



CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

GEOHYDROLOGISKA FORSKNINGSGRUPPEN

Geologi

Geoteknik med grundläggning

Vattenbyggnad

Vattenförsörjnings - och avloppsteknik

ISSN 0347 - 8165

DAGVATTENINFILTRATION PÅ GRÖNYTOR – litteraturstudie, kunskapssammanställning och hypotes

Stig Hård
Sven Jonasson
Thomas Holm



CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

GEOHYDROLOGISKA FORSKNINGSGRUPPEN

Geologi

Geoteknik med grundläggning

Vattenbyggnad

Vattenförsörjnings - och avloppsteknik

ISSN 0347-8165

DAGVATTENINFILTRATION PÅ GRÖNYTOR – litteraturstudie, kunskapssammanställning och hypotes

Adress:

Geohydrologiska forskningsgruppen

Chalmers Tekniska Högskola

412 96 Göteborg

**Stig Hård
Sven Jonasson
Thomas Holm**

INNEHÅLL	SID
FÖRORD	7
SAMMANFATTNING	9
1. ALLMÄNNA FÖRUTSÄTTNINGAR FÖR DAGVATTEN-INFILTRATION	17
1.1 Planering	17
1.2 Aktuell lagstiftning	18
1.3 Byggtekniska förutsättningar	19
1.4 Miljöpåverkan	19
1.5 Sociala förutsättningar	21
2. INFILTRATIONSSYSTEM	23
2.1 Principer för lokalt omhändertagande av dagvatten	23
2.2 Principerna kombineras	25
3. INFILTRATIONSYTOR	29
3.1 Definition av infiltrationsyta	29
3.2 Markbyggnad	29
3.2.1 Krav på grönytor vid dagvatteninfiltration	31
3.2.2 Mark AMA 72	33
3.2.3 Markbyggnad i praktiken	40
3.2.4 Jämförelse mellan markuppbyggnad enligt Mark AMA 72 och idealisk markbyggnad	40
3.3 Infiltrationskapacitet	41
3.3.1 Möjligheter till att generalisera infiltrationskapaciteten över större ytor	41
3.3.2 Uppmätt infiltrationskapacitet inom "rurala" områden och förutsättningar för ytinfiltration	42
3.3.3 Uppmätt infiltrationskapacitet inom urbana områden och förutsättningar för ytinfiltration	43
4. PÅVERKAN PÅ INFILTRATIONSYTOR	45
4.1 Markpåverkan	45
4.1.1 Erosion	45
4.1.1.1 Definition och påverkande faktorer	45
4.1.1.2 Erosionsprocesser	46
4.1.1.3 Allmänna erosionsekvationen och betydelsen av olika delparametrar	52
4.1.1.4 Metoder att kontrollera erosion på grönytor	59
4.1.2 Packning - komprimering av jord	64
4.1.2.1 Porvolym	66
4.1.2.2 Porvolym och komprimering	67
4.1.2.3 Porvolym och hydraulisk konduktivitet	67
4.1.2.4 Vattenhaltens inverkan på packning av jordmaterial	69

4.1.2.5	Olika packningsmetoder	72
4.1.2.6	Jordpackning och vegetation	73
4.1.2.7	Påverkan av tung trafik på lerjordar	74
4.1.2.8	Åtgärder för att motverka skadlig packning och komprimering vid markbyggnad	78
4.1.3	Tjälning	81
4.1.3.1	Fysikaliska förändringar vid tjälning	81
4.1.3.2	Olika typer av tjäle	81
4.1.3.3	Vattentransport	83
4.1.3.4	Ofruset vatten i tjälad mark	84
4.1.3.5	Hydraulisk konduktivitet i frusen mark	86
4.1.3.6	Köldmängd och tjäldjup	90
4.1.3.7	Tjälens avsmältning	95
4.1.3.8	Tjälningen och dess betydelse för dagvatteninfiltration på grönytor	98
4.2	Vegetationspåverkan	100
4.2.1	Definition av grönytor	100
4.2.2	Klimat-härdighet	101
4.2.3	Vinterskador på grönytor	101
4.2.4	Vegetationsskador genom mänsklig aktivitet	104
5.	PROCESSER	107
5.1	Allmän vattenbalansmodell	107
5.2	Beskrivning av delprocesser	108
5.2.1	Nederbörd	108
5.2.2	Interception	111
5.2.3	Evaporation	112
5.2.4	Transpiration	114
5.2.5	Evapotranspiration	115
5.2.6	Infiltration	120
5.2.7	Ytvatten, magasinering, av- och tillrinning	121
5.2.8	Markvattenmagasin	121
5.2.9	Perkolation	122
5.2.10	Hydraulisk konduktivitet	123
5.2.11	Kapillär uppsugning	123
6.	DIMENSIONERING AV DAGVATTENSYSTEM	125
6.1	Samband mellan dagvatteninfiltration på grönytor och konventionell dagvattenhantering	125
6.2	Dimensionerande regntillfälle	126
6.3	Dimensionering av enheter i dagvattensystemet	127
6.3.1	Ledningar	127
6.3.2	Utvämningsmagasin	128
6.3.3	Perkolationsmagasin	128
7.	BERÄKNINGSMODELLER	129
7.1	Befintliga beräkningsmodeller	129
7.2	Infiltrationsmodeller	129
7.2.1	Markfysikalisk infiltrationsmodell	129
7.2.2	Hydraulisk infiltrationsmodell	130
7.3	Markvattenmodeller	133
7.4	Avrinnings/dagvattenmodeller	135
7.4.1	Olika typer av dagvattenmodeller	135

7.5	Beskrivning av några avrinnings/dagvattenmodeller	137
7.5.1	CTH-modellen	137
7.5.1.1	Allmänt	137
7.5.1.2	Modellstruktur	138
7.5.1.3	Delprocessen	140
7.5.1.4	Indata	143
7.5.2	ILLUDAS	144
7.5.3	NIVA-modellen	148
7.5.4	QQS	148
7.5.5	SWMM	149
7.5.6	STORM	150
7.5.7	Maryland Highway Drainage Study	152
7.5.8	U.S. Geological Survey's modell (USGS-modellen)	153
7.5.9	Jämförelse mellan olika avrinnings/dagvattenmodeller	156
8.	HYPOTES FÖR DAGVATTENINFILTRATION PÅ GRÖNYTOR	159
8.1	Inledning och ansats	159
8.2	System för dagvatteninfiltration på grönytor	160
8.3	Vattnets förekomst i omättad zon	162
8.3.1	Markzoner	162
8.3.2	Vattnets bindning i jorden	162
8.3.3	Porvolym	164
8.4	Infiltrationskapacitet	165
8.5	Markvattenmagasin, porvolym och infiltration	167
8.6	Markvattenmagasinerings och infiltrationens beroende av årstid och marktyp	172
8.7	Modell för markvattenmagasinets beteende	174
8.8	Dimensionering av grönytor för dagvatteninfiltration	178
8.8.1	Inledning	178
8.8.2	Översiktlig beräkning av dagvatteninfiltration på grönytor (regn-envelopmetod)	180
9.	VAL AV BERÄKNINGSMODELL	187
9.1	Kriterier för val av beräkningsmodell	187
9.2	Bedömning av beräkningsmodeller	188
9.3	Val av modell	188
9.4	Beskrivning av vald modell	188
9.5	Behov av förändringar i beräkningsmodellen	189
10.	TEKNISKA LÖSNINGAR	191
10.1	Allmänt	191
10.2	Avvattning av takytor	192
10.3	Avvattning av vägar, P-platser, gångstigar m m	194
10.4	Dagvattenledningar	195
10.5	Avbördning och utströmning	198

	SID
10.6	Grönytor 200
10.7	Exemplifiering av områden där dagvatten- infiltration på grönytor har tillämpats 203
10.7.1	Nacka kommun, Östra Orminge 203
10.7.2	Huddinge kommun, Östra Skogås 204
10.7.3	Huddinge kommun, Snättringe 206
10.7.4	Tullinge gård, Flottbrovägen 206
10.7.5	Ronneby Flygplats 206
10.7.6	Åhus, Lyktan 206
10.7.7	Gävle, Andersberg 207
10.7.8	Sollentuna, Rotebro 207
10.7.9	Sollentuna, Tegelhagen 207
10.7.10	Eskilstuna, Glömsta 207
11.	KOSTNADSJÄMFÖRELSE 209
12.	REFERENSER 215
13.	BILAGOR 228
13.1	Vald modell 228
13.2	Växter på grönytor för lokal omhänder- tagande av dagvatten 245

FÖRORD

Föreliggande meddelande är en delrapport inom forskningsprojektet "Dagvatteninfiltration på grönytor". Projektet ingår i Geohydrologiska forskningsgruppens verksamhet vid Chalmers tekniska högskola.

Under projektets inledningsskede omstrukturerades forskningssuppgiften till viss del, i samråd med referensgruppen för Geohydrologiska forskningsgruppens ramprojekt. Referensgruppens medlemmar är Leif Andréasson, SGI, Erik Isgård, VBB och Lars Thorell, SNV.

Arbetet har under tidsperioden 780901-790630 huvudsakligen genomförts som en litteraturstudie med inriktning mot kunskapsinventering och problemformulering, inom det övergripande ämnesområdet dagvatteninfiltration. Målsättningen har främst varit att sammanställa nuvarande kunskapsnivå inom utvalda delområden och att arbeta fram ett praktiskt synsätt samt en matematisk modell för dagvatteninfiltration på grönytor.

Arbetet har genomförts av en projektgrupp vid Geologiska institutionen med följande sammansättning: Lars Ericsson, Thomas Holm, Stig Hård, Sven Jonasson och Per Wedel. Rapporten har huvudsakligen författats av Thomas Holm, Stig Hård och Sven Jonasson. Projektledare har varit Stig Hård.

Inom forskningsprojektet har även ett samarbete bedrivits med Botaniska institutionen vid Göteborgs universitet. En litteraturstudie har genomförts för att belysa vegetationens vattenomsättning och möjligheter att utnyttjas på infiltrationsytor. Litteraturstudien, "Växter på grönytor för lokalt omhändertagande av dagvatten" har författats av Lars-Åke Andersson och Magnus Svenningsson med Stig Falk som projektledare. Resultat från den botaniska litteraturstudien har delvis inbakats i huvudtexten men redovisas också i bilaga 2.

Anslag har erhållits från Statens råd för byggnadsforskning (projektnummer BFR 780257-8).

Göteborg juli 1979

Stig Hård

SAMMANFATTNING

Infiltration av dagvatten blir allt mer aktuellt. Möjligheterna att utnyttja dagvatteninfiltration varierar ofta beroende på i vilket planskede hänsyn tas till denna hantering. Gällande lagstiftning, miljöaspekter, byggtekniska förutsättningar samt sociala krav kan begränsa utnyttjandet av lokalt omhändertagande av dagvatten (LOD). För närvarande pågår en revidering av gällande lagstiftning, som ofta är svårtolkad, vad gäller LOD.

Dagvatten infiltreras både direkt på markytan och i magasin. De vanligaste lösningarna är att låta vattnet infiltrera på grönytor, i diken, dammar, fyllningar och magasin. Olika lösningar kombineras ofta, ibland tillsammans med konventionella dagvattensystem eller med klenare dimensionerade dagvattensystem.

Markarbetenas betydelse i den totala byggprocessen är av stor omfattning. Under 60- och 70-talen har anlagda grönområden präglats av ett tekniskt synsätt, vilket inneburit att förhållanden som är viktiga för att erhålla en god växtlighet och god markstruktur ofta har kommit på undantag. En förändring av nu gällande normer dvs BYA och Mark-AMA har därför ansetts vara angelägen.

Inom områden, där dagvatteninfiltration på grönytor planeras, bör målet vara att erhålla en så slitstark och genomsläpplig yta som möjligt. Detta kan göras genom att optimera förhållandena för vegetationen i den övre markzonen. I denna publikation görs en jämförelse mellan markbyggnad enligt Mark-AMA och idealisk markuppbyggnad.

Genomförda infiltrationsmätningar visar, att goda förutsättningar finns för att infiltrera dagvatten

både inom urbana och rurala områden. Lerområden visar under vegetationsperioden hög infiltrationskapacitet i torrskorpezonen, i genomsnitt ca 25-80 mm/tim.

Under den våta perioden är infiltrationskapaciteten avsevärt lägre. Sorterade sand- och mojordar samt grövre moränjordar har ofta hög infiltrationskapacitet och mindre utpräglad årstidsvariation. Det största problemet vid dimensionering av grönytor för dagvatteninfiltration torde vara att på ett tillfredsställande sätt generalisera infiltrationskapaciteten över större ytor. Genom bättre planering och styrning av markarbeten förväntas goda förutsättningar för hög infiltrationskapacitet kunna erhållas. Dessutom bör variationerna i infiltrationskapacitet inom ytorna minska.

Påverkan på infiltrationsytor kan indelas i dels markpåverkan, dels vegetationspåverkan. I föreliggande rapport behandlas främst markpåverkan, som indelats i erosion, packning - komprimering och tjälning.

Erosion definieras och olika erosionsprocesser beskrivs. Allmänna erosionsekvationen redovisas och betydelsen av olika delparametrar diskuteras. Dessutom görs en sammanfattning av tänkbara åtgärder under planering och anläggning, vilka syftar till att motverka erosion vid dagvatteninfiltration på grönytor.

Jordpackning förorsakar minskad luftporositet och ökad volymvikt, vilket medför lägre genomsläpplighet mindre markvattenmagasin och sämre levnadsbetingelser för vegetationen.

Packning definieras och porvolymens förändring och betydelse diskuteras i samband med komprimering och vattengenomströmning. Olika packningsmetoder redovisas och vattenhaltens inverkan på packning av jordmaterial sammanfattas.

Tunga maskiner kan komprimera jord till mer än en meters djup. Risken att erhålla en för vegetationen ofördelaktig markkomprimering är liten på grovkorniga jordarter, men stor på finkorniga.

En sammanfattning ges över rekommendationer för val av maskintyper, lämplig tid för jordarbeten, planering och genomförande av jordarbeten.

Tjälning medför en rad fysikaliska förändringar i jordarten. Tjälad jord innehåller som regel mer eller mindre ofruset vatten. Fryspunktsnedsättningen är större för finkorniga än för grovkorniga jordarter. Orsaken till vattentransporten och variationer i hydraulisk konduktivitet sammanfattas för några tjälade jordarter. Exempel ges på köldmängdfördelning och tjäldjup för olika jordarter och geografiskt läge. Tjälens avsmältning och tjällossningsperiodens längd diskuteras med utgångspunkt från tjällossningsdiagram. Dessutom sammanfattas tjälningens betydelse för dagvatteninfiltration på grönytor.

På infiltrationsytor kommer vegetationen att påverkas av klimat, föroreningar och slitage. En sammanfattning görs över vinterskador på grönytor och vegetationsskador genom mänsklig aktivitet.

En litteraturundersökning har genomförts för att ge förslag på växter som kan vara lämpliga att använda på infiltrationsytor. Som utgångspunkt har vissa kriterier uppställts och litteraturstudien har inriktats på att finna arter som trivs i fuktig miljö. Dessutom redogörs för hårdighet (klimat), transpirationsförmåga, rotsystem och föroreningspåverkan.

Med utgångspunkt från en allmän vattenbalansmodell beskrivs ingående delprocesser. Exempel ges på storleksordningen av olika delparametrar och vilka möjligheter som finns för att mäta, uppskatta eller beräkna respektive parameter.

Dagvatteninfiltration och dess samband med olika ledningssystem presenteras tillsammans med dimensionerande regntillfällen och exempel ges på hur olika enheter i dagvattensystemet dimensioneras.

Tre olika typer av beräkningsmodeller beskrivs:

- infiltrationsmodeller
- markfysikaliska/botaniska markvattenmodeller
- avrinnings/dagvattenmodeller

En viss värdering har gjorts av olika modelltyper och i vissa fall redogörs för erforderliga indata. Några avrinnings/dagvattenmodeller har beskrivits mer ingående eftersom de har ansetts vara av principiellt intresse för dagvatteninfiltration på grönytor eller om modellerna är speciellt lättillgängliga för användarna. Dessutom har en jämförelse och värdering gjorts mellan olika avrinnings/dagvattenmodeller. För det fortsatta arbetet har modellen ILLUDAS valts för att beräkna dagvatteninfiltration på grönytor. Smärre förändringar avses att göras i beräkningsmodellen.

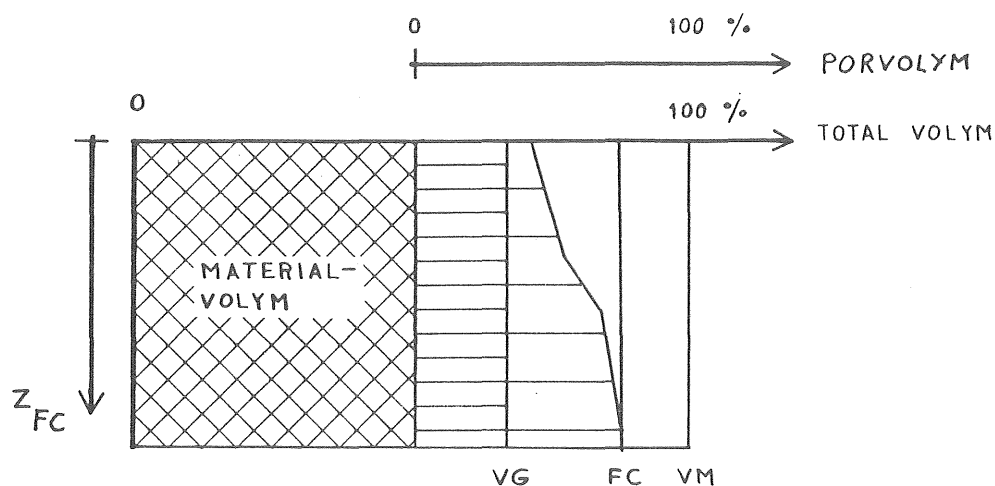
Med utgångspunkt från generaliseringar och antaganden uppställs en hypotes för dagvatteninfiltration. Som ansats antas, att man helt skall kunna omhänderta, minska eller utjämna dagvattenavrinningen från hårdgjorda ytor genom dagvatteninfiltration på grönytor. Detta kan göras genom att optimera:

- infiltration
- perkolation genom markprofilen till grundvattnet
- markvattenmagasinering
- evapotranspiration

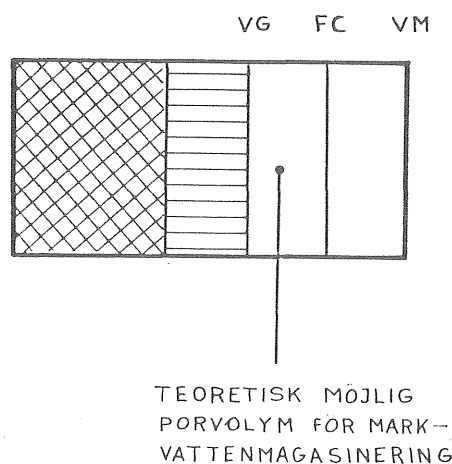
Två system för dagvatteninfiltration på grönytor presenteras och belastningen på grönytan definieras. Vattnet från den hårdgjorda ytan kan antingen direkt ledas ut på den permeabla ytan eller via en ledning eller dike.

