorn innebär att skapa en gräsyta med hög spelkvalité. Detta uppnås genom att snabbt leda bort överskottsvatten och återfå förmågan att klara trafikbelastning samt skapa en växtbädd med en för gräset gynnsam fördelning mellan luft- och vattenfyllda porer. KDRGKs mål att främst att skapa en växtbädd som gynnar ädelgräsen, leda bort överskottsvatten snabbt och minska mängden maskhögar och därmed öka spelbarheten stämmer väl med ovan.

Som framgår av litteraturstudien finns det många olika sätt att lösa bortledningen av överskottsvattnet på och dessa kan indelas i ytavvattning eller avvattning av markvatten, beroende på vad för vatten de tar hand om. Dessa kan i sin tur klassificeras i egenskaper när det gäller intensitet och kapacitet. Intensiteten innebär hur fort en yta kan avvattnas medan kapaciteten är med vilken förmåga jorden kan ta emot vatten och buffra vatten, vilket styrs av hur djupt ner grundvattenytan kan sänkas.

Beroende på vilken bransch som diskuterar avvattningsfrågan ligger fokus olika mellan betydelsen av intensitet respektive kapacitet. Inom golfsektorn är intensiteten viktig medan inom jordbruket ligger fokus på kapaciteten. Ett annat område i samhället där en effektiv avvattning är viktig är vid konstruktion av vägar. Här ligger också fokus på intensitet. Då kan det vara lätt att tänka att vi använder oss av samma lösningar och byggmetoder som vägbyggarsektorn. Detta hade gått mycket bra om det inte hade varit för att vi handskas med ett levande material som inte klarar av täta ytor och har behov av att en viss mängd vatten infiltreras in i växtbädden. Likaså behöver gräs tillgång till syre för rötternas respiration och därmed måste det skapas porer som är luftfyllda och som i sin tur har förbindelse med luften ovan så att en gasutväxling kan ske. Det gäller även att så snabbt som möjligt kunna återfå en hög stabilitet på gräsytor. Detta för att skötsel och spel snabbt ska kunna återupptas.

Som i de flesta design- och konstruktionsarbeten brottas man med vilken lösning som har bästa tekniska och ekonomiska livslängd samt vilka risker klubben vågar ta, om systemet överbelastas och därmed kan orsaka skada. Klubbens affärsidé påverkar också arbetet med att bestämma vilken intensitet och kapacitet avvattningslösningen skall ha. Om klubbens affärsidé är att rikta sig mot att organisera de största golfävlingarna i landet föreligger behov av högre dräneringsförmåga för att minimera risken att tävlingar måste ställas in. Samma sak gäller för både fotboll och golf. För att kunna avgöra vilken avvattningslösning som kommer

att uppfylla målen och bli mest ekonomisk är det av stor vikt att en ordentlig förstudie av området görs.

En faktor som har stor påverkan på valet av hur nederbörden skall tas om hand enligt Mark A. Marek (2009 [www]) är växtbäddens mättade hydrauliska konduktivitet. Ju lägre  $K_s$ -värde växtbädden har, desto större risk för att ytvatten bildas och därmed bör större fokus läggas på ytavvattningslösningar. Att klassificera in sportgräsytan efter vilken hydrologisk jordgrupp den har och vilka kvalitetskrav den ska klara, kan vara ett sätt att få en uppfattning om fokuset ska ligga på ytavvattningslösningar som brunnar och slits/spårdräneringssystem, eller på avvattning av markvatten med hjälp av täckdikessystem.

Vid mindre arbeten som t.ex. problem med överskottsvatten på ett område av en fairwayyta kan oftast avvattningslösningen överdimensioneras utan större påverkan på den totala kostnaden. Den stora kostnaden i dessa projekt är oftast igångsättnings kostnader och att få dit maskiner.

## Fallstudie

För att undersöka vilken effekten blir och konsekvenser av några vanliga avvattningslösningar har det i detta arbete gjorts simuleringar utifrån förutsättningarna som fanns på KDRGK, för att öka anknytning till praktiken. Förundersökningarna som gjorts på KDRGK inför renoveringen har varit få, därför har information inhämtats från jordar med liknande karaktär för att skapa ett större underlag.

Inför renoveringen av KDRGKs golfanläggning togs det fram tre olika förslag på avvattningslösningar i arbetet benämnda täckdikning, spår-/slitsdränering och sandkapping. Målet med fallstudien har varit att se med vilken intensitet de olika lösningarna kan avvattna området och vilka konsekvenser de kommer att ha på förhållandet luft/vatten i profilen. KDRGKs mål är inte bara att ytvattnet skall försvinna utan växtbädden skall återfå sin stabilitet och luftväxlingsförmåga snabbt, för att klara trafik och sörja för rötternas behov av syre. Vid dimensionering av många dräneringsarbeten glöms det bort att slutmålet som skall uppnås snabbt, är en växtbädd med en tillfredställande mängd luftfyllda porer till gräset. Detta leder till att fel avvattningslösningar väljs som kan avhjälpa problemet med ytvattnet, men inte överskottsvattnet i bädden. Någon allroundlösning som fungerar för alla situationer finns inte. Alla lösningar har sina för- och nackdelar. De som är dyra har oftast en stor förmåga att ta emot vatten, men kan ha andra negativa effekter som en anläggning som inte passar in i omgivningen eller har stor påverkan på miljön.

Scenarierna i fallstudien är uppbyggda kring specifika förutsättningar vilka existerar från tid till tid på en golfanläggning. Det som särskiljer de olika avvattningslösningarna är på vilket sätt de avvattnar området. Vissa av dem har en stor förmåga att ta emot stora mängder nederbörd som kan lagras i växtbädden, medan de har sämre förmåga att leda bort vattnet snabbt.

Av fallstudien framgår det att alla avvattningslösningar klarar av att ta hand om det dimensionerande regnet där förutsättningarna för scenario 1 råder. Det vill säga att avvattningslösning täckdikning, spår-/slitsdränering och sandkapping klarar av att ta emot ett regn på 32,5 mm, förutsatt att grundvattenytan ligger på ett större djup än 500 mm när regnet startar. Regnintensiteten måste även vara jämnt fördelad under de 24 timmar, som är regnets varaktighet. Ligger grundvattenytan på ett mindre djup vid regnets start föreligger risken att grundvattenytan stiger upp till markytan och vatten blir stående på ytan i slutet av

regnperioden. Det som gör att avvattningslösningarna klarar av regnet är att växtbädden har tillräckligt stor buffrande förmåga (magasineringskapacitet) när regnet börjar falla och att det dimensionerande regnet inte kräver en hög dräneringsintensitet eller  $K_s$ -värde på växtbädden.

KDRGK har artesiskt vatten som leder till att grundvattnet under perioder ligger närmare markytan, än den halvmeter som krävs för att buffra mot det dimensionerande regnet. Risk föreligger därför att vatten kommer att samlas på ytan eller rinner av mot en lägre punkt och belasta denna med mer vatten. Det artesiska vattnets påverkan kommer att öka vid nederbörd. Hur stor öka belastning på dräneringssystemet den artesiska vattenströmmen kommer att få och därmed minska dräneringssystemets förmåga att ta emot nederbörd har inte studerats i denna studie.

För täckdikning och spår-/slitsdräneringen tar det 5,8 respektive 8,8 dygn att sänka grundvattenytan ner till 150 mm över dräneringsrören (d.v.s. 450 mm från markytan). Enligt fallstudien uppnås inte en tillfredställande luftvolym för rötterna vid detta dräneringsdjup. Från ett dräneringsdjup på 700 mm krävs ytterligare 5 dygns avdunstning från markytan och gräset, innan rekommenderad andel luftvolym finns på 150 mm djup för täckdikningen. För spår-/slitskonstruktionen är motsvarande tid 3,6 dygn. Sandkappingen uppnår däremot tillfredställande luftmängd vid ett dräneringsdjup på 450 mm.