Olika möjligheter att beskriva infiltrationsförloppet presenteras. Med hjälp av schematiserade vattenushållningsdiagram beskrivs markvattenmagasinet. Vattenhaltsminskningen vid evapotranspiration antas vara störst i markytan för att sedan avta nedåt.

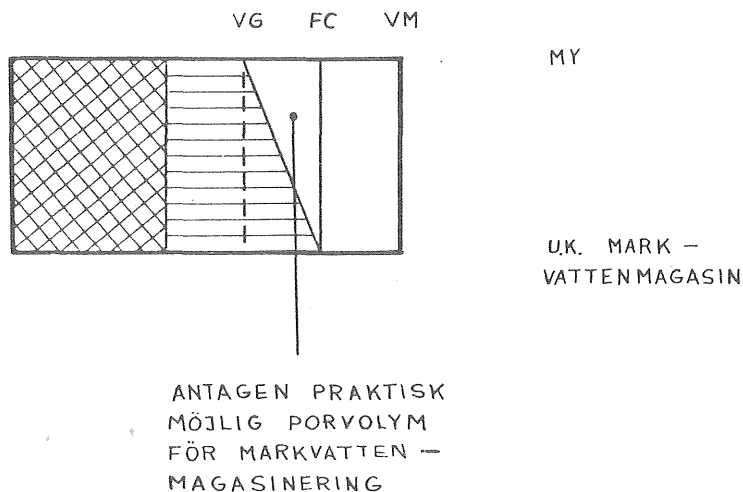
De generaliseringar som görs i samband med hypotesen innebär att vissa avsteg görs från en korrekt behandling av vattnets uppträdande i den omättade zonen.



Teoretisk tillgänglig porvolym för markvattenmagasineringsring antas vara utrymmet mellan vissningsgräns och fältkapacitet. Perkolation antas ske först när vattenhalten överstiger fältkapacitet.



Uttorkningen av jorden antas gå maximalt till vissningsgränsen i jordytan och fältkapacitet antas då råda vid underkant markvattenzonen. I detta fall antas vidare att markvattenhalten ökar linjärt från markytan till underkant markvattenzonen. Den praktiska utnyttjbara porvolymen för markvattenmagasineringsring blir då hälften av den teoretiska.



En jämförelse görs mellan tillgängligt markvattenmagasin och infiltrationskurva. Vid olika markvattenhalt erhålls olika kurvor för infiltrationskapaciteten.

Markvattenmagasinerings och infiltrationens variation beskrivs för olika årstider och för två huvudtyper av mark, dels lerområden, dels områden med friktionsmaterial. Ett antal antaganden uppställs för att via en modell illustrera markvattenmagasinet beteende vid nederbördstillfällena. I ett beräkningsexempel redovisas vattenomsättningen för en vegetationsyta.

Vid dimensioneringen balanseras storleken på hårdgjord yta mot grönytan utgående från den mängd vatten grönytan kan omhänderta per ytenhet. Målsättningen kan vara att omhänderta allt dagvatten eller att utjämna

och minska dagvattenmängden till konventionellt dagvattensystem. Olika sätt att dimensionera grönytor för dagvatteninfiltration diskuteras.

Den s k regnenvelopmetoden anpassas för att översiktligt beräkna dagvatteninfiltration på grönytor. Metoden utgår från en "regnenvelop", vilken ger ett blockregns totala volym som funktion av varaktigheten. Genom att sammanställa "regnenveloper" och "summa-infiltrationskurvor" kan en bedömning göras, vilka regn en grönyta kan omhänderta.

Utformningen av system och tekniska lösningar för dagvatteninfiltration på grönytor varierar. Exempel ges på olika lösningar för att avvattna takytor, vägar, P-platser, gångstigar m m. Förslag till lednings- och dikesutformning presenteras tillsammans med olika erosionsbegränsande anordningar. Som exemplifiering beskrivs några utvalda områden, där någon form av dagvatteninfiltration på grönytor har tillämpats.

Kostnadsjämförelser presenteras för system med lokalt omhändertagande av dagvatten och konventionella dagvattensystem. Dessutom diskuteras dagvatteninfiltration på grönytor med utgångspunkt från anläggnings- och skötselkostnader för olika parkelement.

1 ALLMÄNNA FÖRUTSÄTTNINGAR FÖR DAGVATTEN-INFILTRATION

1.1 Planering

Ekologiskt anpassat byggande innefattar en strävan att utnyttja naturens egna förutsättningar vid byggande och samtidigt sänka markbyggnadskostnaderna. Att bevara och integrera befintlig naturmark eller anlagda grönytor för dagvatteninfiltration inom urbana områden ställer delvis nya krav på planering och byggteknik. Några stora förändringar i planeringen behöver inte göras, utan vad som behövs är att hänsyn tas till de krav som uppställs för dessa ytor redan i ett tidigt skede av planeringsprocessen.

Planering i samband med ekologiskt byggande behandlas bl a av Bostadsstyrelsen och Statens planverk (1978) samt av Florgård, Palm (1979).

Vid nybyggnad har man således möjlighet att utnyttja ett områdes naturliga möjligheter att omhänderta dagvatten och erhålla en tekniskt-ekonomiskt fördelaktig lösning, under förutsättning att de krav som uppställts för infiltrationsytor tillåts att vara en styrande planfaktor.

Vid ombyggnad och tillbyggnad av befintlig bebyggelse är ofta förutsättningarna låsta vad gäller alternativa lösningar för att omhänderta dagvatten. Hänsyn måste tas till befintliga anläggningar och markanvändning. Ofta kan dock stora kostnadsbesparingar göras genom att avlasta befintliga överbelastade kombinerade avloppssystem eller minska behovet av utbyggnad av befintliga ledningssystem.

Förundersökningar för lokal infiltration av dagvatten är med undantag av vad som direkt berör infiltrationsförhållandena sådana, som normalt krävs för att få ett gott planeringsunderlag. Förundersökningar för översiktlig och detaljplanering i samband med lokalt omhändertagande av dagvatten redovisas av Holmstrand, Lindvall (1979).

Om intentionerna med lokalt omhändertagande av dagvatten till fullo skall kunna brukas i praktiken krävs i framtiden en planering som tar mer hänsyn till naturens egna förutsättningar vid exploateringen. I de strategiska och produktionsförberedande planskedena krävs en samordning av de utredningar som berör de tekniska systemen och naturförutsättningarna. Dessa faktorer i planeringsprocessen bör för övrigt ha samma prioritet som t ex frågor som berör de sociala aspekterna och service etc.

1.2 Aktuell lagstiftning

Infiltration av dagvatten regleras genom lagar, normer och anvisningar inom VA-området bl a i vattenlagen, miljöskyddslagen, lagen om allmänna vatten- och avloppsanläggningar, hälsovårdsstadgan och byggnadslagstiftningen. Den gällande lagstiftningen ger dock ej klara direktiv för hur de olika föreskrifterna skall tillämpas vid lokal infiltration av dagvatten. För att underlätta tillämpningen och klarlägga förutsättningarna för lokalt omhändertagande av dagvatten är det angeläget att gällande lagstiftning ändras och kompletteras.

För närvarande pågår en revidering av lagstiftningen (Hällgren, 1979) bl a:

Bygglagutredningen

- Betänkande SOU 1974:21 "Markanvändning och byggande, principer för lagstiftning"
- Nytt remissförslag 1979
- Ny lag tidigast januari 1984

Miljöskyddsutredningen, delbetänkande 1 och 2

- Slutbetänkande 1980-81
- Ny lag tidigast januari 1982

Vattenlagen

- Slutbetänkande SOU 1977:27
- Ny lag tidigast januari 1982

1.3 Byggtekniska förutsättningar

Traditionell byggteknik försvårar bevarandet av naturmark. Naturpåverkan sker under hela byggnadstiden. För att minimera ingreppen på naturmark kan krav ställas på att transporter inom byggplatsen endast utförs på planerade vägar. En bättre anpassning av entreprenadmaskiner och byggkranar kan göras för att undvika skador på naturmark.

Genom att bevara befintlig naturmark eller färdigställa infiltrationsytor före eller parallellt med övrigt byggande kan goda förutsättningar för dagvatteninfiltration erhållas. Detta ställer högre krav både i fråga om planering och förståelse av vikten att bevara naturförutsättningarna under exploateringen. För att skydda infiltrationsytor under byggnadstiden kan instängsling av dessa ytor göras. Instängsling av naturmark har gjorts med gott resultat i t ex Husby och Akalla (Florgård, Andersson, Ledin, Nord, Rosén, 1977).

Naturanpassad planering kan medföra att vissa krav uppställs med avseende på hustyper. Det kan t ex vara olämpligt att bygga hus med källare inom områden där infiltration planeras, eftersom dräneringen för källarhus ofta ligger djupare än för källarlösa. Husens läge kan också behöva anpassas till de lokala förutsättningarna för infiltration.

1.4 Miljöpåverkan

Dagvattnet innehåller vissa föroreningar. Sammansättningen och föroreningshalten varierar beroende på en rad faktorer (Malmquist, Svensson, 1978). När dagvatten direkt tillförs en recipient medför detta ofta skador i recipienten.

Då dagvattnet tillförs kommunala reningsverk erhålls en negativ inverkan på reningsprocesserna dels genom den stora variationen i flöde, dels genom dagvattenföroreningarnas art och halter. Infiltration av dagvatten motverkar dessa negativa effekter men medför i stället en viss lokal påverkan på mark, vegetation och grundvatten.

Genomförda undersökningar har visat att huvuddelen av föroreningarna är bundna till det suspenderade materialet och fastläggs i det översta marklagret. Det översta marklagret och matjordsskiktet är av avgörande betydelse för adsorption av föroreningar. Den biologiska aktiviteten är avsevärt lägre i en sandig jordart jämfört med en finkornig jordart eller en jordart med högt organiskt innehåll. Risker för grundvattenförorening genom dagvatteninfiltration är därför betydligt mindre vid ytinfiltration jämfört med infiltration via uppschaktade perkolationmagasin i mineraljord. Risker för grundvattenförorening p g a dagvatteninfiltration utreds för närvarande inom flera forskningsprojekt som samordnas av SNV, inom projektområdet "Infiltration - reningsprocesser i mark och grundvattenskydd".

Inom Geohydrologiska forskningsgruppen studeras tre infiltrationsanläggningar för att belägga dagvatteninfiltrationens kvalitativa påverkan på grundvattnet. Tre olika områdestyper undersöks, ett industriområde, ett bostadsområde och en motorväg.

Föroreningsaspekten studeras även inom forskningsprojektet "Dagvattenavledning genom infiltration, magasinering och perkolation". (BPA, ORRJE & CO - SCANDIAKONSULT).

Ur föroreningssynpunkt kan infiltration av dagvatten från takytor och bostadsområden särskiljas från industriområden och hårt belastade trafikleder. Inom bostadsområden förefaller risken för förorening av mark, vegetation och grundvatten vara liten vid dagvatteninfiltration. Ackumulation och anrikning av främst tungmetaller kan dock på längre sikt medföra att odling av t ex grönsaker bör undvikas på intensivt utnyttjade infiltrationsytor.

En tysk undersökning (Golver, Schneider, 1973) som genomfördes vid en hårt belastad trafikrondell i Frankfurt visar att oron för grundvatten och markpåverkan genom vägtrafik vanligen överskattas medan undergrundens reningsförmåga och möjligheter till att erhålla en naturlig re-

ning är förhållandevis dåligt känd. Undersökningen genomfördes endast under en tvåårsperiod och långtidseffekterna är därför ej belagda.

Dagvatteninfiltrationens effekter på vegetationen har ej undersökts i anslutning till någon infiltrationsanläggning. Däremot har ett flertal studier genomförts m a p vegetationspåverkan från trafikleder, industriområden och avfallsanläggningar samt tungmetallers påverkan på mark och växter. (Bäckman, Knutsson, Rühling, 1978), (Knutsson, Bäckman, Hedgren, Rühling, 1974), (Pettersson, 1976), (Westin, 1977).

1.5 Sociala förutsättningar

Lokalt omhändertagande av dagvatten i form av dagvatteninfiltration på grönytor eller infiltration via perkolationmagasin kan medföra vissa negativa effekter av social karaktär. Tillfälligt överskottsvatten kan uppkomma på infiltrationsytor, bräddvatten från perkolationmagasin kan vid vissa tillfällen översvämma allmän mark och överskottsvatten från infiltrationssystem kan i vissa fall tänkas avledas via öppna diken. Frekvensen av dylika tillfällen kan styras vid dimensioneringen av infiltrationsystem. Det är dock ej realistiskt att ur kostnadssynpunkt dimensionera infiltrationssystem på sådant sätt att tillfälligt överskottsvatten aldrig uppkommer. Dimensioneringen måste göras på sådant sätt att allmänna krav och önskemål tillgodoses liksom övriga krav som kan ställas vid projektering och anläggande av infiltrationssystem.

De sociala kraven och önskemålen kan variera beroende på områdestyp. I ett område med hög frekvens av barnfamiljer är det tänkbart att dimensioneringen och konstruktionen får göras på sådant sätt att tillfällen med bräddande överskottsvatten minimeras och avledning via öppna diken ej utnyttjas. I ett industriområde däremot, kan kanske en mycket hög frekvens av bräddningstillfällen tillåtas.

En yta som anlagts speciellt för infiltration bör inte utnyttjas på sådant sätt att infiltrationskapaciteten minskar. Minskad infiltrationskapacitet kan ske t ex genom t ex tilltrampning, erosion och förslitning av växtligheten. Utnyttjande av infiltrationsytor kan därför innebära att ytornas användbarhet för andra ändamål minskar.

De sociala krav och önskemål som kan tänkas ställas i samband med mer naturanpassad dagvattenavledning bör utredas och ingå som en faktor vid planeringen av infiltrationssystem. De fördelar som förväntas uppkomma i samband med alternativa dagvattensystem bl a grönare bostadsområden, reducerade byggnads- och boendekostnader bör ställas i relation till eventuella olägenheter ur allmänhetens synpunkt.

Utredning av allmänna sociala krav och önskemål kommer ej att tas upp inom det nu pågående forskningsprojektet utan bör utföras separat. Inom ramen för Geohydrologiska forskningsgruppens verksamhet kommer dock dessa frågeställningar att belysas genom att en jurist och en beteendevetare avses knytas till projektet "Optimering av avloppssystem". Projektets syfte är bl a att föreslå metoder för optimering av avloppsledningar och val av dimensionerande översvämningsfrekvens med beaktande av kostnader för anläggning, drift och översvämnningar samt med hänsyn till sociala faktorer och juridiska begränsningar.

Detta kapitel behandlar översiktligt de i dag vanligaste principerna för lokalt omhändertagande av dagvatten (LOD). De principer som presenteras sammanfaller huvudsakligen med det synsätt på dagvattenhantering som publicerats i "Infiltrera dagvatten" (Holmstrand & Lindvall, 1979).

I praktiken har sällan de olika "LOD-principerna" var för sig renodlats vid en projektering av dagvattensystemen inom ett exploateringsområde. Det är därför vanligt med en kombinationslösning av olika "LOD-utföranden" som successivt utjämnar dagvattenflödet från källan och nedströms i dagvattensystemet.

2.1 Principer för lokalt omhändertagande av dagvatten

De två huvudsakliga principerna för dagvatteninfiltration är infiltration på markytan respektive infiltration i magasin. I praktiskt bruk förekommer följande lösningar.

Infiltration på markyta

Inom ett exploateringsområde kan både den befintliga markytan och den nyanlagda grönytan (parkmarken) utnyttjas för infiltration. Det hydrauliska kravet på ytan är naturligtvis att den har tillräcklig infiltrationskapacitet för den dimensionerande dagvattentillrinningen.

Infiltration i dike

En infiltrationsyta i form av skåldike innebär en god förmåga till magasinering och flödesutjämning. Vidare skapas möjligheter till infiltration genom den vegetationsklädda dikesbotten och väggen.

Damm

Om dagvatten tillförs lågpunkter i terrängen kan dammar skapas med flödesutjämnande funktion och om de geohydrolo-

giska förutsättningarna medger, kan möjligheter till infiltration erhållas. Detta förfarande har t ex använts och satts i system på Long Island, USA, för att tillgodogöra sig dagvattnet för vattenförsörjningsändamål (Robinson, Spieker, 1978).

Infiltration i magasin

Magasin för att ta omhand dagvatten utformas både i friktions- och kohesionsmaterial. Perkulationsmagasin i friktionsmaterial är magasin som byggts med material med stor hålrumsvolym (makadam, singel). Avsikten är att det till magasinet tillförda dagvattnet fritt skall perkolera från magasinet i den angivande jordarten och bilda grundvatten. Ofta är magasinerna försedda med bräddavlopp.

Magasin i kohesionsmaterial förläggs till de ytliga marklagren där torrskorpa utbildats. Dessa magasinets huvudsakliga funktion är flödesutjämnande och de är därför utrustade med bräddavlopp. Emellertid sker en viss vattenavgivning genom jordartens ytliga torrsprickor. Speciellt under de torrare perioderna på året kan denna avgivning vara avsevärd. Magasinen benämns ofta för sprickvattenmagasin.

En vanlig typ av dagvattenmagasineringsanläggning sker då ledningsgravar samtidigt utnyttjas som perkulations- och sprickvattenmagasin. På detta vis kan anläggningskostnaderna reduceras och markingreppen minskas.

Fyllningar

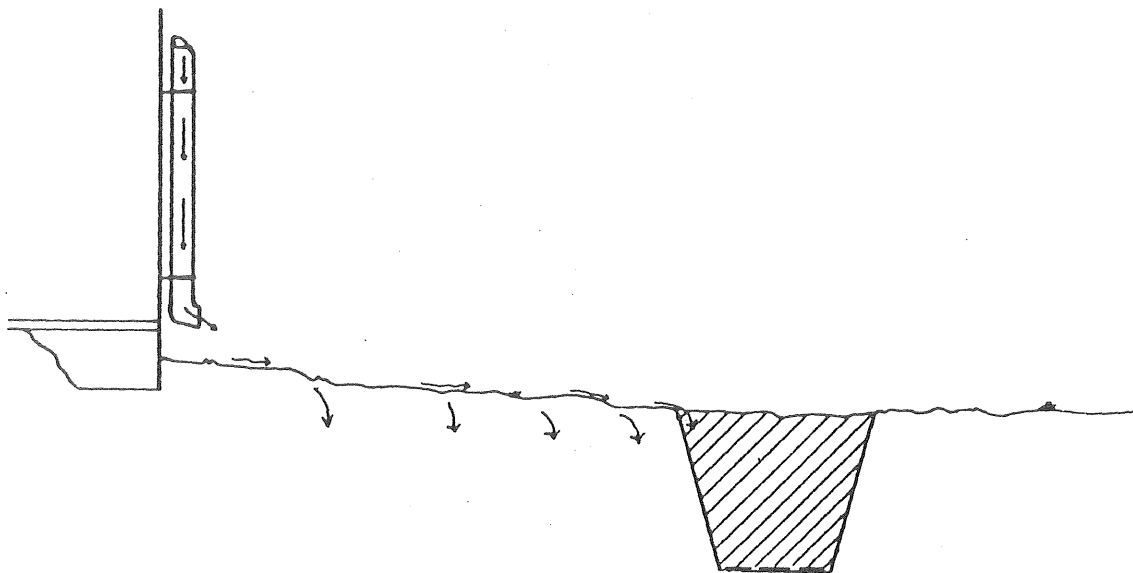
Om större bergarbeten utförs i samband med anläggnings- och exploateringsarbeten fås ofta överskottsmassor i form av sprängsten. När förutsättningarna för lokalt omhändertagande av dagvatten utreds bör hänsyn tas till dessa fyllnadsmassor i områdesplaneringen. Rekommendationer angående höjdsättningen kan då skapa förutsättningar för dagvattenmagasin i dessa fyllnadsmassor.

2.2 Principerna kombineras

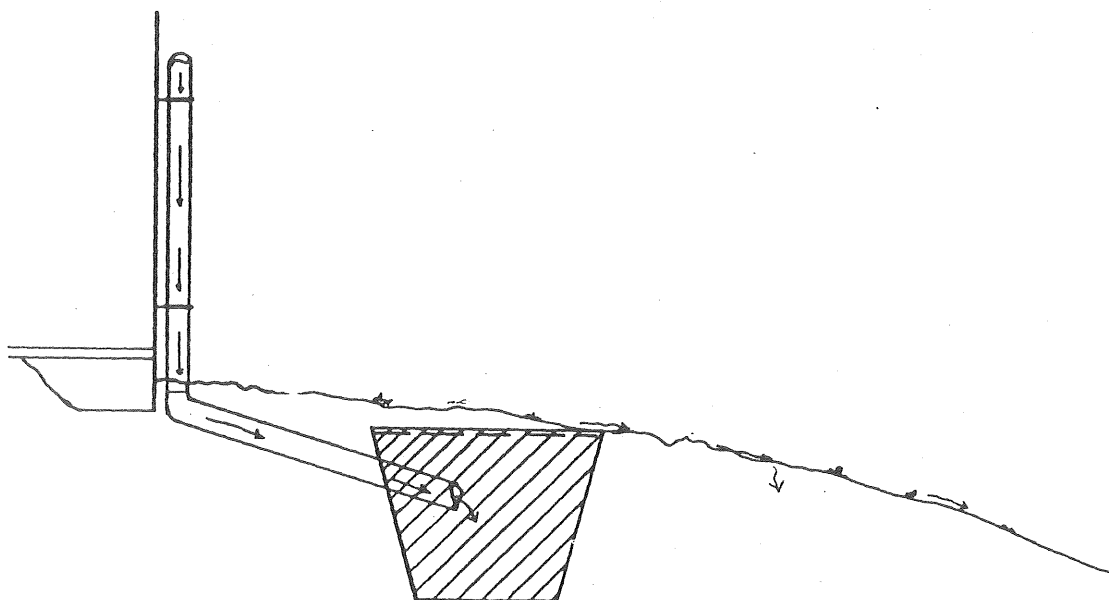
Den ideala LOD-projekteringen kolliderar ofta med andra tekniska förutsättningar i byggprocessen. Till exempel kan restriktioner för att använda mark som byggplatsupplag bli följden. Värmekulvertar måste kanske placeras i en vattenomättad miljö. Påverkan på dräneringen av husgrunder måste observeras.

Denna typ av problem medför att kombinationer av LOD-principer måste tillämpas. I figur 1 och 2 visas kombinationslösningar som hittills varit vanliga vid projektering och anläggning av infiltrationsanläggningar. Antingen låter man överskottsvattnet från grönytan brädda till ett perkolationsmagasin eller också får perkolationsmagasinen brädda till en grönyta. I figur 3 visas ytterligare ett exempel på hur ett dagvattenflöde successivt kan utjämnas och omhändertas. Låt oss anta att vattnet magasineras i ett makadammagasin. När den omgivande jordarten ej förmår att ta emot mer vatten sker bräddning till en sluttande grönyta. Vatten kan här infiltrera till markvattenzonen och så småningom delvis bilda grundvatten eller avges genom evapotranspiration. Eventuellt överskottsvatten kan ledas till ett uppsamlande dike som bräddar vid en viss fyllnadsnivå.

Bräddning från en infiltrationsanläggning sker för närvarande mestadels till ett dagvattennät med klenare dimensioner. Man kan emellertid tänka sig att bräddvattnet från ett perkolationsmagasin tillförs spillvattennätet. Detta naturligtvis under förutsättning att spillvattennätet och reningsverk tål belastningen. Denna kombination av dagvatten och spillvattensystem torde emellertid ej drabbas av momentana intensitetstoppar eftersom en betydande utjämning i dagvattenflödet förutsätts ha ägt rum.



Figur 1. Kombination av ytmagasin och perkolationsmagasin, (Eriksson, Lindvall, 1978)



Figur 2. Kombination av perkolationsmagasin och ytmagasin, (Eriksson, Lindvall, 1978).

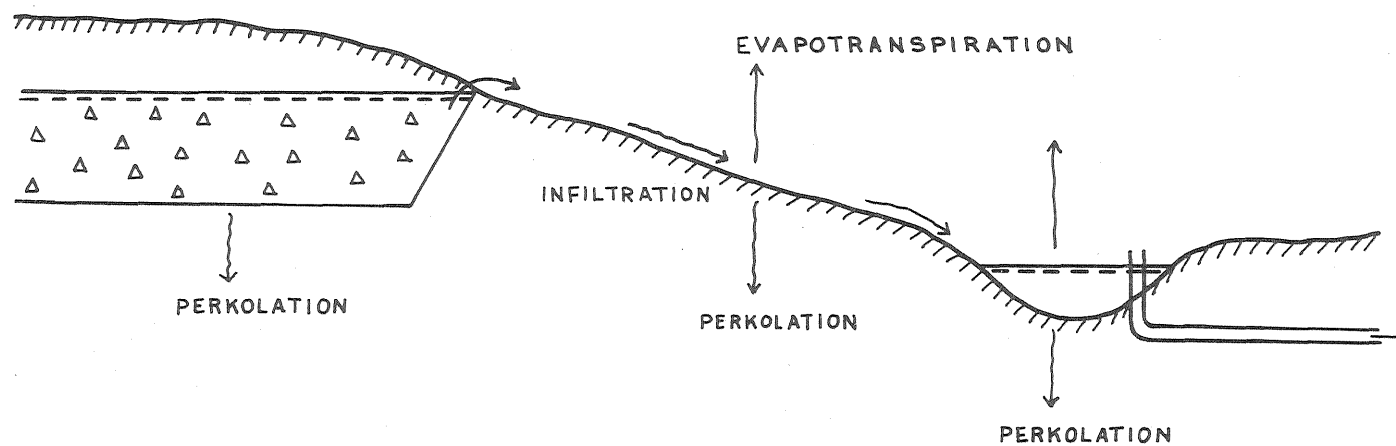
MAGASIN

BRÄDDNING

GRÖNYTA

DIKE

BRÄDDNING



Figur 3. Successiv utjämning och lokalt omhändertagande av dagvatten.

3 INFILTRATIONSYTOR

3.1 Definition av infiltrationsyta

Definitionsmässigt kan termen infiltrationsyta tillskrivas alla markytor som släpper igenom vatten. I detta sammanhang avser termen infiltrationsyta en yta som dels tar emot nederbörd (bakgrundsbelastning), dels ett extra dagvattentillskott som tillförs ytan från hårdgjorda ytor.

I samband med dagvatteninfiltration kan generellt sett två typer av infiltrationsytor urskiljas. Det är dels ytor som optimeras med avseende på förmåga att infiltrera och omsätta vatten, dels konventionella grönytor som anläggs enligt gängse normer (Mark-AMA).

Optimerade infiltrationsytor ställer höga krav på markbyggnad. Markuppbyggnaden utförs på sådant sätt att goda betingelser erhålls ur infiltrations- och vegetationssynpunkt. Vegetationen anpassas på sådant sätt att maximal vattenomsättning erhålls. Detta kan göras genom att välja växtarter med stor vattenomsättning och en mäktig rotzon. För att bibehålla den optimerade infiltrationsytans goda egenskaper krävs större underhållsinsatser i form av t ex klippning, gödsling, luftning m m. För optimerade infiltrationsytor kan vissa restriktioner vara nödvändiga, vilket innebär att ytans användbarhet minskar för andra ändamål.

Lågbelastade infiltrationsytor inom urbana grönområden eller naturmark kräver konventionellt eller inget underhåll. Några restriktioner behöver ej införas på dessa ytor.

3.2 Markbyggnad

Markarbetenas betydelse i den totala byggprocessen är av stor omfattning. Erfarenhetsmässigt anges markkostnadsandelen till 20-30 procent av exploateringskostnaden för bostadsområden.

Markarbeten regleras enligt normer i BYA och Mark-AMA. Den teoretiska markbyggnad som beskrivs i Mark-AMA 72 har varit norm från 1972 till maj 1979.

Ra 78 - Nya Råd och anvisningar till AMA 72 - har tagits fram av SvenskByggtjänst för att tillgodose byggbranchens behov av aktualisering av AMA-publikationerna. Detta p g a förändrad svensk standard, teknisk utveckling etc. RA 78 Mark, som utkommer under maj 1979, ersätter helt de Råd och anvisningar som gavs ut i direkt anslutning till Mark AMA 72.

Av betydelse för dagvatteninfiltration på grönytor är följande:

Texterna om spont, länshållning, infiltration har omarbetats och utökats. Avsnitten om skydd m m för befintlig vegetation, flyttning, rövning, avtagning av vegetations-täcke m m har helt skrivits om och utökats väsentligt.

Avsnitten om gräs och planteringsytor har i stora delar omarbetats och utvecklats. Alternativ lämnas till de nuvarande matjordsklasserna i Mark AMA. Bearbetning och komplettering av befintlig jord kan t ex föreskrivas. Krav på växtmaterial och plantering ställs också upp. Texterna i detta avsnitt har utformats med syfte att få bättre resultat, och mindre skötsel- och driftskostnader.

De grönområden som anlagts under 60- och 70-talet har präglats av ett tekniskt synsätt. Ekologiska och biologiska förhållanden som är synnerligen viktiga för att erhålla en god växtlighet och god markstruktur har ofta kommit på undantag. I handboken "Planera & Plantera (Andersson et al) som utkommer hösten 1979 presenteras ett komplement och alternativ till dagens markbyggnad. Med handboken vänder man sig främst till projektörer, byggherrar, markbyggare och plantskolister. Boken behandlar traditionell markbyggnad och omfattar:

- allmänna krav
- växtmaterial
- markarbeten
- växtetablering
- skötsel och vård

Handboken avses att användas i arbetet att bevara och anlägga ny natur.

3.2.1 Krav på grönytor vid dagvatteninfiltration

Om dagvatteninfiltration på grönytor planeras bör målet med markuppbyggnaden vara att erhålla en så slitstark och permeabel yta som möjligt. Grönytans permeabilitet beror på en rad faktorer såsom underlagsmaterial, vegetation, grovporer, packningsgrad, markorganismer etc. Både slitstyrkan, beständighet mot erosion och permeabiliteten beror på vegetationens utveckling.

Som regel innebär ett väl utbildat rotsystem i ett etablerat gräsbestånd, att den strukturella vattengenomsläppligheten blir mångfalt större än den texturella. Vid etablering av grönytor finns dock ej de ur permeabilitetssynpunkt strukturella elementen utbildade, utan permeabiliteten styrs i hög grad av jordartens textur.

I princip kan gräsvegetation etableras i vilken jordart som helst. Vanligen används vid anläggning det befintliga materialet och om så erfordras görs jordförbättring genom iblandning av sand eller torvmull.

Om ytorna utsätts för omfattande slitage är det viktigt att ytorna planeras och anläggs på sådant sätt att de får maximal resistens mot de förstörande momenten. Gräset måste också stå emot de stora påfrestningar som vinterklimatet utövar.

Undersökningar har visat att det för en god matjord för gräsväxt finns ett optimalt förhållande mellan volymen av

jordpartiklar, luft och vatten (optimal porvolym). Om detta optimala förhållande kan erhållas och materialet har god näringsstatus får gräset god rotutveckling, god övervintringsförmåga och tål därmed starkt slitage.

För att bedöma jordartens status för grönytor har lämplighetsdiagram framställts. En undersökning med avseende på kornfördelning, porvolym och kemiska förhållanden bör ligga till grund för anläggning eller förbättring av grönytor.

En dansk undersökning av ett flertal idrottsanläggningar (Petersen, 1974) gav vid handen att matjordssammansättningen hos de gräsytor där gräsbestånden var bäst även vid stor belastning under alla väderleksförhållanden var följande:

4-5% humus
12-15% ler och mjäla
80-85% sand och mo (hälften av varje)
porvolym ca 50% varav grovporsvolymen var
ca 15%

Vidare befanns att gräsbeståndet, rotzonens utveckling och mäktighet samt jordmånens fysikaliska förhållanden var beroende av matjordslagrets tjocklek. Minimitjocklek verkade vara 30-35 cm.

För avancerade grönytor som från början skall utsättas för stora påfrestningar bör d_{10} inte vara mindre än 0,02 mm. Detta innebär som regel ett omfattande gödslingsprogram som kan medföra en negativ strukturpåverkan. Den övre gränsen för d_{10} bör vara ca 0,2 mm.

Halten av mjäla och finmo bör vara låg med hänsyn till dessa jordarters flytbenägenhet vid vattenmättnad.

Ojämnkornighetskoefficienten d_{60}/d_{10} bör vara låg < 10-15. Detta ger en hög porvolym.

Den största förekommande korndiametern bör vara lägre än 4 mm. En alltför grov jordart ger dålig nötningsbeständighet (rötterna kläms mellan jordpartiklarna).

Markuppbbyggnaden måste vara sådan att grovporositeten avpassas med jorddjupet på ett sådant sätt att jordlagret är djupt nog för att ge ett lämpligt porvattenundertryck som kan dra bort vattnet från mer än 10% av porerna i det översta jordlagret (de grövsta porerna). Detta bidrar både till att ge en ökad infiltrationskapacitet och nödvändig luftning av rötterna.

Ett matjordslager på ett för grovt underlagsmaterial är ogynnsamt genom att det inte sker någon infiltration från matjorden till underlagsmaterialet förrän matjordslagret är helt vattenmättat. Undertrycket i underlagsmaterialet är inte tillräckligt för att dra bort vatten från porerna i översta jordlagret.

3.2.2 Mark AMA 72

Följande avsnitt är en sammanfattning av de avsnitt i "Mark AMA 72" och "Mark AMA 72: Råd och anvisningar" som berör dagvatteninfiltration på grönytor. Där Mark AMA angående grässådd hänvisar till BYA har detta avsnitt ur BYA även medtagits.

Förberedelser

Avtagning av matjord:

Matjord schaktas för sig och läggs upp så att den inte blandas med övriga schaktmassor.

Matjordsavtagning bör ej ske då jorden är frusen.

Krav på sortering, skötsel m m av schaktmassan kan anges.

Fyllningar, förstärkningar, dräneringar mm

Fyllning för gräs-och planteringsyta:

Fyllning utföres med material ur grupp 1, 2 eller 3 enligt tabell 1.

Ange om packning inte får utföras.

Ange om fyllning skall ske enligt särskild arbetsbeskrivning.

TAB C/1

Grupp	Fyllningsmaterial	Tjälfarlig- hetsgrupp	Motsvarar materialgrupp enligt BYA	Anmärkning
1	Sprängsten Block, sten	—	—	Finkorns- halten skall vara mindre än 16%
2	Grus, sand. Grusig eller sandig morän. Krossmaterial med motsvarande kornfördelning	I	A+B	
3a	Grusig-, sandig-, eller normalmorän. Krossmaterial med motsvarande kornfördelning	II	C	
3b	Silt, halvfast till mycket fast lera. Övriga moräner	II+III	D	
4	Lös och mycket lös lera. Torv, dy och gyttna	—	E	
5	Lätta fyllnings- material	—	—	
6	Byggnadsavfall m m	—	—	

Tabell 1. Fyllnadsmaterial enligt Mark-AMA 72.

Överbyggnader m m

Gräs- och planeringsyta:

För utläggning av matjord luckras underlag med t ex alv-luckrare till minst 200 mm djup. För gräsytor avjämnas underlag efter luckring.

Klippning bör utföras första gången när gräset blivit 40-60 mm högt.

Lägsta klipphöjd bör anges.

Dimensionering av överbyggnad:

I tabell 2 och 3 (dimensioneringstabell Mark-AMA 72) redovisas olika typer av gräs- och planteringsytors uppbyggnad. Måtten i tabellerna avser normalvärden.

- Gräsyta 1 avser gräsyta för idrottsplan o d (fordrar kontinuerlig vattning).
- Gräsyta 2 avser gräsyta uppbyggd av grästorv.
- Gräsyta 3 avser gräsyta med 100 mm matjordstjocklek med varierande användningsområden.
- Gräsyta 4 avser gräsyta med 50 mm matjordstjocklek med varierande användningsområden.
- Gräsyta 5 avser gräsyta utan matjord inom vägområde, sidotag och tipp samt yta där ringa slitage förväntas och där underhåll i form av kontinuerlig klippning inte kommer att utföras.

Dimensioneringstabell 6

Gräsyta, mark

Typ av underbyggnad	Typ av lager	Lagertjocklek (mm packat mått) för gräsyta av typ			
		1	2	3	4
1 avjämnad och tätad sprängstensbank eller sprängbotten	fukthållande lager	150	150	150	150
	dräneringslager	150	—	—	—
	matjordslager	100	70	100	50
	grästorvslager	—	30	—	—
	S:a tjocklek	400	250	250	200
2 grus, sand, grusig eller sandig morän	fukthållande lager	—	150	150	150
	dräneringslager	—	—	—	—
	matjordslager	100	70	100	50
	grästorvslager	—	30	—	—
	S:a tjocklek	100	250	250	200
3 övriga moräner, silt, halvfäst till mycket fast lera	fukthållande lager	—	—	—	—
	dräneringslager	150	—	—	—
	matjordslager	100	70	100	50
	grästorvslager	—	30	—	—
	S:a tjocklek	250	100	100	50
4 lös lera (mycket lös lera, torv, gyttja och dy bör avlägsnas)	fukthållande lager	—	—	—	—
	dräneringslager	—	150	150	150
	matjordslager	—	70	100	50
	grästorvslager	—	30	—	—
	S:a tjocklek	—	250	250	200

Tabell 2. Dimensioneringstabell för gräsyta, mark (Mark-AMA 72).