KDRGK har som mål att försöka öka andelen ängsgröe och rödsvingel vilket kan bli svårt med tanke på att vitgröe är den art som bäst klarar av dålig luftväxling kring rötterna och genom sin förmåga att sätta mycket frö som snabbt gror och bildar nya plantor.

Kommer det dimensionerande regnet när växtbädden är mättad eller frusen och därmed ingen buffrande förmåga finns, utan all nederbörd måste tas hand om med samma intensitet som regnet faller (förutsättningen i scenario 2), ställs konstruktionens dräneringsintensitet på prov och nu syns en skillnad mellan avvattningslösningarna. Ungefär 43 % av nederbörden för det dimensionerande regnet kan avvattnas av täckdikningen ( $0,58 \text{ mm/h} / 1,35 \text{ mm/h} = 43 \%$ ) medan spår-/slitsdräneringen och sandkappingen har en dräneringsintensitet (2,8 mm/h respektive 1,76 mm/h) som överstiger behovet på 1,35 mm/h när ytvattenbrunnarna inte är inkluderade. Resultaten i studien stämmer väl överens med vad litteraturen säger. Det dimensionerande regnet som har använts resulterar i en stor mängd vatten men som är utspridd under många timmar vilket inte ställer så höga krav på intensiteten. Skulle samma mängd vatten istället fallit under en tvåtimmarsperiod, vilket motsvaras av ett kraftigt sommarregn eller åskskur, kommer täckdikningslösningen resultera i att ytvatten bildas omgående, i och med att intensiteten överskrids. Spår-/slitsdräneringen skiljer sig från de båda övriga på det sätt att det är två olika avvattningsystem i samma lösning, nämligen slits och spår. Att analysera effekten av dessa blir extra svårt för att de medverkar till dräneringsintensiteten olika under ett dräneringsscenario och genom att den har två olika buffringskapaciteter (växtbäddens samt spår och slitsars buffringsförmåga).

Sandkappingen har i scenario 1 en hög infiltrationskapacitet på runt 100 mm/h och en buffringskapacitet på 61,4 mm enligt beräkningarna i fallstudien. Detta resulterar i att ett regn med en intensitet på 100 mm/h och som ger 61 mm krävs innan systemet överbelastas. Här bör tas upp att denna höga infiltrationshastighet på 100 mm/h gäller en sandkapping med låg organiskt halt eller problem med hydrofobisitet. När väl sandkappingen är vattenmättad som i scenario 2, sjunker dräneringsintensiteten till 1,76 mm/h.



För att sandens egenskaper ska fortsätta att dominera växtbäddens egenskaper krävs att sand tillförs ytan för att späda ut dött organiska material samt jord som maskar transporterar upp. På KDRGK har fairwayytorna dressats under årens lopp vilket har lett till att mängden ler och silt i de översta 100 mm har sänkts från att ligga runt 80 – 95 vikt-% (se bilaga 1) till att vara runt 40 vikt-%. Denna sänkning borde resultera i att behovet av dressning för att späda ut finmaterialet som maskarna transporterar upp minskar.

Beroende på vilken avvattningslösning som väljs skapas olika framtida dressningsbehov enligt studien. Störst dressningsbehov föreligger för täckdikningen med ett årligt behov på 85 ton/ha. Spår-/slitsdränering och sandkappingen har ett betydligt lägre behov på grund av att översta skikt har en låg halt finmaterial. Dressningsbehov för spår-/slitsdräneringen ligger på 46,3 ton/ha vilket är lägre än de 75 – 100 ton/ha som McCoy (2009) rekommenderar för slits-spårdräneringssystem. En anledning till det lägre behovet enligt beräkningen i studien, kan vara att för spår-/slitsdräneringen kommer ett sandlager på 50 mm att läggas ut och därmed sänks behovet. Efter några år kanske maskarna har kontaminerat det tillförda sandlagret så mycket att en högre giva kan krävas. Behovet för täckdikningen ligger inom intervallet för McCoy (2009) rekommendation. Lägst behov har sandkappingen med 38 ton/ha. I litteraturstudien har det inte framkommit några uppgifter på om behovet av att dressa för att späda ut det organiska materialet kommer att öka, när maskförekomsten minskar som t.ex. i en sandkapping. Någon effekt på nedbrytningshastigheten borde genereras när maskarna förekomst reduceras vilket kan påverka dressbehovet.

Under arbetets gång har det varit svårt att hitta litteratur som berör sandkapping. Både när det gäller hur den ska byggas upp men även hur den skall skötas för att behålla sina egenskaper. Här är ett område som skulle behövas undersökas mer.

I litteraturstudien framgår det att man ska undvika att blanda olika jordmaterial och att det går åt stora mängder sand för att förbättra en lerjord. För att sandens egenskaper ska bli dominerande krävs ett minsta sandinnehåll på runt 80 %. Vid en liten inblandning av sand i en lerjord blir jorden tätare och porositeten minskar. Det tätaste förhållandet inträffar runt ett förhållande på 50/50. Detta faktum borde leda till att det är väldigt viktigt vid dressning av gräsytor att mängden inte blir för liten vilket med ovanstående resonemang skulle resultera i en minskning av jordens porositet och därmed infiltrationskapacitet samt mindre andel luftfylld porvolym i växtbädden. Min erfarenhet från att ha jobbat inom golfbranschen är att golfbanearbetare märker av en positiv effekt av dressning och att det är flera anläggningar som dressar sina fairwayytor. Under arbetets gång med detta arbete har en fundering uppstått kring om det verkligen stämmer att alla som dressar, på sikt har fått en växtbädd med högre infiltrations och perkolationshastighet. Att den översta markytan direkt efter en dressning blir torrare kan säkert stämma. Likaså att mängden störande maskhögar som sänker spelkvalitén minskar, men vilka konsekvenser får det på sikt för växtbädden när dressanden har blandats in med hjälp av maskar? Om dressmängden är av den storleken att resultatet av maskarnas mixning av materialen skapar en jord där sandmängden blir runt eller över 80 % skulle det ge ett positivt resultat (Gibbs, 2010 [www] och McCoy, 2009 [www]). Blir resultatet en blandning med mindre än 80 % skapas en växtbädd med samma porositet som utan dressning eller lägre. Om resultatet blir en högre eller lägre porositet kommer också att få samma påverkan på växtbäddens hydrauliska konduktivitet.

Både McIntyre & Jacobsen (2000) och Adams & Gibbs (1994) skriver att det är viktigt att i dräneringssammanhang tänka på att det ovanför grundvattenytan finns en mättad kapillärvattenzon som kan uppgå till flera decimeter beroende på jordens textur och struktur. I

volymsdiagrammen med dräneringskurvor har ingen mättad kapillärvattenzon för jordarna i fallstudien kunnat konstateras. En förklaring kan vara att jordarna som analyserats har haft makro- eller bioporer så stora att de inte klarar av att vara vattenfyllda. Orsaken till att de haft dessa större porer kan vara att jorden inte fördärvats under byggnation vilket däremot verkar vara fallet vid många banbyggnationer. Exempelvis utgår många av deras resonemang från förhållanden med låg till ogenomsläpplig terrass på 200 mm djup. En annan orsak kan vara att de jordmaterial som analyserats har varit inom ett djup där jorden påverkas av torka, tjäle, rötter och maskar. Därmed har det kunnat skapas större porer som vid litet undertryck inte förblir vattenfyllda.