Dimensioneringstabell 7

Planteringsyta, mark

Typ av underbyggnad	Typ av lager	Lagertjocklek (mm packat mått)	
		planteringsyta för buskar m m	planteringsyta för träd
1 avjämnad och tätad sprängstensbank eller sprängbotten	dräneringslager	—	(200)
	fukthållande lager	300	400
	matjordslager	300	450
	S:a tjocklek	600	850 (1050)
2 grus, sand, grusig eller sandig morän	dräneringslager	—	—
	fukthållande lager	150	150
	matjordslager	300	450
	S:a tjocklek	450	600
3 övriga moräner, silt, halvfast till mycket fast lera	dräneringslager	—	—
	fukthållande lager	—	—
	matjordslager	300	450
	S:a tjocklek	300	450
4 lös lera (mycket lös lera, torv, gyttja och dy bör avlägsnas)	dräneringslager	150	150
	fukthållande lager	—	—
	matjordslager	300	450
	S:a tjocklek	450	600

Tabell 3. Dimensioneringstabell för planteringsyta, mark (Mark-AMA 72).

Fukthållande lager:

Utförs av morän, silt eller halvfast till fast lera. Fukthållande jord får bytas mot matjord.

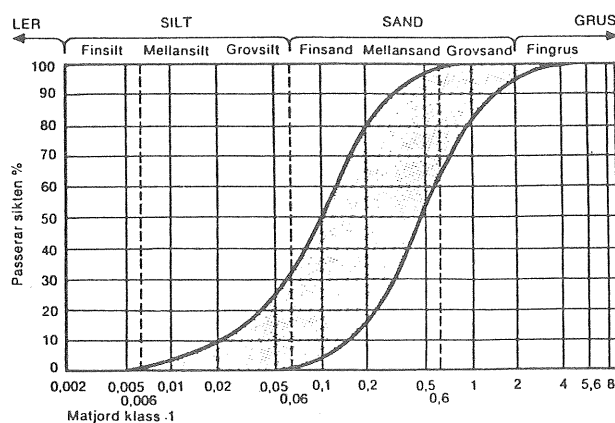
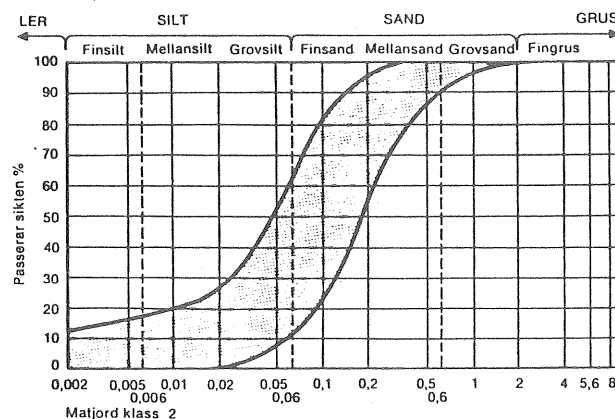
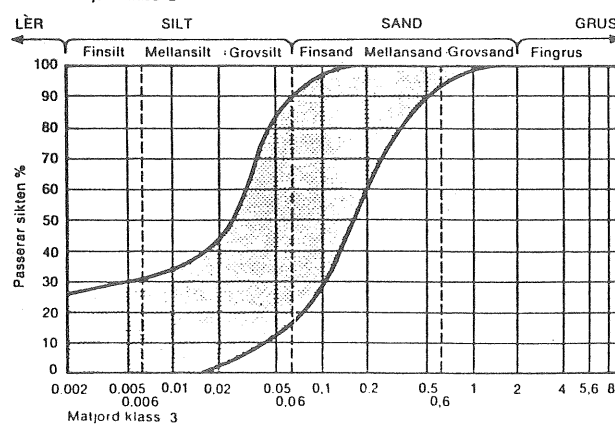
Matjordslager:

Se tabell 4 och 5.

Matjord skall vara fri från sten, flerårigt ogräs och sulfider. Den skall uppfylla kvalitetskrav enligt nedan angiven klassindelning.

Matjordklass	Jordmaterial inom gränskurvor enligt	Mullhalt (viktprocent torrt)
1	fig D3/1	10—30
2	fig D3/2	5—15
3	fig D3/3	5—15

Tabell 4. Klassindelning av matjord, (Mark-AMA 72).

FIG D3/1. Gränskurvor
för matjord, klass 1FIG D3/2. Gränskurvor
för matjord, klass 2FIG D3/3. Gränskurvor
för matjord, klass 3

Tabell 5. Gränskurvor för matjord, klass 1-3, (Mark-AMA 72).

Matjordsklass, tjockleks- och planhetstolerans skall anges i beskrivning.

Matjordsklass 1	jord till finare gräsyta, bollplan o d
Matjordsklass 2	jord som normalt kan användas till gräs- och planteringsyta
Matjordsklass 3	tung matjord som kan användas för större grönområden.

Jordförbättring, gödsling:

Jordförbättring med kalk, torv, sand, grus, bark, grüngödsling m m kan anges.

Användning av naturgödsel till gräsyta rekommenderas ej med tanke på beredningssvårigheter och ogrässpridning.

För gödsling med sammansatta gödselmedel anges 12 kg kalisuper 15/30 + 5 kg kalkammonsalpeter per 100 m² gräsyta.

Sådd för gräsyta:

Om matjordslager packats luckras detta före sådd.

Fröproducenternas och Statens vägverks forskningsresultat och rekommendationer bör kunna ge god vägledning vid projektering.

Sådd för gräsyta typ 1: Här skall anges föreskrifter för utförande av golfbanor, fotbollsplaner o d. Se fröproducenternas forskningsresultat samt Gräsfotbollsplaner.

Sådd för gräsyta typ 5: I BYA lämnas rekommendationer som gräsytans utförande på olika typ av underlag och lutning.

BYA: Sådd skall utföras med lämplig fröblandning, som är fri från grova gräskomponenter och ger ett kortvuxet och hårdigt grästäcke. Fröet bör helst komma från svenska s k turfstammar, dvs lågväxande sorter som får kraftiga ovan- eller underjordiska utlöpare. Gräsarterna bör vara motståndskraftiga mot torka och resistenta mot sjukdomar.

Fröblandningen bör normalt ha följande sammansättning:

Rödsvingel	45%
Ängsgröe	30%
Turftimotej	15%
Rödven	10%

Ett exempel på en kommersiell fröblandning är Weibulls vägsblänt II:

Weibulls vägslänt II

Rödsvingel	55%
Ängsgröe	25%
Rödven	10%
Hårdsvingel	10%

I samband med sådd skall växtnäring tillföras. Denna skall normalt bestå av kväve (N), fosfor (P) och kalium (K) i förhållandet 7:1:4. Växtnäringsmängden kan varieras inom gränserna 1,7-3,0 kg N + 0,3-0,5 kg P + 1,0-1,8 kg K per 100 m². På de ytor där mycket tät gräsväxt önskas används den högre mängden växtnäring, medan man vid sådd på slänter i skogsmark och horisontella eller svagt lutande ytor kan minska mängden ned till den lägre gränsen. Samråd om det senare skall ske med beställaren.

Lämpliga såtider:

Norrland	maj-september
Svealand	april, augusti-september
Götaland	april, augusti-september

Grästorvskikt för gräsyta:

Innan grästorv läggs ut justeras underlagret till jämn yta. Om matjordslager packats luckras detta.

Torv i stycken med 30 mm tjocklek och minst 0,3 m bredd i fallande längd läggs tätt intill varandra i enkelt förband. Yta görs tät genom hopskjutning, fogar fylls med sand. I slänter brantare än 1:1,5 pinnas torven fast. Torven vattnas tills den rotat sig. Torven bör läggas ut inom 2 dygn efter leverans från tillverkaren.

Underhåll:

Skötsel av anläggning - under i första hand garantitiden - upphandlas lämpligen samtidigt med att byggandet av anläggningen upphandlas. I förfrågningsunderlaget anges då skötselns omfattning med bl a uppgift om olika arealer.

I avtal kan t ex ingå: vårstädning och jordbearbetning
kompletteringssådd
klippning av gräs
underhållsgödsling
ogräsbekämpning
rensning av regnvattenbrunnar

3.2.3 Markbyggnad i praktiken

I verkligheten torde de grönytor som byggts enligt normer i Mark AMA 72 skifta avsevärt från varandra och avvika väsentligt från norm och projekterad markuppbyggnad.

På grund av praktiska och ekonomiska orsaker varierar ofta t ex matjordslagrets tjocklek och fyllnadsmassornas sammansättning även inom en och samma grönyta.

3.2.4 Jämförelse mellan markuppbyggnad enligt Mark AMA 72 och idealisk markuppbyggnad

För att erhålla bästa möjliga gräsutveckling (enligt Petersen, 1974) bör matjorden innehålla:

- ca 5% humus
- ca 15% ler och mjäla
- ca 80% mo och sand (hälften av varje)

Detta innebär att en matjord av Matjordsklass 1 (enligt Mark AMA) har för hög humushalt, för lite ler och mjäla samt att matjord av Matjordsklass 2 innehåller för lite sand. Man kan förmoda att matjord av Matjordsklass 1 genom naturliga markfysikaliska processer kan komma att få en högre finmaterialhalt och lämplig sammansättning med tiden. Däremot måste matjord av Matjordsklass 2 jordförbättras med sand för att erhålla optimal sammansättning.

Överbyggnadens tjocklek och framför allt matjordslagrets tjocklek enligt Mark AMA 72 torde vara alldeles för litet för att ge god gräsutveckling. Detta gäller gräsyta av samtliga typer. Dessutom bör påpekas att skiktad jord ger dålig rotutveckling!

3.3 Infiltrationskapacitet

3.3.1 Möjligheter till att generalisera infiltrationskapaciteten över större ytor

Jordarternas infiltrationskapacitet beror på en mängd olika faktorer bl a markfysikaliska parametrar, vegetation och markanvändning. Beroende på dessa faktorer kan infiltrationskapaciteten variera inom vida gränser. Orsaken till dessa variationer och mätmetoder för bestämning av jordarternas hydrauliska konduktivitet har varit föremål för intensiv forskning sedan slutet på 1800-talet.

För att bestämma olika markytors infiltrationskapacitet är in-situmätningar eller mätning på ostörda prov en nödvändighet. Ur kostnadssynpunkt är det helt orealistiskt att mäta infiltrationskapaciteten över större ytor. Det blir därför nödvändigt att med utgångspunkt från punktvisa mätningar generalisera infiltrationskapaciteten över större ytor. I många fall är det svårt att från glesa mätpunkter göra en vettig generalisering. Genom fortsatt forskning och ökad kunskap om de processer som styr infiltrationen förväntas en säkrare generalisering kunna göras.

Hittills har infiltrationskapaciteten vanligtvis korrelerats med markfysikaliska parametrar, främst kornstorleksfördelning. Hills (1971) infiltrationsmätningar och analyser gav dock slutsatsen att markbehandling eller påverkan har större betydelse när det gäller att förutsäga infiltrationskapaciteten än vad textur och markkaraktäristika har. Om så är fallet har detta stor betydelse vid projektering, dimensionering och utnyttjande av infiltrationsytor. Forskningen

bör i högre grad inriktas mot att analysera jordarternas strukturförhållanden, markanvändning och markpåverkan och dess inverkan på infiltrationskapaciteten, än vad som hittills varit vanligt.

3.3.2 Uppmätt infiltrationskapacitet inom "rurala" områden och förutsättningar för ytinfiltration

Genomförda infiltrationsmätningar visar att infiltrationskapaciteten i markytan är hög även inom lerområden. Lundberg (1974) redovisar i en litteratursammanställning infiltrationskapaciteter uppmätta vid "jämvikt" på upp till 300 mm/tim. Genomsnittsvärdet vid "jämvikt" kan uppskattas till ca 50-80 mm/tim. Minimivärdet som redovisas är 1,7 mm/tim efter 15 timmars infiltration. Engdahl (1975) redovisar ett genomsnittsvärde på ca 50 mm/tim efter 6 timmars infiltration. De relativt höga värdena förklaras av att försöken utförts i markytan, ofta på torrskorper. Den vertikala permeabiliteten genom leran är givetvis avsevärt lägre.

Undersökningarna som redovisats av Lundberg (1974) har genomförts av olika personer, vid olika tidpunkter, med grov jordartsindelning och med varierande försöksutrustning. Variationen i uppmätt infiltrationskapacitet är stor. De s k svällande lerjordarna uppvisar också en stor variation i tiden. De redovisade infiltrationskapaciteterna visar emellertid att förutsättningarna för utnyttjande av infiltrationsytor inom många områden med leriga jordarter är goda.

Vad som ytterligare stärker möjligheten att infiltrera dagvatten inom lerområden är att den initiella infiltrationskapaciteten ofta är avsevärd högre än genomsnittsvärdet eller slutvärdet, under den period då det dimensionerande regnet för stora delar av Sverige infaller.

Den begränsande faktorn tycks vara låg infiltrationskapacitet under den våta perioden p g a hög vattenhalt i

marken och mindre frekvens öppna "aktiva" sprickor i torrskorpeleran. Under denna tidsperiod har det dimensionerande regnet lägre intensitet men längre varaktighet.

Lättare leror med hög mjälahalt kan ha tämligen låg infiltrationskapacitet. Infiltrationsytor inom sådana områden bör kanske undvikas, såvida inte infiltrationsytor med goda förutsättningar kan skapas vid markbearbetningen.

För övriga sorterade sand- och mojordar samt grövre moränjordar visar genomförda infiltrationsförsök att infiltrationskapaciteten i de flesta fall är tillräcklig för att dagvattenavledningen skulle kunna lösas med infiltrationsytor.

3.3.3 Uppmätt infiltrationskapacitet inom urbana områden och förutsättningar för ytinfiltration

Infiltrationsundersökningar i Bergsjön, Göteborg (Holmstrand, Wedel, 1976), visar att infiltrationskapaciteten i hög grad beror på jordens mikro- och makrostruktur. Resultaten ligger i linje med de som redovisas av Hills (1971).

Vid genomförda infiltrationsundersökningar inom ett bostadsområde i Linköping har stora säsongsmässiga variationer i infiltrationskapacitet uppmätts inom lerområden (Ericsson, Hård, 1978). Dessutom har en markant minskning av infiltrationskapaciteten uppmätts beroende på komprimering (tilltrampning). Infiltrationskapaciteten har för den torra perioden uppmätts till ca 25 mm/tim och för den våta perioden ca 5 mm/tim, efter ca 4 timmars infiltration. Initialvärdet vid torr period var avsevärt högre.

Vid urban exploatering utförs omfattande markarbeten. Vanligtvis avbanas matjordsskiktet för senare utläggning. Schaktmassor från lednings- och husgravar används som fyllnadsmaterial inom byggnadsområdet. Någon form av planering för att optimera t ex förutsättningarna för god grönytestandard eller infiltrationskapacitet genomförs

sällan. Genom bättre planering och styrning av markarbeten inom urbana områden kan goda förutsättningar för hög infiltrationskapacitet erhållas, även inom områden med fin-korniga jordarter, se kapitel 3.2.1.

4 PÅVERKAN PÅ INFILTRATIONSYTOR

4.1 Markpåverkan

4.1.1 Erosion

4.1.1.1 Definition och påverkande faktorer

Med erosion avses lösgörandet av partiklar från en jordyta och den påföljande borttransporten av jordpartiklar i ett tillkommande medie, till ett nytt läge där avsättning sker.

Erosionens storlek på en jordyta bestäms av den minsta av följande två faktorer; dels vattnets förmåga att lösgöra partiklar från jordytan, dels vattnets förmåga att transportera lösgjort material.

Vid en utveckling och bestämning av de faktorer som påverkar erosion, måste hänsyn tas till fysikaliska, kemiska och mineralogiska aspekter. Sammanfattningsvis kan erosionen dock sägas bero av nederbördens intensitet och varaktighet, regndropparnas storlek och temperatur, avrinningens storlek och dess flödes hastighet, ytvattnets djup, markytans lutning och form, vegetationens täthet och form samt jordens eroderbarhet. Den sistnämnda faktorn påverkas i sin tur av halten av sand, silt, lera och organiskt material, klimat, struktur och densitet, pH, hopklumpning, ursprungsmaterial, infiltrationskapacitet m m. Förutom dessa faktorerens enskilda påverkan på erosionen, finns ett antal kända och okända inbördes förhållanden, vilka också påverkar erosionsförloppet.

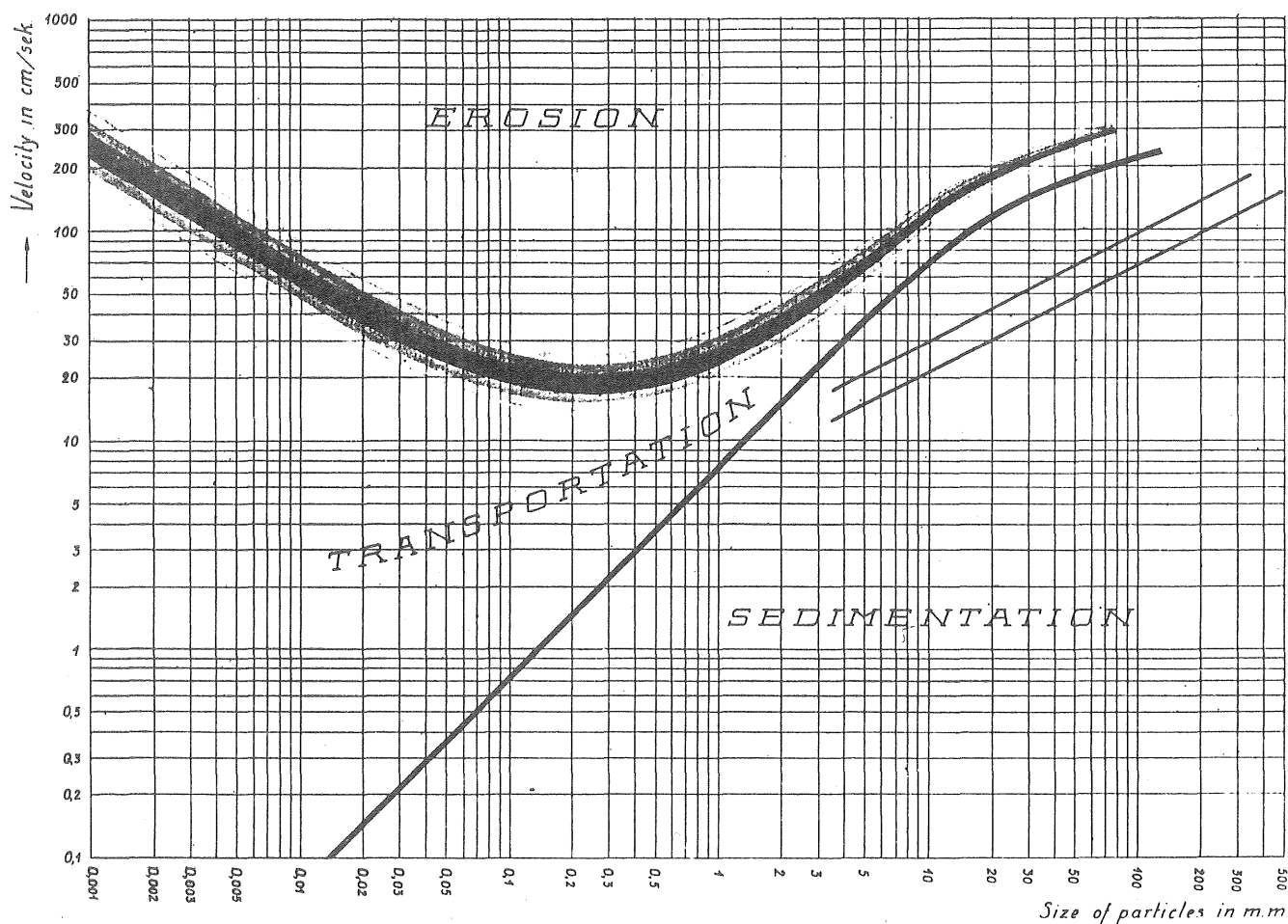
Den praktiska användbarheten för de uttryck och ekvationer som beskriver erosion i detta kapitel begränsas i hög grad av att de ingående faktorerna ofta utgörs av långa, komplexa uttryck. Dessutom begränsas användbarheten av svårigheten att på rätt sätt generalisera och förenkla de i naturen rådande förhållandena till siffervärden. Därför är syftet med angivandet av ekvationer och påverkande faktorer ej att exakt bestämma den förväntade erosionen, utan

i stället att klargöra de förhållanden som inverkar på erosionsprocessen. Kännedom om dessa förhållanden möjliggör en planering av erosionsbegränsande åtgärder.