De rekommendationer som har hittas i litteraturstudien gällande dränering av sportgräsytor är fokuserade på intensitet och hur snabbt ytan blir fri från vatten. Detta innebär att när det synliga vattnet är borta, är målet uppnått. Med tanke på de resultat som kommit fram i studien på hur lång tid det tar för grundvattenytan att återgå till den ursprungliga nivån, innan det dimensionerande regnet föll och att det är skillnad mellan de olika växtbäddarna vad gäller den tid som krävs för att sänka grundvattenytan, skulle slutmålet och dimensioneringen även fokusera på att återfå grundvattenytan på en nivå, som gör att tillräckligt med luft kommer in i porerna och kan sörja för en tillräcklig luftväxling och syre mängd till grässets rötter.

Bara för att ytan är fri från vatten innebär det inte att växtbädden uppfyller grässets krav vad gäller syretillgång. I perioder när det regnar varje dag finns risk för att grundvattenytan inte hinner gå tillbaka utan ligger för högt och skapar för liten volym luftfyllda porer. Under perioder med dessa förhållanden föreligger risk att ädelgräsen blir svaga och dör med kala fläckar som följd. Dessa fläckar invaderas sedan snabbt av vitgröe och beståndet övergår till mer och mer vitgröe. Större hänsyn till detta borde därför tas vid val av lösning och dimensioner.

Ett sätt att minska problemet med att grundvattenytan under perioder ligger för högt är att placera systemtäckdikningen på större djup och därmed skapa en större buffrande förmåga, alltså högre dräneringskapacitet. Det skapas därmed möjlighet för grundvattenytan att fluktuera mer. Fallhöjden blir då större och en högre dräneringsintensitet skapas. Dessa fördelar måste vägas mot att ytan torkar upp snabbare och ett större behov av bevattning kan bli följd. Om ett större bevattningsbehov blir konsekvensen eller inte beror på om gräset kan kompensera med ett djupare rotsystem. Att lägga systemdränering på större djup ger även en högre byggkostnad vilket måste vägas in.

McIntyre och Jacobsen (2000) betonar i sin bok att avvattningssystem inte kan bygga på att nederbörden enbart skall tas hand om av en systemtäckdikning. Systemtäckdikningen skapar en för låg dräneringsintensitet för att klara av kraven på sportytor. Fallstudien stödjer denna uppfattning, exempelvis klarar inte täckdikningen i fallstudien av att uppfylla målen under förutsättningarna i scenario 2. Det understryker behovet av att i anläggningsskedet skapa en terrass med en hög perkolationshastighet. Som exempel redovisar McIntyre och Jacobsen (2000) att en höjning av terrassens  $K_s$  med 0,3 mm/h, skapas en höjning av dräneringsintensiteten som uppnås av en systemtäckdikning om dräneringsrören ligger på ett avstånd av 1400 mm (fallhöjd 200 mm,  $K_s$  på 5 mm/h). Att terrassens  $K_s$  är av betydelse kan utläsas av studien genom att trots den höga genomsläppligheten på 100 mm/h i sandkappinglagret, blir konstruktionens dräneringsintensitet 1,76 mm/h i scenario 2 och det tar ca 14,7 dygn att dränera växtbädden till dräneringsjämvikt. Resultatet att det tar 14,7 dygn att återfå dräneringsjämvikt i bädden tyder på att det är viktigt att terrassen och växtjordslagret har en genomsläpplighet av ungefär samma storlek samt att om växtjorden har stor förmåga att

infiltrera och lagra nederbörd tar det lång tid innan dräneringsjämvikt infaller. Detta stämmer överens med McIntyre och Jacobsen (2000) samt McCoys uppfattning av förhållandet mellan terrass och växtjorden.

I litteraturstudien framkommer att flera källor påpekar att skötseln av växtbäddens översta skikt är av stor betydelse för dräneringsintensiteten. Orsaken är att det översta skiktet får ta den största belastning av den trafik som sker på sportgräsytan och kompakteras därmed lätt. Bildas ytvatten slammas finpartiklarna lätt upp och kan transporteras vidare och täppa till ytan. Att förhindra att ytvatten bildas och därmed risken att ytan slammar igen kan vara ett sätt att bibehålla dräneringssystemens funktion. Likaså att välja lösningar som snabbt torkar upp ytskiktet, så det därmed åter får en högre stabilitet och risken för packningsskador av ytskiktet och en låg genomsläpplighet minimeras. Ett sätt att minska risken att få ett ytskikt som kommer att bli den begränsande länken i avvattningssystemet är att lägga på ett sandskikt på 50 mm på växtbädden. I fallstudien förändras förhållandet luft/vatten samt porositeten i ytskiktet när ett sandlager på 50 mm placeras överst som i spår-/slitsdräneringen. Den totala andel porer ökar och då främst de luftfyllda porerna.

Av de tider som framkommit i studien av hur många dagar det tar för avvattningslösningen att få tillbaka grundvattenytan till ursprunglig nivå kan utläsas att evapotranspiration har större betydelse på förmåga att få växtbädden till dräneringsjämvikt. Som exempel tar det för täckdikningen i scenario 2, 24 dagar att dränera bort 32,6 mm nederbörd. Under samma period kommer 48 mm att avdunsta om ET sätts till 2 mm/dygn. Därför är det av stor betydelse att sörja för en hög avdunstning (ET-värde) på gräsytona, genom hög luftcirkulation och att solen kommer åt.

Spår-/slitsdräneringssystem påverkan på förhållandet vatten/luft i växtbädden är liten vilket framgår av dräneringskurvorna i volymsdiagrammen. Därmed bör dessa system främst ses som en ytavvattningslösning som kan ta hand om stående vatten på ytan. Finns det inget stående vatten på ytan, utan problemet är att växtbäddens porsystem till för stor del är fyllt med vatten löser inte detta system problemet. Spår-/slitsdräneringssystem funktion är väldigt komplext och förändras med tiden. Vid beräkningarna av slitsen och spårets kapacitet och intensitet, syns att förutsättningarna på platsen och tiden kommer att påverka hur deras effekt kommer att bli på avvattningen. Är förutsättningarna ett låggenomsläppligt lager i ytan med högre  $K_s$ -värde under, kan slitsen/spåret fungera som en passageväg/entré till skiktet under med högre dräneringsintensitet. Finns det inget skikt längre ner med högre genomsläpplighet som slitsen/spåret har kontakt med, eller att rör placerats i botten på spåret kommer den högre dräneringsintensiteten som skapas, existera fram tills spåret/slitsen är vattenfylld. Därmed kan systemet ses som en höjning av växtbäddens kapacitet främst med kortvarig effekt på intensiteten. För att en långvarig effekt skall skapas av spåren krävs att ett rör placeras i botten vilket stämmer överens med beräkningarna i fallstudien och McIntyre & Jacobsen (2000) uppfattningar.

Det bör också påpekas att de dräneringsintensiteter som beräknats fram gäller ytan mitt emellan dräneringsrören/spåren. Bildas det ytvatten på den ytan kan det transporteras vidare via ytan, till ett ställe närmare spåret/dräneringsröret där det kan infiltrera. Hur detta kommer att påverka ytans dräneringsintensitet är svårt att säga något om, för det beror mycket på topografen.

Under arbetets gång med att beräkna dräneringsförmågan har det framkommit att de gäller att hitta var i systemet den lägsta dräneringsintensiteten finns och därmed systemets svagaste

länk. Detta gäller framför allt när växtbädden består av jord med stor skillnad i  $K_s$ -värde eller om flera avvattningslösningar samarbetar, vilket har varit särskilt tydligt i beräkningen av spår-/slitsdränering. Var den svagaste länken finns i systemet kan variera med hur vatten situationen i bädden ser ut när regnet startar, under regnets varaktighet och hur intensiteten samt den totala mängden ser ut. Oftast krävs det att flera olika scenarier beräknas för att få fram var den svagaste länken finns och när. Som nämnts ovan är det i många fall de översta 50 – 100 mm som är den svagaste länk.