4.1.1.2 Erosionsprocesser

Jorderosion initieras antingen av det tryck som strömmande vatten utövar på jordpartiklar eller av den effekt som fallande regndroppar har på oskyddade jordytor. När partiklarnas lägen väl blivit rubbade, förflyttar de sig med vattenströmmen, antingen via bottenransport eller i suspensionsform, tills de avsätts eller sedimenterar.

Erosionsprocesserna har uppmärksammats bl a av Hjulström (1935), där de olika faserna erosion, transport och sedimentation har relaterats till flödes hastighet och kornstorlek, se figur 4.



Figur 4. Erosion, transport och sedimentation såsom funktioner av flödes hastighet och kornstorlek, efter Hjulström (1935).

Funktionssambanden gäller dock endast för relativt stora vattenföringar, i det studerade fallet Fyrisån, med ett minsta djup på en meter och där bottenmaterialet är homogent. Erosionskurvan visar att partiklar av storleksordningen 0,2 mm eroderar för en lägre flödeshastighet än finare eller grövre material gör. Detta innebär att en jord innehållande hög halt grovmo eroderar lättare än leriga eller grusiga jordar.

Erosionsprocesserna vid låga vattenföringar och små vattendjup är svårare att studera. Detta beror bl a på svårigheten att bestämma inverkan av vattendjup, och av flödeshastighetens variation med vattendjupet.

Sammanfattningsvis kan de olika erosionsprocesserna uppdelas med avseende på orsak och förlopp enligt följande:

Lösgörande av jordpartiklar genom regndroppars effekt

Lösgörande av jordpartiklar vid nederbörd orsakas av den kinetiska energi som en regndroppe har strax innan den når markytan. När regndroppen sedan träffar markytan upp-tas energin, vilket innebär att jordpartiklar kan slås eller stötas bort från den ursprungliga markstrukturen. Laboratorieförsök har visat att sådana jordpartiklar kan nå en höjd av 1 m ovan markytan och spridas inom en radie av nära 2 m.

För en horisontell markyta varierar regndroppens stötkraft med det ovanliggande vattenlagrets djup, eftersom detta verkar energiupptagande. Om man antar att lösgörandet ökar med den anlagda kraften vid en konstant jordstyrka, kommer graden av erosion att bero på vattenlagrets djup.

Lösgörandet av jordpartiklar varierar även med markytans lutning. När markens lutning ökar, medför detta att stötkraftens normalkomposant minskar, eftersom denna är en produkt av den anlagda kraften och cosinus för lutningen. Lutning och vattendjup påverkar även varandras effekter på erosionen.

Enligt Meyer et al (1971) kan lösgörandet av jordpartiklar genom regndroppars påverkan skrivas:

$$D_R = C_1 \cdot A \cdot I^2$$

där D_R = lösgörandet
 C_1 = jordkoefficient
 A = ytan
 I = nederbördens intensitet

I ekvationen ovan och i övriga ekvationer, vilka ursprungligen är hämtade från Meyer et al (1971), har de olika parametrarnas sorter ej kunnat redovisas. Detta beror på att ekvationerna är tagna ur Heineman and Piest (1975), dvs i andra hand, och att sorterna där ej har angetts.

Jordaggregat och klumpar kan genom nederbördens påverkan även sönderdelas till mindre partiklar, varigenom jordytans infiltrationskapacitet t ex kan reduceras. Detta medför en ökad avrinning och en därigenom ökad risk för erosion.

Erosion genom regndroppars påverkan är av mycket stor betydelse i områden där jordytan är oskyddad. När vegetation etableras kommer denna dock att utgöra ett gott skydd mot erosion.

Lösgörande av jordpartiklar genom avrinning

I kohesiva jordarter beror jordens eroderbarhet på elektrokemiska bindningar mellan olika partiklar. Styrkan hos dessa bindningar beror på jordartens mineralogiska sammansättning, temperatur, pH, jonbyten, absorption, partiklarnas laddning samt närvaron av elektrolyter.

I friktionsjordar beror jordens eroderbarhet däremot av kornstorlek, gradering och packning. När vatten strömmar över en jordyta utsätts de i ytan liggande partiklarna för en dragkraft i strömriktningen, orsakad av friktionen mellan vattenström och mark. Vidare påverkas kornen av lyftkrafter, vilket är en följd av den osymmetriska strömbilden

kring kornen. Denna resulterar i att trycket vid kornens översida kommer att understiga det hydrostatiska, samtidigt som trycket vid kornens undersida kommer att överstiga det hydrostatiska, varvid kornen utsätts för uppåtriktade krafter. Förutom dessa pådrivande faktorer, påverkas kornen även av friktions- och tyngdkrafter, vilka verkar stabiliserande.

För ett visst värde på skärspänningen mellan det strömmande vattnet och kornen, kallat den kritiska skärspänningen, kommer de pådrivande krafterna att överstiga de stabiliserande, varigenom partiklarna lösgöres.

Den skärspänning som strömmande vatten genererar kan enligt Cederwall och Sjöberg (1969) vid likformigt, stationärt flöde genom en bred kanal skrivas

$$\tau_o = \rho \cdot g \cdot t \cdot I_b$$

där

ρ	= vattnets densitet	(i kg/m ³)
g	= gravitationen	(i m/s ²)
t	= vattendjup	(i m)
I_b	= bottenlutning	(i m/m)

Det totala lösgörandet av jordpartiklar genom avrinning kan enligt Meyer et al (1971) uttryckas

$$D_F = C_3 \cdot A \cdot q^{2/3} \cdot S^{2/3}$$

där

D_F	= lösgörandet
C_3	= jordkoefficient
A	= ytan
q	= avrinning
S	= släntlutning

För lösgörande orsakat av avrinning gäller i allmänhet att dess del av det totala lösgörandet är liten i förhållande till den mängd material som lösgörs genom regndroppars påverkan.

Transport av jordmaterial orsakad av regndroppars påverkan

Transport orsakad av regndroppars påverkan varierar till sin storlek med bl a markens lutning och vattenskiktets djup. Vid en horisontell markyta kommer jordpartiklarna att "kastas" ut likformigt i alla riktningar, varför ingen nettotransport sker.

Stöteffekten kan även här antas variera med vattendjupet. För ett konstant djup hos vattenföringen och en konstant stötkraft, kommer transporten att öka med ökad släntlutning.

Enligt Meyer et al (1971) kan transport av jordpartiklar orsakad av regndroppars effekt skrivas

$$T_R = C_2 \cdot S \cdot I$$

där T_R = transport
 C_2 = jordkoefficient
 S = släntlutning
 I = nederbördens intensitet

Transport av jordmaterial orsakad av avrinning

Transportfasen uppdelas normalt i två delar, botten-transport samt transport av suspenderat material. Vid botten-transport rör sig partiklarna hasande, rullande eller språngvis hoppande i flödesriktningen. Kornen har dock, i högre eller lägre grad, kontinuerlig kontakt med botten. Botten-transportens storlek bestäms av den effektiva skärspänningen och utgör vanligen en mindre del av den totala transporten.

Det material som transporteras i suspensionsform, håller sig svävande i vattnet genom den turbulenta strömningen. Jordpartiklarna kvarhålls i suspension tills flödeshastigheten minskar och materialet kan sedimentera.

Den transporterande förmågan hos en vattenföring beror av vattnets djup, flödeshastigheten samt markytans lutning.

Transport av jordpartiklar orsakad av avrinning beskrivs av Meyer et al (1971) som

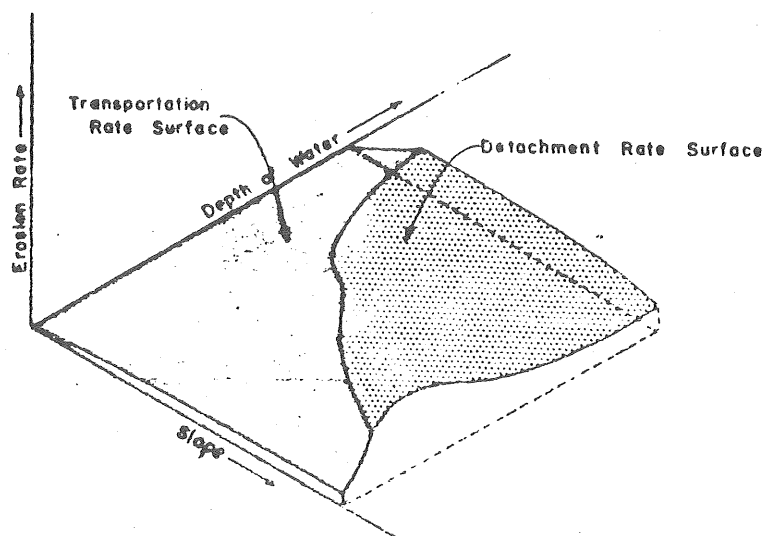
$$T_F = C_4 \cdot q^{5/3} \cdot S^{5/3}$$

där T_F = transport
 C_4 = jordkoefficient
 q = avrinning
 S = släntlutning

För en horisontell markyta utsatt för nederbörd gäller att ingen transport sker för något vattendjup eftersom vattenhastigheten är noll. För en lutning större än noll kommer transportkapaciteten att öka exponentiellt då flödets djup ökar.

För ett konstant vattendjup, större än noll, kommer transporten att öka exponentiellt med lutningen, eftersom hastigheten ökar.

Sammanfattningsvis kan erosion beskrivas enligt Rowlison och Martin (1971), se figur 5. De olika erosionsskedena kan under givna förhållanden representeras med hjälp av en "yta", där maximalt lösgörande och transport utgör en funktion av markytans lutning och avrinningens vattendjup. Denna "yta", dvs den maximala erosionen, begränsas i allmänhet dels av lösgörande orsakat av regndroppar och dels av regndroppars eller avrinningens transporterande förmåga.



Figur 5. Maximal erosion åskådliggjord enligt Rowlison and Martin (1971).

Kommentar

I amerikanska rapporter omnämns erosionsförloppen vanligen som "sheet", "rill" eller "gully". Samtliga dessa kan karakteriseras som uppströms erosion, dvs erosion som inträffar innan avrinningen ännu koncentrerats till större flöden.

Med "sheet erosion" menas att en markyta utsätts för erosion av en överlagrande vattenföring, vilken täcker hela markytan, likt ett flak eller en matta.

Om erosionen orsakas av att markytan överdras av småströmmar eller "mikrokanaler", kallas den "rill erosion". För de båda första erosionstyperna gäller att den främsta orsaken till lösgörande av jordpartiklar för transport kan hänföras till regndroppars direkt påverkan.

Med "gully erosion" avses erosion vid större vattenföringar, t ex i diken och fåror.

Begreppet nedströms erosion kännetecknas däremot av kanaler erosion eller vattnets nedskärning i dalar och klyftor.

4.1.1.3 Allmänna erosionsekvationen och betydelsen av olika delparametrar

Med avsikt att bestämma den förväntade erosionen vid nederbörd har följande ekvation uppställts av Smith och Wischmeier (1962):

$$A = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P$$

där

A = erosion

R = faktor beskrivande regnets erosionspotential

K = faktor beskrivande jordens eroderbarhet

L = faktor beskrivande inverkan av släntens längd

S = faktor beskrivande inverkan av släntens lutning

C = faktor beskrivande inverkan av vegetation

P = faktor beskrivande inverkan av praktisk erosionskontroll.

De ingående parametrarnas sorter har ej kunnat redovisas, då de saknas i den andrahandsreferens, Mech och Smith (1967), från vilken ekvationen hämtats.

Förutsättningarna för ekvationen kommer delvis att förändras vid ytinfiltration av dagvatten, eftersom vatten vid detta tillfälle även tillförs den aktuella ytan utifrån, t ex avrinning från hårdgjorda ytor. Detta innebär att avrinningen kommer att öka i förhållande till den direkta nederbörden, vid en jämförelse med förutsättningarna ovan. Dock är ekvationen och dess olika ingående delparametrar i övrigt klargörande vad gäller erosionsprocessen och dess påverkan.

A = erosionens storlek

Den mängd material som eroderar från en bestämd yta under en viss tidsperiod eller för ett visst nederbördstillfälle.

R = Regnets erosionspotential

Nederbörden inverkar dels vid lösgörandet av jordpartiklar, dels vid den fortsatta transporten. Lösgörandet sker antingen genom att regndropparnas energiinnehåll påverkar markytans struktur eller genom att avrinning medför skärspänningar, vilka initierar erosion. Transporten sker huvudsakligen via avrinning och där antingen i form av bottentransport eller som transport av suspenderat material.

Enligt Miller och Daily (1977), kan nederbördens erosionspotential karakteriseras med tre faktorer. Dessa är

1. 30-min maximal regnintensitet
2. Regnets kinetiska energi
3. Avrinning

Flera olika undersökningar har bekräftat att en god överensstämmelse råder mellan största 30-min intensitet och jorderosion.

Nederbördens energiinnehåll kan enligt Wischmeier och Mannering (1969) ansättas till

$$Y = 210,3 + 89 \text{ LOG } I$$

där $Y = \text{kinetisk energi } \left(\frac{\text{ton} \cdot \text{m}}{\text{ha} \cdot \text{cm}} \right)$

$I = \text{regnets intensitet (cm/h)}$

Avrinning anses i allmänhet dock vara den enskilda faktor som är viktigast vid bestämning av förväntad erosion.

R-faktorn, åtgärder

Regnets erosionspotential är utom kontroll.

K = jordens eroderbarhet

En jords eroderbarhet utgörs av ett komplext förhållande mellan kemiska och fysikaliska faktorer. De faktorer som påverkar ytan är viktiga för eroderbarheten, men även faktorer med inverkan på underliggande lager kan vara betydelsefulla. Faktorer som bidrar till variationer i en jords eroderbarhet är bl a andelar sand, silt, lera, organiskt material, pH, struktur och densitet.

Faktorn K är ett mått på totala effekten av en särskild kombination av jordfaktorer. Några av dessa faktorer påverkar förmågan att utstå slitage och transport orsakade av erosiva krafter i regndroppar och vattenflöden och bestämmer därigenom avrinningens jordhalt. Några faktorer påverkar jordens infiltrationskapacitet och bestämmer därigenom mängd och grad av avrinning.

Jordtextur: I allmänhet är jordar med hög silthalt, låg lerhalt och låg halt organiskt material mest känsliga för erosion. Vanligen minskar eroderbarheten om silthalten minskas.

Emellertid måste andelen silt, lera och sand sättas i samband med andra kemiska och fysikaliska faktorer. Lera och organiskt material kan i vissa fall samverka så att förhöjda halter ej behöver medföra minskad eroderbarhet.

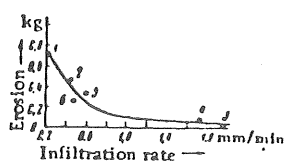
När lerinnehållet blir extremt högt kommer små förändringar i halt organiskt material eller halt sand/silt att förlora praktisk betydelse.

Eroderbarheten minskar vid höjda lerhalter p g a att kohe-sionen ökar.

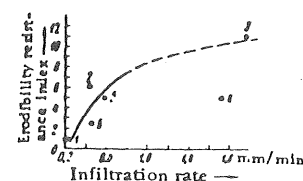
pH: Förhållandet mellan eroderbarhet och pH-värde beror på jordstruktur och siltinnehåll. Om jorden innehåller stor andel silt kommer ett ökat pH att öka eroderbarheten. Om strukturen är grövre kommer ett ökat pH att minska eroderbarheten.

Organiskt material: Ökad organisk halt förbättrar ytans permeabilitet, vilket medför att ökad nederbörd krävs för avrinning samt att den slutliga infiltrationskapaciteten ökar. Detta gäller i silt och i siltiga och sandiga fin-korniga jordarter, men det gäller inte när lerhalten stiger.

Infiltrationskapacitet: Ytans genomsläpplighet minskar då halt organiskt material, andel sand, aggregationsindex, densitet och kalkkrav minskar och då silt, lerhalt, andel suspenderat material, ekvivalent fuktighet och pH ökar. Permeabiliteten kan enligt Nazarov (1974) fungera som ett index på jordens erosionsmotstånd, se figurerna 6a och 6b. Figurerna är empiriska och relateras till obrukad mark.



- 1) Sod-Podzolic soils; 2) Gray Forest soils; 3-5) Chernozems (3—Typical, 4—Ordinary, 5—Southern); 6) Light-Chestnut soils.



Figur 6a. Förhållandet mellan erosion och infiltrationskapacitet

Figur 6b. Förhållandet mellan erosionsindex och infiltrationskapacitet

För båda figurerna anges infiltrationsgraden efter 2 timmar och i figur 6a är erosionen uppmätt efter 30 minuter.

Erosionsindex i figur 6b utgörs av förhållandet $K_{p.st.}/K_{dis}$

där $K_{p.st.}$ = strukturfaktorn, procent material
< 0,001 mm i förhållande till mängd
material > 0,001 mm.

K_{dis} = dispersionsfaktorn, procent lera (partiklar < 0,001 mm) erhållen från analyser av mikroaggregat i förhållande till lera erhållen från kornstorleksanalys.
Ju större värde på K_{dis} , ju lägre stabilitet för jordstrukturen.