## SLUTSATSER

Det finns många olika lösningar att välja bland för att lösa avvattningen av en sportgräsyta. Vissa skapar en hög dräneringskapacitet medans andra har en hög dräneringsintensitet. Att ge starka rekommendationer för vilka/vilken lösning som skall användas, bör inte göras med tanke på att varje plats har sina speciella krav och förutsättningar. Som exempel skiljer sig nederbördsintensitet, ekonomiska ramar och växtbäddens förmåga att magasinera och transportera iväg vatten från fall till fall. Trots den stora mängd faktorer som kan skilja, finns det ett antal slutsatser och rekommendation som kan dras av studien.

Täckdikningssystem enbart har svårt att uppfylla kraven som ställs på sportgräsytor, förutsatt att växtbädden inte består av en sandjord med högt  $K_s$ -värde. Att täckdikningen inte förmår att avvattna växtbädden leder till att nederbörden samlas på ytan och rinner av till lågpunkter, som då överbelastas. Det kan sedan ta flera dagar innan ytvattnet och överskottsvattnet i växtbädden har dränerats bort. Under denna period försvagas gräset på grund av syrebrist vilket kan leda till utglesning av beståndet, svampangrepp och packningsskador, som i sin tur resulterar i lägre förmåga att infiltrera nederbörd i framtiden. Därmed kan slutsatsen dras att nederbörd skall omhändertas där den faller och att dimensioneringen av avvattningssystemet skall utgå ifrån detta, om inte ett system med ytvattenbrunnar har valts. För att klara att omhänderta nederbörd där den har fallit, gäller det att skapa en växtbädd med så högt  $K_s$ -värde och magasineringsförmåga som möjligt genom hela profilen samt skapa en så stor hydraulisk gradient som möjligt mellan överskottsvattnet och dräneringssystemet. Genom att följa dessa mål utnyttjar man varje avvattningssystem fulla förmåga att avvattna och ta om hand överskottsvatten.

I arbetet med att beräkna vilken dräneringsintensitet olika lösningar skapar har det visat sig att det gäller att ha relevanta värden på växtbäddens hydrauliska konduktivitet. Ett för högt eller för lågt värde, får stor påverkan på vilken dräneringsintensitet som uppnås. Att det sedan krävs att det tas många prover på samma område för att få fram relevanta värden, gör det till en viktig faktor i arbetet med att dimensionera ett avvattningssystem.

En slutsats som kan dras av studien är att avdunstningsnivån (ET) på platsen har stort inflytande på hur snabbt, rekommenderad luftfylld porvolym uppnås i växtbädden. I studien har avdunstningen lika stor påverkan som täckdikningssystemet eller spår-/ slitsdräneringen att avvattna överskottsvattnet i växtbädden.

Enligt litteraturstudien krävs en luftfylld volym på minst 10 % på 15 cm djup för att gräsrötter skall kunna få den mängd syre de behöver. Med tanke på hur många dagar det tar för system att uppnå luftmängd på 10 % 15 cm ner i växtbädden, borde dimensionering av systemen utgå från att uppnå dessa värden. De rekommendationer som hittats i litteraturen har istället målet att det synliga vattnet på ytan, skall vara borta inom en viss tid eller att växtbädden ska kunna ta emot och dränera bort ett regn med en viss intensitet. Att en växtbädd uppfyller dessa krav innebär inte med säkerhet att de uppfyller gräsets behov av syre eller att återfå stabiliteten i

växtbädden tillräckligt snabbt. Att så föreligger styrks både av att det skiljer mellan systemen hur fort detta uppnås, men även att vissa system inte har någon påverkan på mängden markvatten, eller kan dränerar bort överskottsvatten som finns i växtbädden. Oftast kommer det att kräva att flera beräkningar och simuleringar görs, för att ett systems förmåga att avvattna en yta ofta skiftar, beroende på vilka regnintensiteter och tidpunkter som undersöks.

## REFERENSER

### Litteratur

Adam, W.A (1981). Soils and Plant Nutrition for Sport turf: Perspective and Prospects. *Proceedings of the International Turfgrass Research Conference*. 4, 167-179.

Adams, W.A., Gibbs, R.J. (1994). *Natural Turf for Sport and Amenity: Science and Practice*. Wallingford, UK: CAB International.

Adams, W.A. & Saxon, C. (1979). The occurrence and control of thatch in sports turf. *Rasen Turf Gazon*, September/October. 10(3), 75-83.

Ami, S. & Kelly, J. (2008). *Solving your drainage problems*. Seminars material Golf industry show 2008. GCSAA, US.

Baker, S.W. (1982). Regional variation of design rainfall rates for slit drainage schemes in Great Britain. *The Journal of the Sports Turf Research Institute*. 58, 57-63.

Baker, S.W. (2006). *Rootzones, Sands and Top Dressing Materials for Sports Turf*. The Sport Turf Research Institute, Bingley, West Yorkshire, England: Highland Printers Ltd.

Baker, S. W., Burki, G., Meijer, E. & Touber, A. (2006). Variation in sward composition on sand-dominated golf greens in the Netherlands and the influence on turf quality. *Journal of Turfgrass and Sport Surface Science* Vol. 82 (2006).

The Irrigation Association. (2003). *Bevattningsrevision för golfbanor*.

Beard, J. B. (1973). *Turfgrass Science and Culture*. Englewood Cliffs, New Jersey, USA: Prentice Hall.

Brady, N. & Weil, R. (2008). *The Nature and Properties of Soils 14:e*. Upper Saddle River, New Jersey, USA: Pearson Prentice Hall.

Dahlstrom D. (1979). *Regional fördelning av nederbördsintensitet – en klimatologisk analys*. BFR. Rapport R18:1979.

Eggelsmann, R. (1984). Subsurface drainage instructions. *German Assoc. for water resources and land improvement Bulletin 6*. Parey, Hamburg.

Eriksson, J., Magnus, I. & Simonsson, M. (2005). *Wiklanders marklära*. Lund: Studentlitteratur.

- Gibbs, R. (uå). Slit Drained Sports Fields (Part 1). *Golf & sport turf Australia* [online]. Tillgänglig: <http://www.golfandsportsturf.com.au/article.asp?ArticleID=327> [2010-04-09]
- Hallén, L. (1996). *Dränering av golfbanor*. Svenska Golfbundet.
- Hedlund, A. (2009). *Kungliga Drottningholm GK, Dränering fairway*. Uppdragsnummer 2110019000. Sweco Infrastructure AB Geolab, Stockholm. Opublicerad rapport.
- Hernebring, C. (2006). 10-årsregnets återkomst, för och nu. *VA- Forsk rapport*, Nr 2006-04. Svensk Vatten AB.
- Hillel, Daniel. (2004). *Introduction to Environmental Soil Physics*. London, UK: Elsevier Science & Technology,
- Hind, P. D., Baker, S. W., Lodge, T. A., Hunt, J. A. & Binns, D. J. (1995). A survey of golf greens in Great Britain. I. Soil properties. *Journal of Sports Turf Research Institute*, June. 71, 9-22.
- Hummel, N.W. (1993). Rationale for the revisions of the USGA green construction specifications. *USGA Green Section Record*, March – April. 21, 7–21.
- Jansson, P. (1980). Soil water and heat model. II. Field studies and applications. *Acta Univ. Upsaliensis* 568.
- Jonsson, E. (2009). *Utredning av dränering Drottningholms Golfklubb*. Rapport nr 09512520383. Golder Associates AB, Stockholm. Opublicerad rapport.
- Karlsson, I. (1988). Soil Construction, drainage and maintenance for swedish grassed parks and sports fields. *Acta Agriculturae Scandinavica*. Uppsala: Almgvist & Wiksell,
- Knutsson, G., Morfeldt C. (2008). *Grundvatten teori & tillämpning*. Stockholm: Svensk byggtjänst.
- Kritz, G. (2001). *Markfysik kompendium*. Alnarp: Institutionen för växtvetenskap. Sveriges lantbruksuniversitet.
- Kvalbein, A. (2009). USGA-greenen med kommentarer. *Gress forum*. Trond Nor-Hansen, Norge. Centrum Trykk,
- Larsson, R. (2008). *Jords egenskaper*. Linköping: Statens Geotekniska Institut.
- Larsson, T. (2002). *Dikningsföretag*. Alnarp: Jordbruksverkets vattenenhet.
- Lind, P., Kjellström, E. (2008) Temperatur and precipitation changes in Sweden, a wide range of model-based projections for the 21st century. Norrköping: SMHI.
- Mark A. Marek, P.E. (2009-03-01). [online]. Tillgänglig: [http://onlinemanuals.txdot.gov/txdotmanuals/hyd/manual\\_notice.htm](http://onlinemanuals.txdot.gov/txdotmanuals/hyd/manual_notice.htm) [2009-08-12]