K-faktor, åtgärder

Förbättring av en jords erosionsmotstånd kan utföras genom att man ökar innehållet organiskt material. Stabilisering kan även göras genom att förändra texturen, t ex genom att tillföra sand eller genom att applicera syntetiska jordbindare, för att öka tillgången på vattenstabila aggregat. Effekten hos syntetiska jordbindare har bl a undersökts av Weeks och Colter (1952), vilka fann att jordbindarna orsakar en permeabel film i jordstrukturen. Denna är resistent mot regndroppars påverkan, inverkar ej på vegetationens utveckling och kan i viss mån även reducera avrinningen.

L = släntens längd

Långa slänter är mer utsatta för erosion i den lägre delen p g a att mer vatten samlas i långa än i korta slänter. Dessutom kan avrinningens innehåll av jordpartiklar vara större, vilket också kan påverka erosionen.

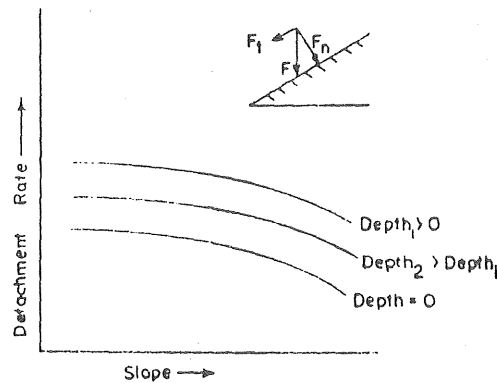
Enligt Dredge (1976) kan en fördubbling av släntlängden innebära att erosionen per längdenhet ökar med faktorn 1,5 medan Smith och Stamey (1965) anger att erosionen ökar med kvadratroten av släntens längd.

L-faktor, åtgärder

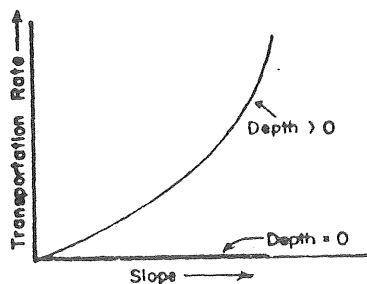
Släntlängden kan reduceras genom att anlägga terrasser eller dammar med vissa intervall tvärs över slänten.

S = släntens lutning

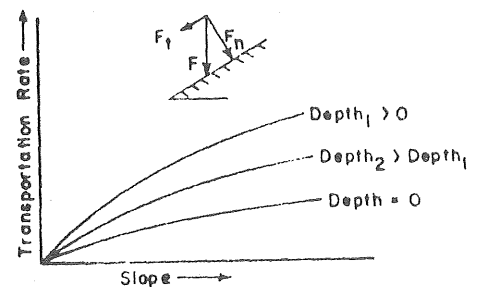
Flera olika skeden i erosionsförloppet påverkas av släntlutningen. Lösgörande orsakat av regndroppar, transport orsakad av avrinning eller av regndroppar varierar alla med släntens lutning enligt Rowlison och Martin (1971), se även 4.1.1.2. I samtliga fall beror erosionen även av vattendjupet. I figur 7 har lösgörandet ansatts som funktion av släntlutning och vattendjup. När markens lutning ökar, minskar normalkomponenten av stötkraften, varför lösgörande minskar då släntlutning ökar.



Figur 7. Lösgörande orsakat av regndroppars stötkraft, enligt Rowlison and Martin (1971).



Figur 8. Transport orsakad av avrinning, enligt Rowli-son och Martin (1971).



Figur 9. Transport orsakad av regndroppar enligt Rowlison och Martin (1971).

Vid transport av jordpartiklar genom avrinning, för ett konstant vattendjup större än noll, kommer transporten att öka exponentiellt med ökande lutning eftersom hastigheten ökar, enligt figur 8.

För ett konstant vattendjup och en konstant stötkraft kommer kraftens tangentiella komponent att öka med sinus för lutningen varför transporten kommer att öka enligt figur 9.

Enligt Dredge (1976) kan jordförlusterna approximativt sägas öka med faktorn 2,5 när lutningen (i procent) fördubblas.

S-faktorn, åtgärder

Slänthlutningen kan påverkas genom anläggning av terrasser, varvid markytan kan göras mer eller mindre horisontell.

C = vegetation

Vegetation är det viktigaste hjälpmedlet för att förhindra erosion på jordytan. I överensstämmelse med detta har ett stort antal undersökningar utförts med avsikt att bestämma olika växtslags inverkan på jordförlusterna.

Vegetationen påverkar erosionen direkt på två sätt. Dels minskar plantor och växtrester regndropparnas effekt på jordytan och dels fördröjer vegetationen vattenströmningen över marken. Indirekt påverkan kan bestå av att växter och dess rester ökar infiltrationskapaciteten och därigenom minskar avrinningen.

De faktorer hos vegetationen som är av betydelse är storlek, täthet, övertäckande förmåga, densitet samt rotsystemets utformning.

C-faktorn, åtgärder

Eftersom vegetation har stor inverkan på erosion är det viktigt att oskyddade ytor, utsatta för erosionsrisker snabbt får en skyddande vegetation. Detta kan ske på olika sätt, utläggning av färdiga gräsmattor, normal sådd eller genom att tillförda frön och växtnäringsämnen fixeras på jordytan. Efter etablering av vegetation är det viktigt att underhållet sköts, dvs gräsklippning, ogräsbekämpning m m. Enligt tidigare är halt organiskt material av stor betydelse, då den befrämjar infiltration och minskar jordens eroderbarhet.

P = Praktisk erosionskontroll

Genom faktorn P görs en bedömning av effekterna av praktisk erosionskontroll såsom konturplöjning, remsodling eller terrassering.

P-faktorn, åtgärder

Terrassering.

Sammanfattningsvis kan sägas att erosionskontroll i huvudsak baseras på följande

- I Fördröjning av avrinning
- II Fixering av jordpartiklar.

4.1.1.4 Metoder att kontrollera erosion på grönytor

Vattenerosion på slänter eller andra markytor initieras huvudsakligen på två olika sätt:

- A. Erosion orsakad av vattendroppars effekt på jordpartiklar.
- B. Erosion orsakad av strömmande vatten över en jordyta.

I fall A kan erosion motverkas dels genom att jordpartiklarna skyddas mot vattendropparna, dels genom att jordpartiklarna binds samman, dvs att jordytan stabiliseras.

I fall B kan erosion motverkas dels genom att avrinningen fördröjs eller minskas och dels genom att jordpartiklarna binds samman.

En grönyta där vegetationen, främst olika slag av gräs, är väl etablerad motstår i hög grad erosionens påverkan. Detta beror på att vegetationen är energiabsorberande, fördröjer och utjämnar avrinningen, minskar densamma genom ökad infiltrationskapacitet hos markytan samt stabiliserar jorden genom sitt rotsystem. Åtgärder med avsikt att begränsa erosionens inverkan på marken, bör alltså inriktas på att bevara eller förbättra befintlig vegetation samt att vid sådd av blivande grönytor söka få en snabb etablering av vegetation, eftersom risk för erosionspåverkan av oskyddade jordytor är stor. Under sådd- och tillväxtperiod kan det även bli nödvändigt med kompletterande åtgärder i syfte att skydda markytan.

Efter etablering är det viktigt att grönyterna underhålls på rätt sätt.

En sammanfattning av tänkbara åtgärder under planering och anläggning, vilka syftar till att motverka erosion vid dagvatteninfiltration på grönytor, redovisas nedan.

- Minimering av blottlagda ytor
- Markuppbyggnad
- Ordinär såddteknik
- Tillfällig övertäckning
- Förstärkt såddteknik
- Utläggning av grästorv
- Tillförsel av organiskt material
- Speciella utformningar
- Utströmningsplatser
- Underhåll och skötsel

Minimering av blottlagda ytor

Detta innebär bevarande av så stor del gamla grönytor som möjligt. Dessa kan dessutom behöva skyddas mot trafik eller annan form av utnyttjande, t ex som upplagsplats under anläggningsarbete, eftersom detta kan orsaka påverkan i form av slitage, packning m m.

Markuppgbyggnad

Markens uppgbyggnad är betydelsefull av två olika anledningar. Dels bör markuppgbyggnaden möjliggöra etablering av erosionsskyddande vegetation, vilket beskrivs i AMA, se kapitel 3.2. Dels bör den utföras så att mark och markyta får en hög permeabilitet, samtidigt som ytlagret utförs erosionsbeständigt. Detta innebär att sand kan tillföras finkorniga jordar i syfte att öka permeabiliteten, medan ytliga lager med hög silthalt bör undvikas p g a erosionsrisken.

Ordinär såddteknik

Sådden kan utföras enligt den av BYA, se kapitel 3.2 beskrivna metoden för vägslänter. Denna innebär att man använder lågväxande grässorter som får kraftiga ovan- eller underjordiska utlöpare, vilket ger ett kortvuxet och hårdt gräställe. I samband med sådd tillförs även växtnäring, kväve, fosfor och kalium. Såsom lämpliga såddtider anges.

Norrland maj-september

Svealand april, augusti-september

Götaland april, augusti-september

Allmänt gäller dock att sådd bör utföras så snart som möjligt för att minska erosionsriskerna.

Tillfällig övertäckning av blottlagda ytor

Om markytan blottläggs vid en tidpunkt på året då sådd ej är möjlig, kan markytan täckas med ett lager av halm. Halmen skyddar mot erosion och kan sedan, vid tiden för sådd, användas som mull. Tillfälliga skydd kan även utgöras av plasthöljen eller dylikt, vilket snabbt kan anbringas.

Förstärkt såddteknik

I Sverige använder sig vägverket, enligt BYA 76, av en speciell såddteknik för kritiska ytor. Detta innebär att en blandning av frö, växtnäring, cellulosa och vatten utsprutas via fröspredningsaggregat med ett tryck av ca 8 kg/cm², till en tjocklek av maximalt 1 mm. På detta sätt kommer frö och växtnäring att bindas bättre vid jordpartiklarna.

Enligt Tourbier, Westmacott (1974), används i USA ofta kemiska jordstabilisatorer. Dessa kan utgöras av emulsioner av harts eller latex och appliceras tillsammans med frö och växtnäringsämnen. En nackdel med dessa är dock att deras effektivitet är betydligt sämre i finkornigare jordar än i sandiga. Enligt samma referens kan även speciella nät eller mattor användas för att stabilisera markens ytskikt och därigenom förhindra erosion under vegetationens etableringsperiod. Dessa kan vara tillverkade av jute och papper eller utgöras av organiska och kemiska fibrer anbringade på ett nät. Nät och mattor används dock i allmänhet endast vid extremt kritiska ytor, t ex vid branta väglänter.

Utläggning av grästorv

Eftersom detta är en dyrbar teknik används metoden endast vid kritiska ytor, dvs branta slänter och lätt eroderbara jordar. Grästorv ger ett omedelbart och bra erosions-skydd, har hög tillväxt samt kan utläggas under stora delar av året. Däremot är de tunga vid handhavande, bör behandlas mot ogräs samt kräver bevattning om utläggning görs under ogynnsam säsong eller på torra sandiga jordar. I AMA, se kapitel 3.2, beskrivs markbearbetning och utläggningsförfarande.

Grästorv bör i allmänhet läggas ut inom två dygn efter leverans från tillverkaren.

Tourbier, Westmacoft (1974) beskriver en metod att använda färdigt gräs av hög kvalitet, odlat på en tunn bädd av polystyren. Denna produkt blir betydligt lättare att handskas med än vanlig grästorv. Om underlaget göds och bevattnas före utläggning, etableras den dessutom mycket snabbt. Enligt samma referens kan utläggning av grästorv inom mindre utsatta områden även ske i rutmönster, dvs åtgång av gräs halveras. Vid denna rutin har det visat sig att de mellanliggande, ej täckta ytorna snabbt får en etablerad vegetation.

Tillförsel av organiskt material

Tillskott av växtrester och annat organiskt material kan reducera regndroppars effekt, hindra avrinning, förhindra ytkompaktering samt bevara jordens fuktighet, vilket stimulerar växtligheten.

Material som är möjligt att tillföra i detta syfte är träspån, sågspån, cellulosafibrer, hackad halm m m.

Vid tillförsel av organiskt material måste dock risken för igensättning och en därmed minskad infiltrationskapacitet beaktas.

Speciella utformningar m m

Långa slänter medför ofta stora avrinningar på släntens nedre del, vilket är ogynnsamt ur erosionssynpunkt. Detta kan undvikas genom terassering, vilket uppdelar slänten i mindre delar och minskar slänthlutningen.

Utströmningsplatser

Risken för erosion är speciellt stor på de platser där avrinningen från hårdgjorda ytor leds ut till grönytor. Vattnenflödena kan här vara stora, liksom flödes hastigheterna. Det är därför viktigt att dessa ytor är erosionsbeständiga vid den tidpunkt då anläggningen skall tas i drift. Hur utformningen i detta fall kan göras beskrivs i kapitel 10.

Tekniska lösningar. Om man skall använda sig av grönytor på själva utströmningsplatsen är det t ex möjligt att anlägga dessa före övriga grönytor eller att lägga ut färdig grästörv. I annat fall kan betongkonstruktioner, sten eller makadam användas, se kapitel 10.

Underhåll och skötsel

Ur erosionssynpunkt är det av stor vikt att vegetationen bibehålls eller förbättras, varför underhåll och skötsel är viktigt. Detta kan bl a innebära kompletteringssådd, gräsklippning, underhållsgödsling och ogräsbekämpning.

4.1.2 Packning - komprimering av jord

De olika studier som gjorts om packning och komprimering av jord härrör sig ifrån

a) Byggnadstekniska sammanhang

Målet för dessa studier har varit att ge anvisningar hur man på lämpligaste vis packar jord för att undvika sättningar hos utfört byggnadsverk (väg el dyl) eller för att erhålla så tätt material som möjligt (dammar, avfallsupplag)

b) Jordbrukstekniska sammanhang

Målet här har varit att undvika för vegetationen skadlig packning och komprimering av jord.

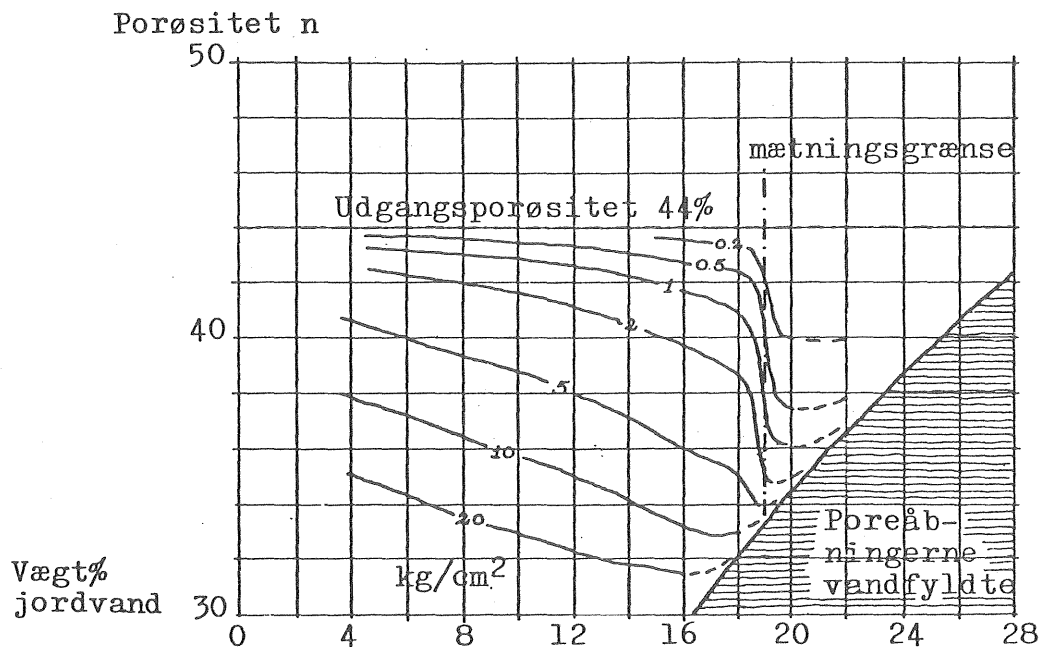
Studier enligt a) har här stort intresse för att förstå markfysikaliska samband medan studier enligt b) dessutom är intressanta från praktisk markanläggningssynpunkt vid dagvatteninfiltration.

Med jordpackning förstås definitionsmässigt den process vid vilken en snabb tillförsel av belastning (statisk eller dynamisk) resulterar i en ökad volymvik för en jord, som följd av en minskad luftporositet utan att vatteninnehållet ändras (Pedersen, 1976).

Jordpackning skall inte förväxlas med konsolidering, vilket generellt definieras som en långtidsförändring av jordens

volymvikt under inverkan av statiskt tryck och med både luft- och vattenurpressning som följd (Pedersen, 1976 efter Soane, 1970).

I figur 10 visas packningsmönstret för en lerblandad sandjord. Jordens porositet visas här som en funktion av vatteninnehåll vid olika yttryck. Det är att märka att denna jord förlorar stor del av porositeten vid 19 viktsprocent vatteninnehåll, speciellt vid låga yttryck. Om en jord som denna har ett vatteninnehåll på 19 viktsprocent kommer den rent visuellt att ge ett intryck av att vara våt och eftergivlig.



Figur 10. Största porositeten under en given last som funktion av vatteninnehåll i en given jord (Pedersen, 1976 efter Soane, 1970).

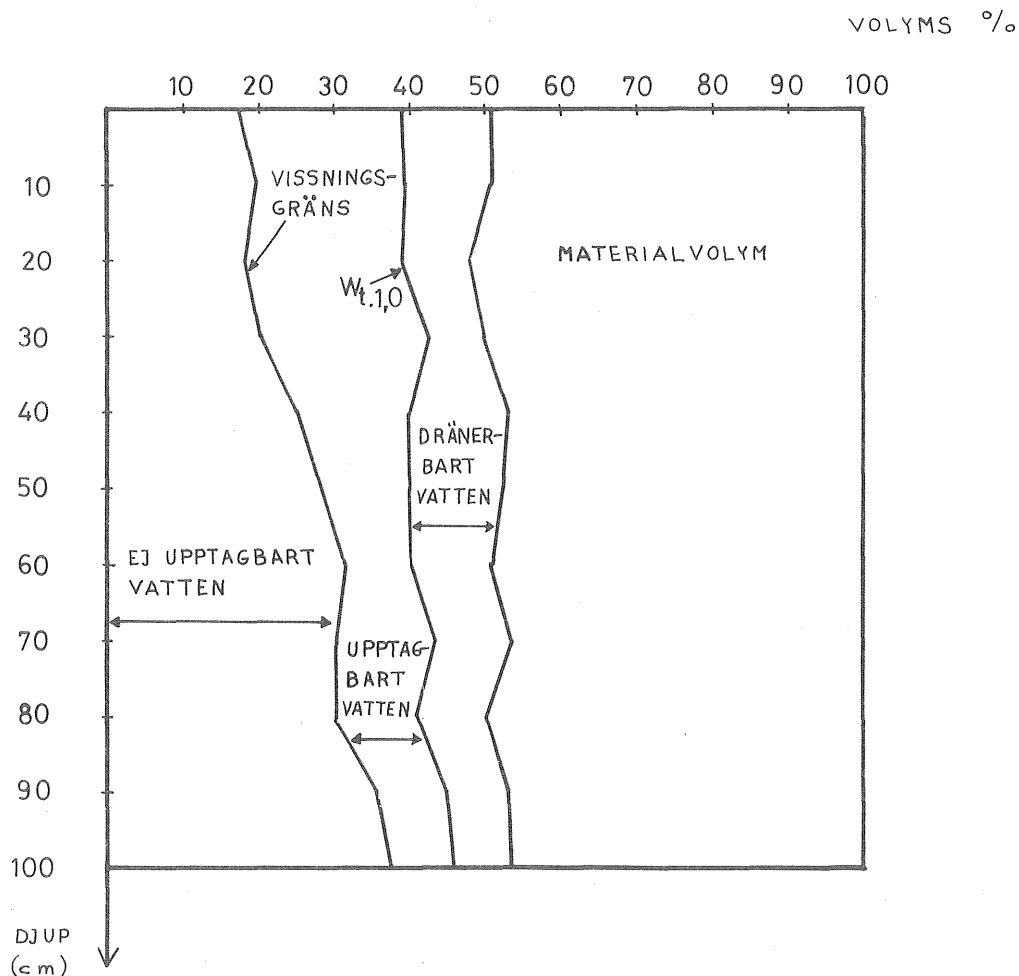
En minskning av porositeten med 8% kan verka obetydlig, men om vi utgår från en porositet på 44% så motsvarar denna en volymvikt av $1,5 \text{ g/cm}^3$. Reduceras sedan porositeten till 36% motsvarar detta emellertid volymvikten $1,7 \text{ g/cm}^3$, vilket närmar sig de värden där växters rottillväxt upphör.