McCarty, L.B. (2005). *Best golf course management practices 2:e*. Upper Saddle River, New Jersey, US: Pearson Prentice Hall.

McCoy, E. (uå). [online]. Tillgänglig: <http://www.oardc.ohio-state.edu/ss540/textbook.asp> [2009-08-12]

McIntyre, K., Jakobsen, B. (2000). *Practical drainage for golf, sportsturf and horticulture*. Hoboken, New Jersey, US: John Wiley & Sons, Inc.

O'Brien, P. och Hartwiger, C. (2003). Aeration and topdressing for the 21 st century. *USGA Green section record*, March/April. 41(2),1-7.

Petersen, M. (1975). *anlaeg af SPORTSPADSER*. A/S L. Daehnfeldt markfrö. Odense, Danmark: Fyens Stiftsbogtrykkeri,

Shildrick, J. P. (1985). Thatch: A review with special reference to UK golf courses. *Journal of Sports Turf Research Institute*, June. 61, 8-25.

Smedema, L., Rycroft, D. (1983). *Land drainage*. London, England: Batsford Academic and education LTD.

Thornton, D.J. (1978). A field trial of sportsfield construction materials extremely high in sand content. *Journal of Sports Turf Research Institute*. 49, 29 – 44.

Turgeon, A.J. (2008). *Turfgrass management 8:e*. Upper Saddle River, New Jersey, US: Pearson Prentice Hall.

Ritzema, H.P. (2006). *Drainage Principles and Applications*. Wageningen, Netherland: International Institute for Land Reclamation and Improvement (ILRI).

VAV. (1976). *Anvisningar för Beräkning av allmänna avloppsledningar*. VAV P28.

Vägverket. (2008). *VVMB 310 Hydraulisk dimensionering*. Publikation 2008:61. Borlänge: Vägverkets tryckeri.

Wiklert, P. Andersson, S. Wiedow B. (1983a) *Studie av markprofiler i svenska åkerjordar*, Rapport 132. Ultuna: Institutionen för markvetenskap, Sveriges lantbruksuniversitet.

Wiklert, P. Andersson, S. Wiedow B. (1983b) *Studie av markprofiler i svenska åkerjordar*, Rapport 133. Ultuna: Institutionen för markvetenskap, Sveriges lantbruksuniversitet.

## **Personligt meddelande**

Dahl, E. Course manager. Samtal 2010-03-12.

Sintorn, K. Bankonsulent Svenska golfförbundet. Samtal 2010-05-10

## **Figurer**

Nr 23 Tillåtelse har medgivits av Upnor infrastruktur. 2011-06-20

Nr 28 © Lantmäteriet Gävle 2010. Medgivande I 2010/0055. Figuren har kopierats från <http://www.eniro.se> 2011-01-08

## BILAGOR

Bilaga 1. Tabeller med rådata.

Bilaga 2. Tabeller på beräkning av förhållande vatten/luft på olika djup

Bilaga 3. Beräkningar på tidsåtgång för att sänka grundvattenytan till olika djup

### Bilaga 1.

Nedan följer tabeller med rådata på de jordar som har använts för olika renoveringsalternativ.

Tabell 1. Jordar som används för olika renoveringsalternativ och för vilka djup

Renoveringsalternativ	Djup (mm)	Analyserad jord som använts och för vilket djup (mm)	
Täckdikning	0-100	Thorsåtra nr. 3	0-100
	100-300	Högby N 64	100-300
	300-1000	Högby H 61:2	300-1000
Spår-/slitsdränering	0-100	Nontuna nr. 2	0-100
	100-300	Högby N 64	100-300
	300-1000	Högby H 61:2	300-1000
Sandkapping	0-200	Nontuna nr. 2	0-100
	200-400	Högby H 61:2	100-200
	400-1000	Högby H 61:2	400-1000

Tabell 2. Mekanisk analys och glödningsförlust för de jordar som använts i täckdikningen

Djup mm	Viktprocent i fraktionen, mm							S:a
	Ler ≤ 0,002	Finmj. 0,002-0,006	Grovmj. 0,006-0,02	Finmo 0,02-0,06	Grovmo 0,06-0,2	Sand 0,2-2,0	Glöd förl. %	
0-100	23	7	10	9	21	26	4	100
100-200	23	10	13	20	23	9	2	100
200-300	30	11	16	16	18	7	2	100
300-400	39	14	15	15	10	4	3	100
400-500	41	16	15	13	8	4	3	100
500-600	45	15	13	15	6	3	3	100
600-700	47	16	13	12	5	3	4	100
700-800	53	15	13	10	5	1	3	100
800-900	53	10	17	11	6	0	3	100
900-1000	52	16	14	8	6	0	4	100

Tabell 3. Vattenhalt vid olika undertryck, infiltrationskapacitet och torr skrymdensitet för de jordar som används i beräkningarna för täckdikningen

Djup mm	Viktiga fysikaliska data										
	Mtrl. vol. %	Por. vol. %	Vattenhalt i Vol. % vid ett undertryck på mvp.					K <sub>s</sub> mm/h	K <sub>s</sub> i beräkn. mm/h	Torr skrymdensitet	
			0,05	0,10	0,50	1,00	2,00	3,00			
0-100	61,1	38,9	35,9		31,6	30,8	28,6	26,3	14	10	1,62
100-200	60,8	39,2		35,7	33,8	31,6	30,0		67	10	1,60
200-300	59,5	40,5		35,2	32,2	30,3	29,0		40	10	1,58
300-400	57,1	42,9	38,7		36,1	35,1		32,7	19	10	1,52
400-500	56,6	43,4	39,5		36,4	35,6		33,2	110	10	1,50
500-600	55,8	44,2	40,5		37,8	37,3		34,8	28	10	1,49
600-700	56,6	43,4	39,9		38,0	37,5		35,0	7,9	10	1,51
700-800	53,8	46,2	43,6		42,1	41,7		38,8	65	0	1,42
800-900	54,0	46,0	45,3		43,5	43,0		40,8	49	0	1,43
900-1000	50,0	50,0		48,3	46,8	46,1		44,1	22	0	1,33



Tabell 4. Mekanisk analys och glödningsförlust för de jordar som använts i beräkandet av spår-/slitsdräneringen

Viktprocent i fraktionen, mm								
Djup mm	Ler ≤ 0,002	Finmj. 0,002- 0,006	Grov mj. 0,006- 0,02	Finmo 0,02-0,06	Grovmo 0,06-0,2	Sand 0,2-2,0	Glöd förl. %	S:a
0-100	7	2	3	0	11	75	2	100
100-200	23	10	13	20	23	9	2	100
200-300	30	11	16	16	18	7	2	100
300-400	39	14	15	15	10	4	3	100
400-500	41	16	15	13	8	4	3	100
500-600	45	15	13	15	6	3	3	100
600-700	47	16	13	12	5	3	4	100
700-800	53	15	13	10	5	1	3	100
800-900	53	10	17	11	6	0	3	100
900-1000	52	16	14	8	6	0	4	100

Tabell 5. Vattenhalt vid olika undertryck, infiltrationskapacitet och torr skrymdensitet för de jordar som används i beräkningarna för spår-/slitsdräneringen

Viktiga fysikaliska data															
Djup mm	Mtrl. vol. %	Por- vol. %	Vattenhalt i Vol. % vid ett undertryck på m vp.								K <sub>s</sub> mm/ h	K <sub>s</sub> i beräk. mm/h	Torr skrym- densitet		
			0,05	0,10	0,20	0,50	1,00	1,50	2,00	3,00				10	
0-100	56,0	44,7	40,7		38,7	23,3				16,8		8,2	290	100	1,47
100-200	60,8	39,2		35,7		33,8	31,6			30,0			67	10	1,60
200-300	59,5	40,5		35,2		32,2	30,3			29,0			40	10	1,58
300-400	57,1	42,9	38,7			36,1	35,1				32,7		19	10	1,52
400-500	56,6	43,4	39,5			36,4	35,6				33,2		110	10	1,50
500-600	55,8	44,2	40,5			37,8	37,3				34,8		28	10	1,49
600-700	56,6	43,4	39,9			38,0	37,5				35,0		7,9	10	1,51
700-800	53,8	46,2	43,6			42,1	41,7				38,8		65	0	1,42
800-900	54,0	46,0	45,3			43,5	43,0				40,8		49	0	1,43
900-1000	50,0	50,0		48,3		46,8	46,1				44,1		22	0	1,33

Tabell 6. Mekanisk analys och glödningsförlust för de jordar som använts i beräkandet av sandkapping

Viktprocent i fraktionen, mm								
Djup mm	Ler ≤ 0,002	Finmj. 0,002- 0,006	Grov mj. 0,006- 0,02	Finmo 0,02-0,06	Grovmo 0,06-0,2	Sand 0,2-2,0	Glöd förl. %	S:a
0-100	7	2	3	0	11	75	2	100
100-200	7	2	3	0	11	75	2	100
200-300	30	11	16	16	18	7	2	100
300-400	30	11	16	16	18	7	2	100
400-500	41	16	15	13	8	4	3	100
500-600	45	15	13	15	6	3	3	100
600-700	47	16	13	12	5	3	4	100
700-800	53	15	13	10	5	1	3	100
800-900	53	10	17	11	6	0	3	100
900-1000	52	16	14	8	6	0	4	100

Tabell 7. Vattenhalt vid olika undertryck, infiltrationskapacitet och torr skrymdensitet för de jordar som används i beräkningarna för sandkapping

Viktiga fysikaliska data													
Djup mm	Mtrl. vol. %	Por- vol. %	Vattenhalt i Vol. % vid ett undertryck på m vp.							K <sub>s</sub> mm/ h	K <sub>s</sub> i beräkn. mm/h	Torr skrym- densitet	
			0,05	0,20	0,50	1,00	1,50	3,00	10,00				
0-100	56,0	44,7	40,7	38,7	23,3			16,8		8,2	290	100	1,47
0-200	56,0	44,7	40,7	38,7	23,3			16,8		8,2	290	100	1,47
200-300	61,0	39,0	38,1		36,6	36,0			33,9		2	10	1,58
300-400	61,0	39,0	38,1		36,6	36,0			33,9		2	10	1,58
400-500	56,6	43,4	39,5		36,4	35,6			33,2		110	10	1,50
500-600	55,8	44,2	40,5		37,8	37,3			34,8		28	10	1,49
600-700	56,6	43,4	39,9		38,0	37,5			35,0		7,9	10	1,51
700-800	53,8	46,2	43,6		42,1	41,7			38,8		65	0	1,42
800-900	54,0	46,0	45,3		43,5	43,0			40,8		49	0	1,43
900-1000	50,0	50,0		48,3	46,8	46,1			44,1		22	0	1,33

Tabell 8. Mekanisk analys och glödningsförlust för jorden på KDRGK

Viktprocent i fraktionen, mm								
Djup mm	Ler ≤ 0,002	Finmj. 0,002- 0,006	Grov mj. 0,006- 0,02	Finmo 0,02-0,06	Grovmo 0,06-0,2	Sand 0,2-2,0	Glöd förl. %	S:a
**0-100	22	7	8	4	7	21/31	4,8	100
**100-400	42	14	11	13	9	7/4	3,4	100

## Bilaga 2.

Tabell 9. Täckdikningens påverkan på hur mycket av porvolymen som är luftfylld respektive vattenfylld vid olika djup i växtbädden och för dräneringsdjup (Dr) 2,0, 1,0, 0,7, och 0,6 m

Por- volym	Djup	Dr 2.0 m	Luft %	Djup	Dr 1.0 m	Luft %	Djup	Dr 0.7 m	Luft %	Djup	Dr 0.6 m	Luft %
50	100	46	4	100	50	0					50	
50	95	46	4	95	49	1						
46	85	43	3	85	45	1						
46.2	75	41	5.2	75	43	3.2	70	46.2	0			
43.4	65	37	6.4	65	38	5.4	65	41	2.4	60	43.4	0
44.2	55	37	7.2	55	38	6.2	55	40	4.2	55	42	2.2
43.4	45	35	8.4	45	36	7.4	45	38	5.4	45	39	4.4
42.9	35	34	8.9	35	36	6.9	35	37	5.9	35	37	5.9
40.5	25	29	11.5	25	31	9.5	25	33	7.5	25	33	7.5
39.2	15	30	9.2	15	32	7.2	15	34	5.2	15	34	5.2
38.9	5	29	9.9	5	31	7.9	5	31.5	7.4	5	31.5	7.4
		<b>mm</b>	<b>77.7</b>		<b>mm</b>	<b>55.7</b>		<b>mm</b>	<b>38</b>		<b>mm</b>	<b>32.6</b>

Tabell 10. Täckdikningens påverkan på hur mycket av porvolymen som är luftfylld kontra vattenfylld vid olika djup i växtbädden och för dräneringsdjup (Dr) 0,4, 0,3, 0,2 och 0,1 m

Por- volym	Djup	Dr 0.4 m	Luft %	Djup	Dr 0.3 m	Luft %	Djup	Dr 0.2 m	Luft %	Djup	Dr 0.1 m	Luft %
43.4	45	43.3	0									
42.9	35	39	3.9	30	41.5	0						
40.5	25	34	6.5	25	37	3.5	20	39	1.5			
39.2	15	34	5.2	15	35	4.2	15	35.5	3.7	10	39	0
38.9	5	32	6.9	5	33	5.9	5	35	3.9	5	36	2.9
		<b>mm</b>	<b>22.5</b>		<b>mm</b>	<b>13.6</b>		<b>mm</b>	<b>9.1</b>		<b>mm</b>	<b>2.9</b>

Tabell 11. Spår-/slitsdräneringens påverkan på hur mycket av porvolymen som är luftfylld respektive vattenfylld vid olika djup i växtbädden och för dräneringsdjup 2,0, 1,0, 0,7, och 0,6 m