Bli porerna vattenfyllda ökar jordens packningsresistens men å andra sidan kommer jorden att ha låg styrka och bärrighet och kan därför lätt omlagras och ältas, vilket är

minst lika skadligt för jordstrukturen som skadlig packning.

4.1.2.1 Porvolym

Porvolym och materialvolym kan redovisas i ett vattenhushållningsdiagram. På den vertikala skalan avsätts djup och på den horisontella skalan volymsprocent, se även 8.3.3.



Figur 11. Vattenhushållningsdiagram.

Med utgångspunkt från porstorleken kan provolympen delas i tre delar: grovporer, medelgrova porer och finporer.

Vid dränering till 1 m töms de grova porerna på vatten. Fältet mellan $w_{t,1,0}$ och materialkurvan anger mängden dränerbart vatten.

De medelgrova porerna håller vattnet så lagom hårt bundet att växterna förmår utnyttja det. Fältet mellan vissningsgränsen och $w_{t,1.0}$ visar mängden medelgrova porer (= det växttillgängliga vattnet).

I finporerna är vattnet så hårt bundet att det inte är åtkomligt för växterna. Fältet mellan den lodräta vänstra axeln och vissningsgränsen representerar mängden finporer (= icke upptagbart vatten).

4.1.2.2 Porvolym och komprimering

Vid komprimering av jord p g a till exempel tunga arbetsmaskiner är det främst det grova porsystemet som påverkas (Eriksson, 1975). Att även lek och bollspel kan medföra en avsevärd komprimering inser man då en stillastående fotbollsspelare som står stilla genom nabbarna på fotbollsskorna utövar ett tryck på marken som är ca 3 gånger trycket från en vanlig traktor (Jenssen, 1978).

Resultatet av komprimering är att den hydrauliska konduktiviteten minskar på grund av att porvolymen minskar.

4.1.2.3 Porvolym och hydraulisk konduktivitet (permeabilitet)

Det är volymen grovporer som tillsammans med sprickor, rotkanaler, maskhål o dyl huvudsakligen bestämmer infiltrationskapacitet och hydraulisk konduktivitet i en jord. Dessutom inverkar vattnets viskositet m m.

Grovporsvolymen beror på jordens kornfördelning (-aggregering), humushalt och packningsförhållande.

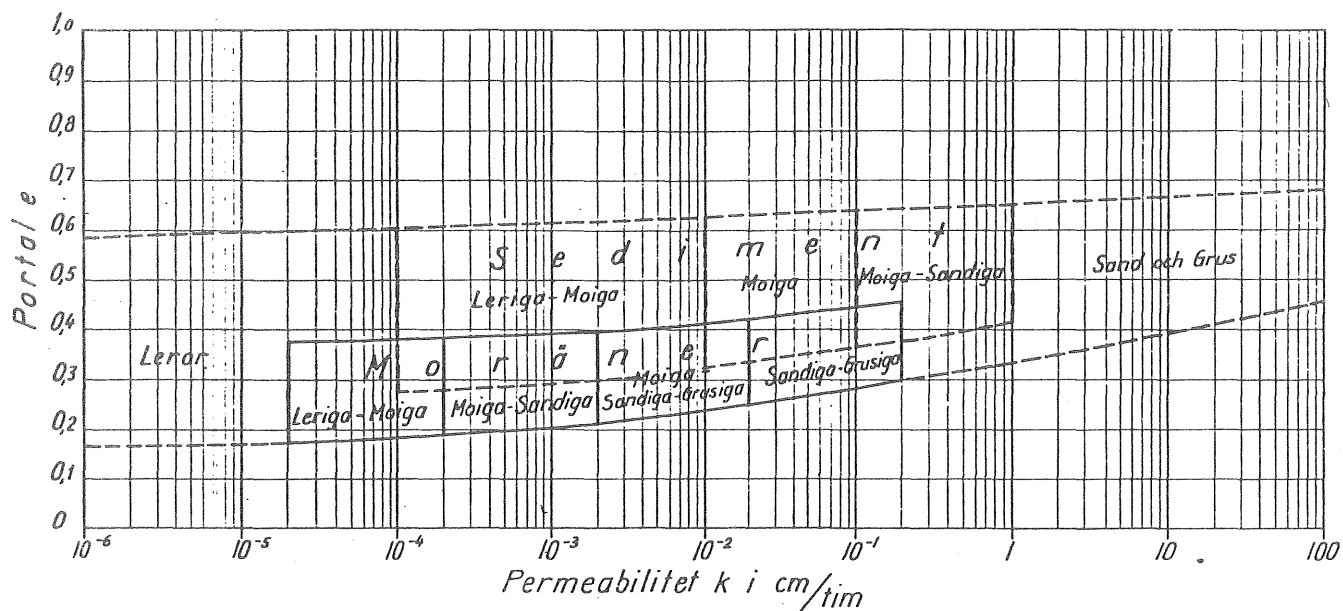
Även mängden rotkanaler och maskhål beror på jordens packningsförhållande då en ökad packning innebär ökat mekaniskt motstånd för rötterna och maskarna.

Eftersom såväl kornfördelningen som packningsgraden och normaltrycket inverkar på porositeten och därmed även på volym-

vikten, är det uppenbart att denna är av väsentlig betydelse för permeabiliteten. Vid jämförande undersökningar av olika jordmaterial brukar man i stället för volymvikten vanligen utgå ifrån portalet, som anger förhållandet mellan porvolymen och det fasta materialets volym. Mellan portalet e och torra volymvikten gäller följande samband

$$e = \frac{s}{\gamma} - 1$$

där s = materialets specifika vikt



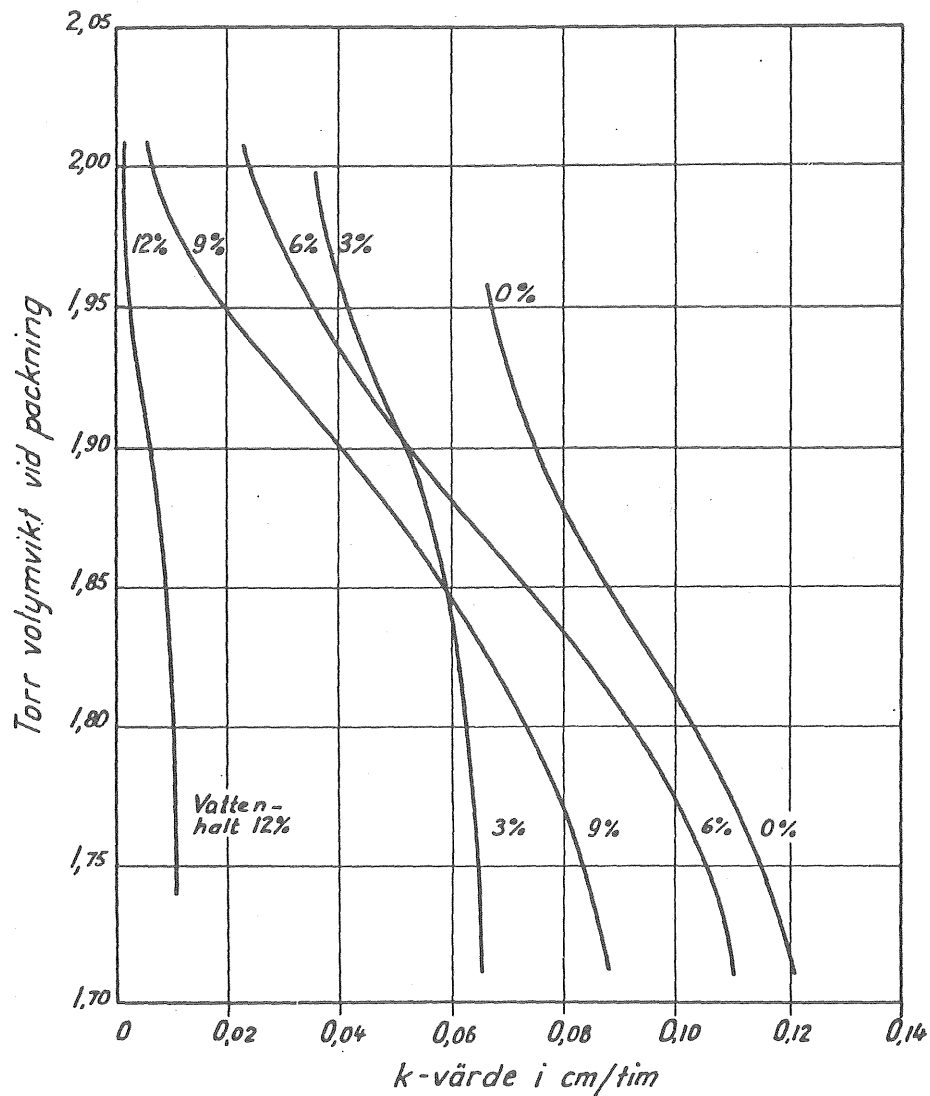
Figur 12. Samband mellan portal och permeabilitet för olika jordarter (Statens Vattenfallsverk, 1958).

Resultaten grundar sig på 2.000 bestämningar av hydraulisk konduktivitet (k) utförda vid Vattenfalls byggtekniska laboratorium.

Ju finkornigare jordarten är, desto större är k -värdets variationsområde.

Packningen och vattenhaltens inverkan på permeabiliteten för ett och samma jordmaterial framgår av figur 13, som visar resultaten från laboratorieundersökningar, gjorda på moig morän. Om packningen utföres vid lägre vattenhalt, blir permeabiliteten starkt beroende av den uppnådda volymvikten. Om ett jordmaterial packas vid hög vattenhalt nära flytgränsen, blir permeabiliteten praktiskt taget oberoende av volymvikten.

De i figur 13 visade permeabilitetskurvorna är mer eller mindre karakteristiska för samtliga moräner.



Figur 13. Permeabilitetens beroende av volymvikt och vattenhalt hos packat jordmaterial. Moig morän från Borga (Statens Vattenfallsverk, 1958).

4.1.2.4 Vattenhaltens inverkan på packning av jordmaterial (i huvudsak förkortat efter Statens Vattenfallsverk, 1958).

Packning av jordmaterial kan åstadkommas genom att man utsätter materialet för tryck eller vibrationer eller genom en kombination av bägge dessa förfaringssätt. Oberoende av vilket packningsförfarande som kommer till användning, måste vattenhalten vid packningen anpassas med hänsyn till materialets arbetbarhet och stor uppmärksamhet ägnas åt de föränd-

ringar i jordarternas fysikaliska egenskaper, som inträder vid olika vattenhalter.

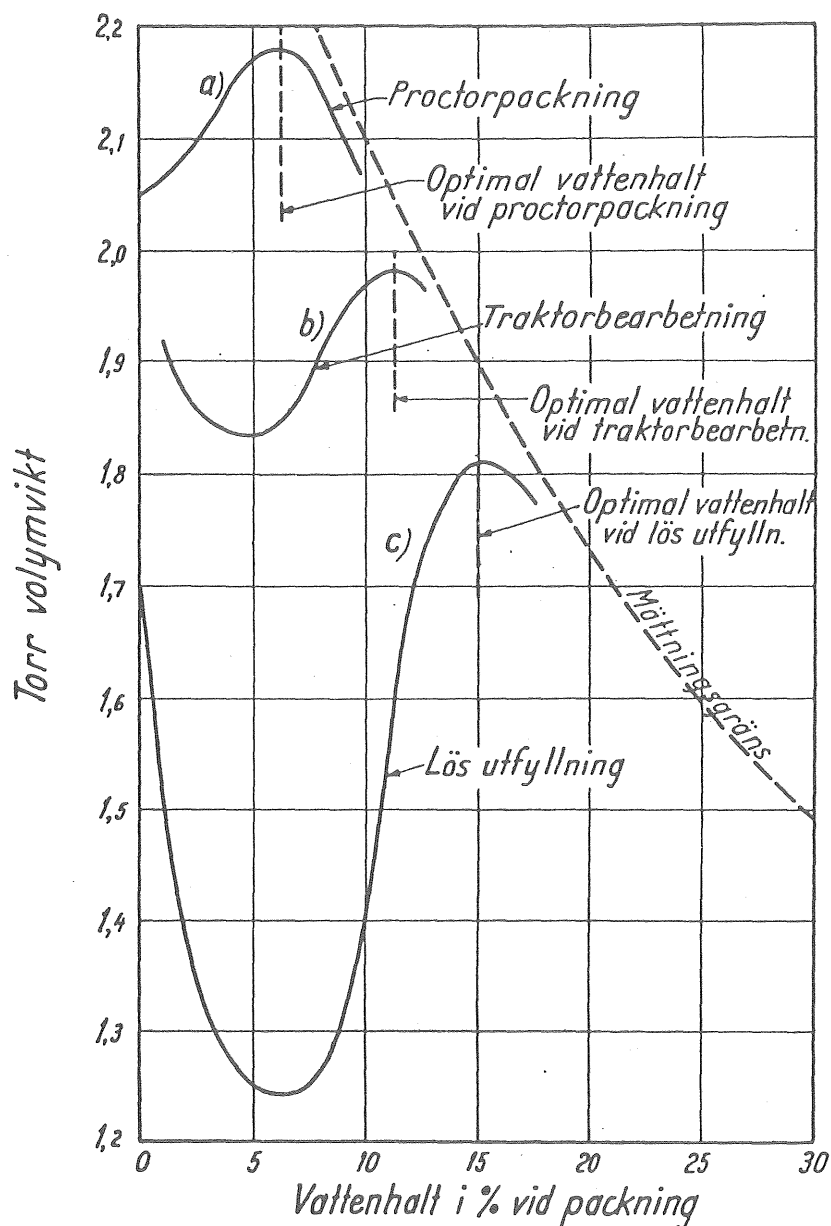
Den totala hålrumsvolymen, som är fylld av vatten och luft, benämnes porvolymen. Bestämmer porvolymen i procent av totala volymen, fås porositeten. Porositeten hos naturligt lagrade jordarter varierar med kornformen, kornfördelningen och sedimentationsförloppet.

Vattenhaltens inverkan på ett jordmaterials konsistens och bearbetbarhet kan bedömas med relativt stor säkerhet genom att bestämma materialets plasticitets- och flytgränser.

Inverkan av ett visst packningsarbete på en jordart undersöker genom att bestämma packningskurvan. Vanligen tillgår detta på sådant sätt, att jordmaterialets torra volymvikt bestämmes för samma packningsarbete vid olika vattenhalter, varefter den erhållna volymviktskurvan lägges till grund för bedömandet av packningsförfarandet.

Volymviktskurvan för ett och samma jordmaterial får olika förlopp, beroende på packningsförfarandet. Om ett från början torrt jordmaterial blandas med en mindre mängd vatten, sväller jordmaterialet på grund av att de enskilda kornen omges med ett vattenhölje. Samtidigt härmed uppkommer även kapillärkrafter, vilka sammanhåller partiklarna så att dessa få svårare att omplaceras sig. Vid ingen eller obetydlig packning minskar därför volymvikten vid ökad vattenhalt enligt kurvan c i figur 14. Det lägsta värdet för volymvikten inträffar vid en viss bestämd vattenhalt. Vid ytterligare ökning av vattenhalten ökar volymvikten och uppnår ett maximivärde vid den optimala vattenhalten. Observera att denna optimala vattenhalt är optimal för att erhålla hög volymvikt och låg permeabilitet. För dagvatteninfiltration på grönytor är den inte optimal utan tvärtom särskilt ogynnsam.

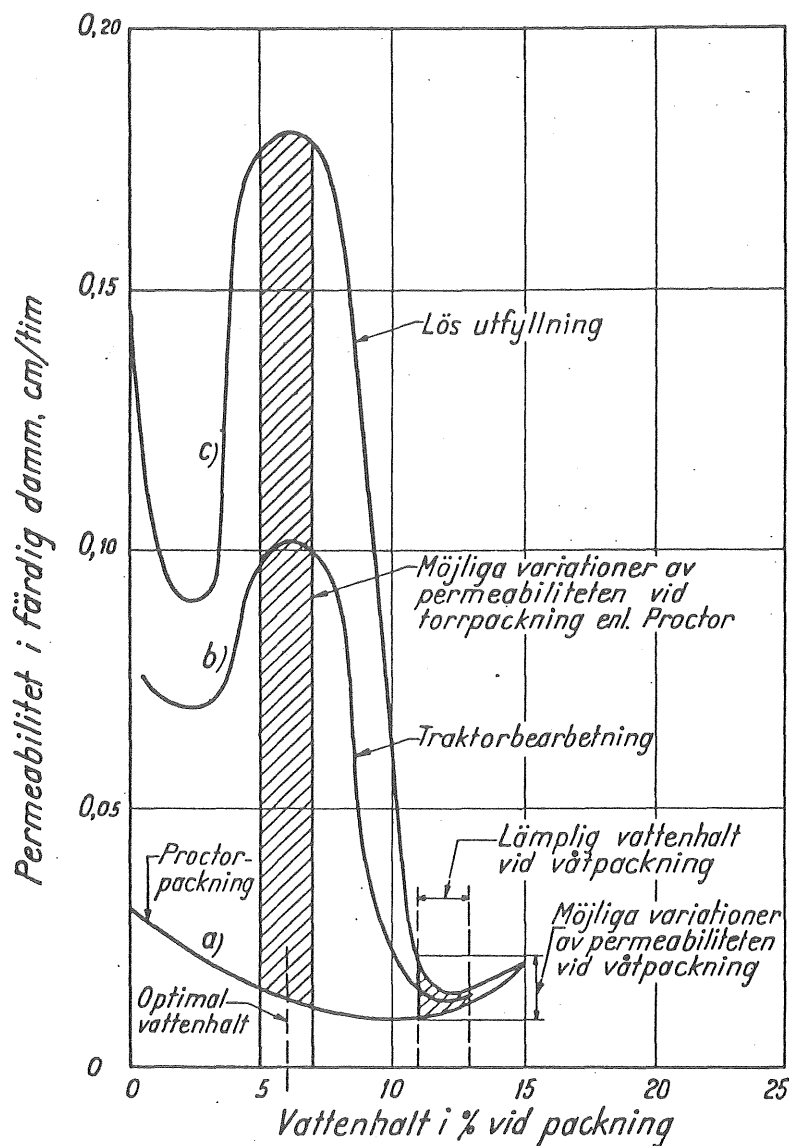
Vid hårdare packning får volymviktskurvan ett motsatt förlopp, såsom framgår av kurvan a i figur 14. Volymvikten ökar till en början med ökad vattenhalt och det maximala



Figur 14. Volymviktskurvor, erhållna vid Proctorpackning, traktorbearbetning och lös utfyllning. Sandig morän från Ligga (Statens Vattenfallsverk, 1958).

värdet uppnås vid en optimal vattenhalt, som bestäms av packningsförfarandet. Vid fortsatt ökning av vattenhalten minskar volymvikten och volymviktskurvan närmar sig alltmer mättningsgränsen. Denna representerar förhållandet mellan torra volymvikten och motsvarande vattenhalt under antagande av helt vattenfyllda porer.