Por-volym	Djup	Dr 2.0	Luft %	Djup	Dr 1.0	Luft %	Djup	Dr 0.7	Luft %	Djup	Dr 0.6	Luft %
		m			m			m			m	
50	100	46	4	100	50	0						
50	95	46	4	95	49	1						
46	85	43	3	85	45	1						
46.2	75	41	5.2	75	43	3.2	70	44.5	0			
43.4	65	37	6.4	65	38	5.4	65	41	2.4	60	43.4	0
44.2	55	37	7.2	55	38	6.2	55	40	4.2	55	42	2.2
43.4	45	35	8.4	45	36	7.4	45	38	5.4	45	39	4.4
42.9	35	34	8.9	35	36	6.9	35	37	5.9	35	37	5.9
40.5	25	29	11.5	25	31	9.5	25	33	7.5	25	33	7.5
39.2	15	30	9.2	15	32	7.2	15	34	5.2	15	34	5.2
44.7	5	15	29.7	5	19	25.7	5	21	23.7	5	23	21.7
		<b>mm</b>	<b>97.5</b>		<b>mm</b>	<b>73.5</b>		<b>mm</b>	<b>54.3</b>		<b>mm</b>	<b>46.9</b>

Tabell 12. Spår-/slitsdräneringens påverkan på hur mycket av porvolymen som är luftfylld respektive vattenfylld vid olika djup i växtbädden och för dräneringsdjup 0,4, 0,3, 0,2 och 0,1 m

Por-volym	Djup	Dr 0.4	Luft %	Djup	Dr 0.3	Luft %	Djup	Dr 0.2	Luft %	Djup	Dr 0.1	Luft %
		m			m			m			m	
43.4	45	43.3	0									
42.9	35	39	3.9	30	41.5	0						
40.5	25	34	6.5	25	37	3.5	20	39	1.5			
39.2	15	34	5.2	15	35	4.2	15	37	2.2	10	42.3	0
44.7	5	26	18.7	5	36	8.7	5	40	4.7	5	41	3.7
		<b>mm</b>	<b>34.3</b>		<b>mm</b>	<b>16.4</b>		<b>mm</b>	<b>8.4</b>		<b>mm</b>	<b>3.7</b>

Tabell 13. Sandkappingens påverkan på hur mycket av porvolymen som är luftfylld respektive vattenfylld vid olika djup i växtbädden och för dräneringsdjup 2,0, 1,0, 0,7, och 0,6 m

Porvolym	Djup	Dr 2.0	Luft %	Djup	Dr 1.0	Luft %	Djup	Dr 0.7	Luft %	Djup	Dr 0.6	Luft %
		m			m			m			m	
50	100	46	4	100	50	0						
50	95	46	4	95	49	1						
46	85	43	3	85	45	1						
46.2	75	41	5.2	75	43	3.2	70	44.2	0			
43.4	65	37	6.4	65	38	5.4	65	41	2.4	60	43.4	0
44.2	55	37	7.2	55	38	6.2	55	40	4.2	55	42	2.2
43.4	45	35	8.4	45	36	7.4	45	38	5.4	45	39	4.4
39	35	35	4	35	36	3	35	37	2	35	37	2
39	25	35	4	25	36	3	25	37	2	25	37	2
44.7	15	16	28.7	15	20	24.7	15	23	21.7	15	25	19.7
44.7	5	15	29.7	5	19	25.7	5	21	23.7	5	23	21.7
		<b>mm</b>	<b>104.6</b>		<b>mm</b>	<b>80.6</b>		<b>mm</b>	<b>61.4</b>		<b>mm</b>	<b>52</b>

Tabell 14. Sandkappingens påverkan på hur mycket av porvolymen som är luftfylld respektive vattenfylld vid olika djup i växtbädden och för dräneringsdjup 0,4, 0,3, 0,2 och 0,1 m

Djup	Dr 0.4	Luft %	Djup	Dr 0.3	Luft %	Djup	Dr 0.2	Luft %	Djup	Dr 0.1	Luft %	Djup
	m			m			m			m		
45	43.3	0										45
35	38	1	30	38.5	0							35
25	37	2	25	38	1	20	40.5	0				25
15	31	13.7	15	40	4.7	15	41	3.7	10	45	0	15
5	26	18.7	5	36	8.7	5	40	4.7	5	41	3.7	5
	<b>mm</b>	<b>35.4</b>		<b>mm</b>	<b>14.4</b>		<b>mm</b>	<b>8.4</b>		<b>mm</b>	<b>3.7</b>	

### Bilaga 3.

I tabell 15 följer en sammanställning av framräknade värden för de olika avvattningslösningarna.

Tabell 15. Sammanställning av tidsåtgången för att sänka grundvattenytan till  $x$  djup (mm)

Dränerings- djup (Dr) (mm)	Avvattnings- lösning 1.		Avvattnings- lösning 2.		Avvattnings- lösning 3.	
	dygn	h	dygn	h	dygn	h
50	0,05	1,2	0,05	1,2	0,02	0,5
100	0,22	5,4	0,29	6,9	0,1	2,4
200	0,87	21	0,81	19,4	1,16	28
300	1,7	42	2,1	50,6	2,7	64
450	5,8	139	8,8	211	13,2	316
600	122	2950	147,5	3540	285	6844

#### Täckdikning

Den dränerbara porvolymen är i genomsnitt är 1,4 % för Dr på 50 mm ( $2,9 \text{ mm} / 2 / 50 \text{ mm} = 0,0145$ )

$$L^2 = \frac{4,5 t K h_o h_t}{V(h_o - h_t)}; \quad 25 = \frac{4,5 \times t \times 0,24 \times 0,6 \times 0,55}{0,014(0,6 - 0,55)}; \quad 25 = \frac{0,3564 \times t}{0,0007}; t$$

$$= \frac{25 \times 0,0007}{0,3564} \approx 0,05 \text{ dygn} \approx 1,2 \text{ h} \quad (65)$$

Den dränerbara porvolymen är i genomsnitt är 2,9 % för Dr på 100 mm ( $2,9 \text{ mm} / 100 \text{ mm} = 0,029$ )

$$L^2 = \frac{4,5 t K h_o h_t}{V(h_o - h_t)}; \quad 25 = \frac{4,5 \times t \times 0,24 \times 0,6 \times 0,5}{0,029(0,6 - 0,5)}; \quad 25 = \frac{0,324 \times t}{0,0029}; t = \frac{25 \times 0,0029}{0,324}$$

$$\approx 0,22 \text{ dygn} \approx 5,4 \text{ h} \quad (65)$$

Den dränerbara porvolymen är i genomsnitt är 4,5 % för Dr på 200 mm ( $9,1 \text{ mm} / 200 \text{ mm} = 0,045$ )

$$L^2 = \frac{4,5 t K h_o h_t}{V(h_o - h_t)}; \quad 25 = \frac{4,5 \times t \times 0,24 \times 0,6 \times 0,4}{0,045(0,6 - 0,4)}; \quad 25 = \frac{0,2592 \times t}{0,009}; t = \frac{25 \times 0,009}{0,2592}$$

$$\approx 0,87 \text{ dygn} \approx 21 \text{ h} \quad (65)$$

Den dränerbara porvolymen är i genomsnitt är 4,5 % för Dr på 300 mm ( $13,6 \text{ mm} / 300 \text{ mm} = 0,045$ )

$$L^2 = \frac{4,5 t K h_o h_t}{V(h_o - h_t)}; \quad 25 = \frac{4,5 \times t \times 0,24 \times 0,6 \times 0,3}{0,045(0,6 - 0,3)}; \quad 25 = \frac{0,1944 \times t}{0,00135}; t$$

$$= \frac{25 \times 0,00135}{0,1944} \approx 1,7 \text{ dygn} \approx 42 \text{ h} \quad (65)$$

Den dränerbara porvolymen är i genomsnitt är 5 % för Dr på 450 mm (22,5 mm / 450 mm = 0,05)

$$L^2 = \frac{4,5 t K h_o h_t}{V(h_o - h_t)}; 25 = \frac{4,5 \times t \times 0,24 \times 0,6 \times 0,15}{0,05(0,6 - 0,15)}; 25 = \frac{0,0972 \times t}{0,0225}; t$$

$$= \frac{25 \times 0,0225}{0,0972} \approx 5,8 \text{ dygn} \approx 139 \text{ h} \quad (65)$$

Den dränerbara porvolymen är i genomsnitt är 5,4 % för Dr på 600 mm (32,6 mm / 600 mm = 0,054)

$$L^2 = \frac{4,5 t K h_o h_t}{V(h_o - h_t)}; 25 = \frac{4,5 \times t \times 0,24 \times 0,6 \times 0,01}{0,054(0,6 - 0,01)}; 25 = \frac{0,00648 \times t}{0,03186}; t$$

$$= \frac{25 \times 0,03186}{0,00648} \approx 122 \text{ dygn} \approx 2950 \text{ h} \quad (65)$$

### **Spår-/slitsdränering**

Den dränerbara porvolymen är i genomsnitt är 1,85 % för Dr på 50 mm (3,7 mm / 2 / 50 mm = 0,015)

$$L^2 = \frac{4,5 t K h_o h_t}{V(h_o - h_t)}; 25 = \frac{4,5 \times t \times 0,31 \times 0,6 \times 0,55}{0,015(0,6 - 0,55)}; 25 = \frac{0,46035 \times t}{0,000925}; t$$

$$= \frac{25 \times 0,000925}{0,46035} \approx 0,05 \text{ dygn} \approx 1,2 \text{ h} \quad (65)$$

Den dränerbara porvolymen är i genomsnitt är 3,7 % för Dr på 100 mm (3,7 mm / 100 mm = 0,037)

$$L^2 = \frac{4,5 t K h_o h_t}{V(h_o - h_t)}; 25 = \frac{4,5 \times t \times 0,24 \times 0,6 \times 0,5}{0,037(0,6 - 0,5)}; 25 = \frac{0,324 \times t}{0,0037}; t = \frac{25 \times 0,0037}{0,324}$$

$$\approx 0,29 \text{ dygn} \approx 6,9 \text{ h} \quad (65)$$

Den dränerbara porvolymen är i genomsnitt är 8,4 % för Dr på 200 mm (8,4 mm / 200 mm = 0,042)

$$L^2 = \frac{4,5 t K h_o h_t}{V(h_o - h_t)}; 25 = \frac{4,5 \times t \times 0,24 \times 0,6 \times 0,4}{0,042(0,6 - 0,4)}; 25 = \frac{0,2592 \times t}{0,0084}; t$$

$$= \frac{25 \times 0,0084}{0,2592} \approx 0,81 \text{ dygn} \approx 19,4 \text{ h} \quad (65)$$

Den dränerbara porvolymen är i genomsnitt är 16,4 % för Dr på 300 mm (16,4 mm / 300 mm = 0,0546)

$$L^2 = \frac{4,5 t K h_o h_t}{V(h_o - h_t)}; 25 = \frac{4,5 \times t \times 0,24 \times 0,6 \times 0,3}{0,0546(0,6 - 0,3)}; 25 = \frac{0,1944 \times t}{0,0164}; t$$

$$= \frac{25 \times 0,0164}{0,1944} \approx 2,1 \text{ dygn} \approx 50,6 \text{ h} \quad (65)$$

Den dränerbara porvolymen är i genomsnitt är 5,7 % för Dr på 450 mm (34,3 mm / 450 mm = 0,057)

$$L^2 = \frac{4,5 t K h_o h_t}{V(h_o - h_t)}; 25 = \frac{4,5 \times t \times 0,24 \times 0,6 \times 0,15}{0,076(0,6 - 0,15)}; 25 = \frac{0,0972 \times t}{0,0342}; t$$

$$= \frac{25 \times 0,0342}{0,0972} \approx 8,8 \text{ dygn} \approx 211 \text{ h} \quad (65)$$

Den dränerbara porvolymen är i genomsnitt är 6,2 % för Dr på 600 mm (46,9 mm / 600 mm = 0,078)

$$L^2 = \frac{4,5 t K h_o h_t}{V(h_o - h_t)}; 25 = \frac{4,5 \times t \times 0,24 \times 0,6 \times 0,01}{0,078(0,6 - 0,01)}; 25 = \frac{0,00648 \times t}{0,046}; t$$

$$= \frac{25 \times 0,046}{0,0078} \approx 147,5 \text{ dygn} \approx 3540 \text{ h} \quad (65)$$

### **Sandkapping**

Den dränerbara porvolymen är i genomsnitt är 1,8 % för Dr på 50 mm (3,7 mm / 2 / 50 mm = 0,018)

$$L^2 = \frac{4,5 t K h_o h_t}{V(h_o - h_t)}; 36 = \frac{4,5 \times t \times 0,96 \times 0,6 \times 0,55}{0,018(0,6 - 0,55)}; 36 = \frac{1,4256 \times t}{0,0009}; t$$

$$= \frac{36 \times 0,0009}{1,4256} \approx 0,02 \text{ dygn} \approx 0,5 \text{ h} \quad (65)$$

Den dränerbara porvolymen är i genomsnitt är 3,7 % för Dr på 100 mm (3,7 mm / 100 mm = 0,037)

$$L^2 = \frac{4,5 t K h_o h_t}{V(h_o - h_t)}; 36 = \frac{4,5 \times t \times 0,96 \times 0,6 \times 0,5}{0,037(0,6 - 0,5)}; 36 = \frac{1,296 \times t}{0,0037}; t = \frac{36 \times 0,0037}{1,296}$$

$$\approx 0,1 \text{ dygn} \approx 2,4 \text{ h} \quad (65)$$

Den dränerbara porvolymen är i genomsnitt är 4,2 % för Dr på 200 mm (8,4 mm / 200 mm = 0,042)

$$L^2 = \frac{4,5 t K h_o h_t}{V(h_o - h_t)}; 36 = \frac{4,5 \times t \times 0,24 \times 0,6 \times 0,4}{0,042(0,6 - 0,4)}; 36 = \frac{0,2592 \times t}{0,0084}; t$$

$$= \frac{36 \times 0,0084}{0,2592} \approx 1,16 \text{ dygn} \approx 28 \text{ h} \quad (65)$$

Den dränerbara porvolymen är i genomsnitt är 4,8 % för Dr på 300 mm (14,4 mm / 300 mm = 0,048)

$$L^2 = \frac{4,5 t K h_o h_t}{V(h_o - h_t)}; 36 = \frac{4,5 \times t \times 0,24 \times 0,6 \times 0,3}{0,048(0,6 - 0,3)}; 36 = \frac{0,1944 \times t}{0,0144}; t$$

$$= \frac{36 \times 0,0144}{0,1944} \approx 2,7 \text{ dygn} \approx 64 \text{ h} \quad (65)$$

Den dränerbara porvolymen är i genomsnitt är 7,9 % för Dr på 450 mm (35,4 mm / 450 mm = 0,079)

$$L^2 = \frac{4,5 t K h_o h_t}{V(h_o - h_t)}; 36 = \frac{4,5 \times t \times 0,24 \times 0,6 \times 0,15}{0,079(0,6 - 0,15)}; 36 = \frac{0,0972 \times t}{0,03555}; t$$

$$= \frac{36 \times 0,03555}{0,0972} \approx 13,2 \text{ dygn} \approx 316 \text{ h} \quad (65)$$

Den dränerbara porvolymen är i genomsnitt är 8,7 % för Dr på 600 mm (52 mm / 600 mm = 0,087)

$$L^2 = \frac{4,5 t K h_o h_t}{V(h_o - h_t)}; 36 = \frac{4,5 \times t \times 0,24 \times 0,6 \times 0,01}{0,087(0,6 - 0,01)}; 36 = \frac{0,00648 \times t}{0,05133}; t$$

$$= \frac{36 \times 0,05133}{0,00648} \approx 285 \text{ dygn} \approx 6844 \text{ h} \quad (65)$$