De ovan beskrivna volymviktskurvorna har ett likartat förlopp vid samtliga jordarter. Vattenhaltens inverkan på volymvikten är av grundläggande betydelse för kännedomen om



Figur 15. Permeabilitet hos sandig morän som packats enligt olika metoder: a) Proctorpackning

b) Traktorbearbetning

c) Lös utfyllnad

(Statens Vattenfallsverk, 1958).

jordarternas packningsegenskaper och man har därför ägnat stor uppmärksamhet åt möjligheterna att genom enkla laboriemetoder snabbt kunna utföra erforderliga packningsprov.

4.1.2.5 Olika packningsmetoder (förkortat efter Statens Vattenfallsverk, 1958).

Det praktiska utförandet av olika slag av jordpackningsarbeten har under de senaste årtiondena ingående studerats i

olika länder. De första större undersökningarna gjordes på 1930-talet av amerikanen Proctor, som visade att volymvikten hos en jordart var beroende av packningsarbetet och vattenhalten samt att den maximala volymvikten erhöles vid en för varje jordart karakteristisk vattenhalt, den optimala vattenhalten. Proctor angav även en laboratoriemetod för packning av jordmaterial, vilken sedermera modifierats med hänsyn till de tyngre packningsmaskiner, som kommit i marknaden.

Vid senare undersökningar har man tillämpat Proctors metod att jämföra volymvikterna vid olika packningsförfaranden och vattenhalter. Metoden har fått stor användning men ford-
rar relativt omfattande undersökningar på större provytor, om tillförlitliga resultat skall uppnås.

4.1.2.6 Jordpackning och vegetation

Gång på gång upplever man att en för övrigt utmärkt markbyggnad misslyckas på grund av den skada i form av jordpackning som transportmaskiner och andra maskiner förorsakar under anläggningsarbetet.

Man bör betrakta en jordpackning som skadlig för vegetationen i det ögonblick den förhindrar eller försvårar etablering av önskad vegetation, som hade kunnat uppnås om jorden fortfarande hade varit i naturligt eller ursprungligt lagringsförhållande (efter Pedersen, 1976).

När en rot genomtränger jorden sker det genom att den söker minsta motståndets väg. Den söker sig genom maskhål, gamla rotkanaler, sprickor och dylikt. Blir dessa öppningar för små eller saknas helt måste roten använda kraft för att skjuta jordpartiklarna åt sidan. När roten på detta vis tränger genom jorden kan detta i sig betraktas som en komprimering. Är jorden därför redan från början sammantryckt med en kraft som överstiger vad roten kan prestera upphör rottillväxten.

Den kraft som en rotspets kan utveckla beror till stor del av vattenförsörjning, luftutbytet, temperaturen och närings-

förhållandena i jorden. Skadlig jordpackning nedsätter denna kraft då vatten- och luftutbytesförhållandena påverkas negativt.

Om man önskar undersöka en jords genomtränglighet för rötter är det speciellt två metoder som bör nämnas.

A. Bestämning av torr volymvikt.

Pedersen (1976) refererar till Viehmeyer och Hendrickson (1948) som fann att rottillväxt upphörde i sandjord vid volymvikten 1.9 g/cm^3 . I flera fall upphörde rottillväxten redan vid volymvikten $1.7\text{--}1.8 \text{ g/cm}^3$. I lerjord upphörde rottillväxten när volymvikten överskred $1.6\text{--}1.7 \text{ g/cm}^3$. Den lägsta volymvikt som inte tillät rottillväxt blev funnen i en fet lerjord och var 1.46 g/cm^3 .

Detta kan jämföras med Pedersen som fann att för att man skulle få en slitstark gräsyta borde volymvikten ej vara högre än 1.6 g/cm^3 och ej lägre än 1.3 g/cm^3 .

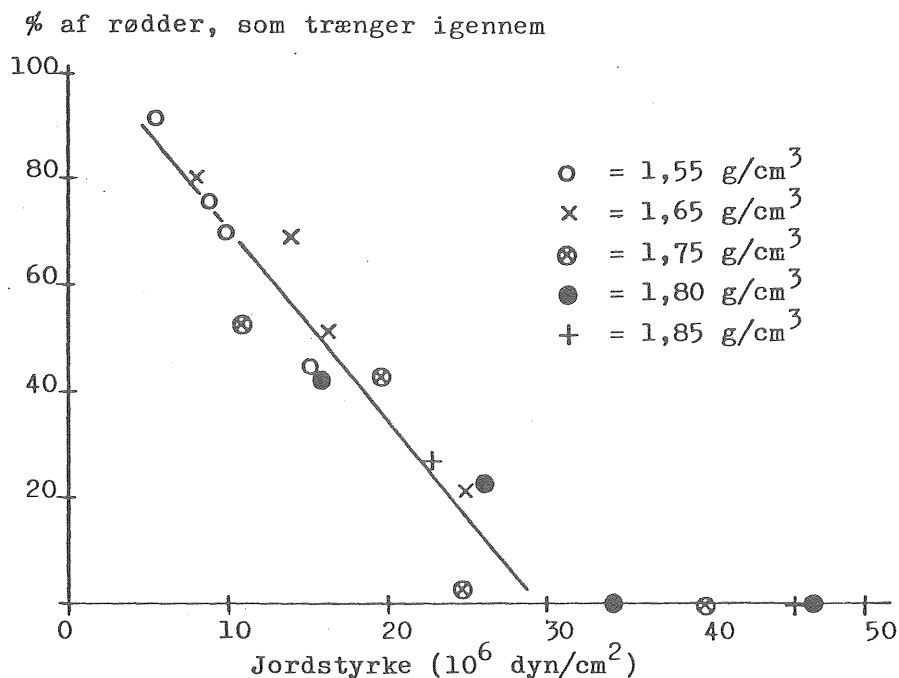
B. Bestämning av jordstyrkan (soil strength).

Till detta används en penetrometer, vilket är en stålsond, som kan vara utförd på olika sätt, men oftast är en kägelformad spets. Genom att mäta den kraft som krävs för att pressa penetrometern genom jorden kan man erhålla ett relativt mått för det motstånd växtrötterna kommer att möta under motsvarande omständigheter.

Däremot kan man ej erhålla det exakta motståndet, som växtrötterna möter, med denna metod. Verkliga rotmotstånd är lägre än penetrometermotstånd.

4.1.2.7 Påverkan av tung trafik på lerjordar

Tunga maskiner kan komprimera jord på över en meters djup. Risken för packning är liten på grovkorniga jordarter men stor på finkorniga (silt och lera). Risken för packning ökar med ökad markfuktighet. Ytskiktet påverkas mest av maskinernas specifika marktryck medan djupare packning beror på totalvikten. Komprimeringen ökar med antalet överfarter.



Figur 16. Rotgenomtrængelighed i "Amarillo" sandig lerjord som funktion av jordstyrken (Pedersen, 1976 efter Taylor och Gardner, 1963).

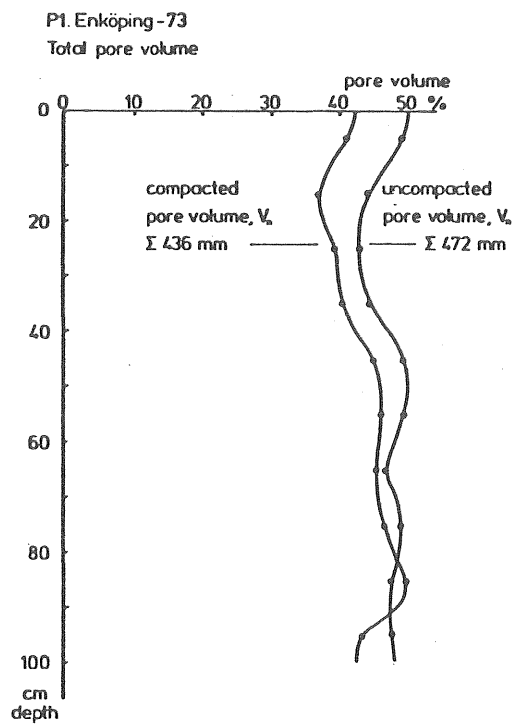
Vid en studie som utförts vid Lanbrukshögskolan och som finns beskriven i Eriksson 1975/76 har utretts inverkan av tung fordonstrafik på lerjordar.

Undersökningen avsåg att analysera inverkan av extremt tung körning på markens dränerings- och odlingsegenskaper.

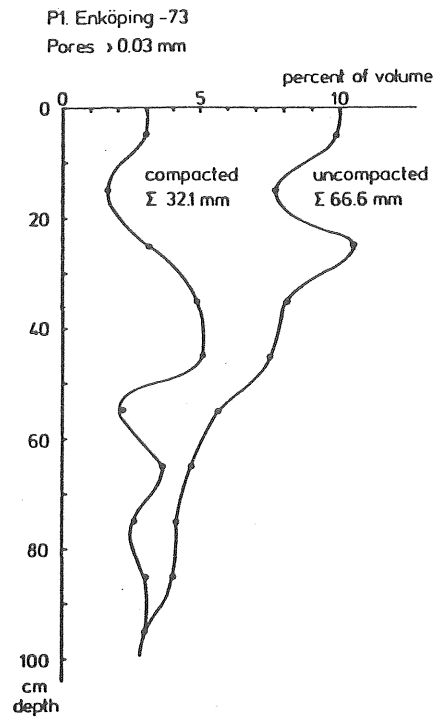
En jämförelse gjordes mellan tryckförhållandena under en 50 tons stridsvagn, en tung och en lätt traktor samt ett boggiehjulställ med 16 tons last. I de ytliga delarna av profilen motsvarar trycktillskotten de tryck som förekommer vid körningar inom jordbruket. I nedre delen av profilen är trycktillskotten väsentligt högre än de i jordbruksdrift.

Vid jämförelse av två jordprofiler, en opåverkad och en påverkad av tung fordonstrafik, är den strukturella skillnaden kraftigt framträdande ner till 40 cm djup.

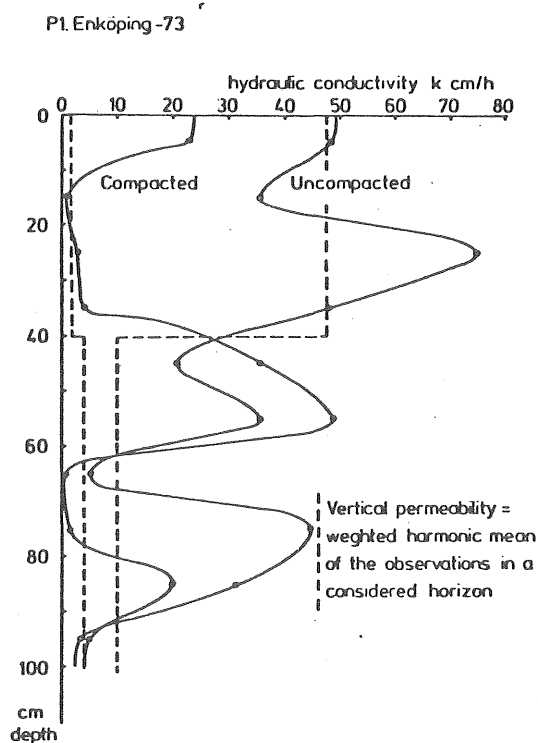
Det tydligaste sambandet mellan trycktillskott och fysikalisk förändring erhålles i det grova porsystemet $>0,03 \text{ mm}$. Där föreligger en klar differens mellan packad och opackad mark till 100 cm.



Figur 17a. Jämförelse av total porositet mellan komprimerad (compacted) och okomprimerad (uncompacted) mark. (Eriksson, 1975/76).



Figur 17b. Jämförelse av porer större än 0,03 mm mellan komprimerad och okomprimerad mark. (Eriksson, 1975/76).



Figur 18. Hydraulisk konduktivitet (k cm/h) till 100 cm djup. Beräknad vertikal permeabilitet 0-40 cm och 40-100 cm (Eriksson, 75/76).

Övriga granskade egenskaper och makrostruktur visar en klar påverkan till 50 cm djup.

Genomsläppligheten har starkt försämrats till 50 cm men är därunder på grund av den rikliga förekomsten av maskhål, som ej destrueras av trycken ifråga, i stort sett oförändrat hög.

Horizon, cm	Vertical permeability, cm/h		Horizontal permeability, cm/h	
	Uncompacted	Compacted	Uncompacted	Compacted
0- 40	48.4		51.8	8.3
40-100	10.2		23.8	18.4
0-100	14.9		35.0	14.6

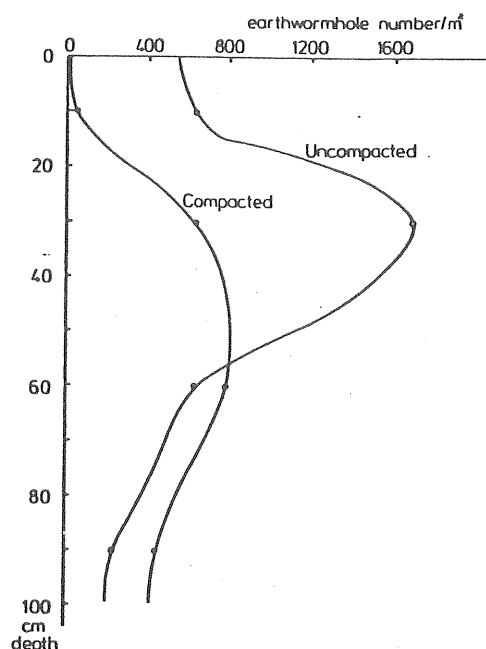
Tabell 6. Vertikal och horisontell hydraulisk konduktivitet (Eriksson, 75/76).

Stora maskhål orsakas huvudsakligen av maskarterna Lumbricum terrestris. Dessa arter tränger djupare ner i profilen än frostfritt djup och uttorkningsgränsen. De mindre hålen här- rör huvudsakligen från Lumbricum rubellus som förekommer i de övre delarna av jorden och uthärdar hetta.

Profile	Level	No. of holes/m ²		Total no./m ²
		<5 mm	>5 mm	
P1 uncompacted	10 cm	80	550	630
	30 cm	80	1 600	1 680
	60 cm	190	430	620
	90 cm	140	90	230
P1 compacted	10 cm	30	-	30
	30 cm	40	600	640
	60 cm	190	600	790
	90 cm	180	190	370

Tabell 7. Antal maskhål/m² ner till 100 cm djup. Jämförelse av komprimerad och okomprimerad jord P1 Enköping (Eriksson, 75/76).

P1. Enköping-73
Frequency of earthworm hole



Figur 19. Maskhål per m^3 till 100 cm djup (Eriksson, 75/76).

4.1.2.8 Åtgärder för att motverka skadlig packning och komprimering vid markbyggnad

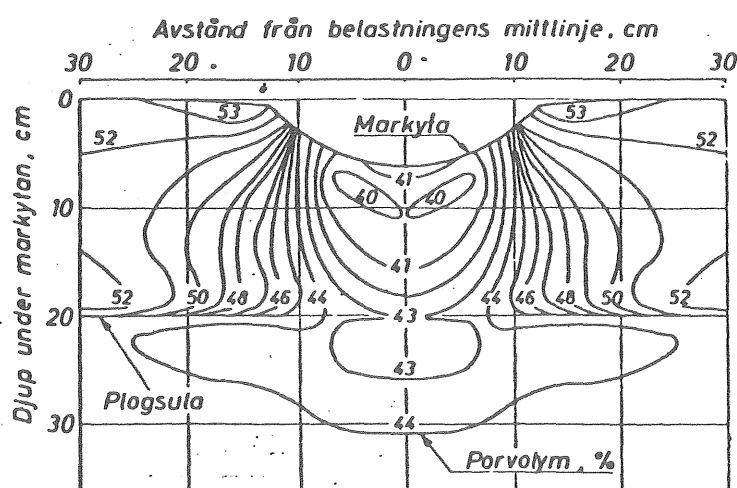
I handboken Planera & Plantera (Andersson et al) lämnas rekommendationer för val av maskintyp, lämplig tid för jordarbeten, planering, genomförande och kontroll av markarbeten samt anvisningar för praktisk bestämning av jordmaterialets fuktighet och genomsläpplighet.

Enligt Andersson, 1979, (efter danska Plant og Plej) ger följande specifika marktryck så liten komprimering, att man kan bortse från packningseffekterna om arbetet utförs på väl upptorkad jord.

matjordsavtagning	max 100 kPa (1 kp/cm ²)
schakt	- "-
fyllning	- "-
grovplantering	- "-
körning på grovplanerad yta	max 75 kPa (0,75 kp/cm ²)
matjordsutläggning	max 50 kPa (0,5 kp/cm ²)
körning på finplanerad yta	- "-
gödsling	- "-
sådd	- "-

På grund av risken för packning av ytskiktet bör jordarbeten göras vid torr väderlek. Små maskiner med låga ringtryck, flerhjulsmontage, breda däck, lågprofil och små totalvikter bör användas. Valet av maskintyp bör i första hand göras med hänsyn till totalvikt och i andra hand till specifikt marktryck.

Packning av alven, som sker vid körning med tunga fordon, medför en försämring av dräneringskapaciteten och av möjligheterna för växterna att utvecklas i djupled.



Figur 20. Porvolym i mark under hjulspår. Resultat från laboratorieundersökningar visar att den mest packade zonen oftast uppstår något under markytan (Danfors, 1979).

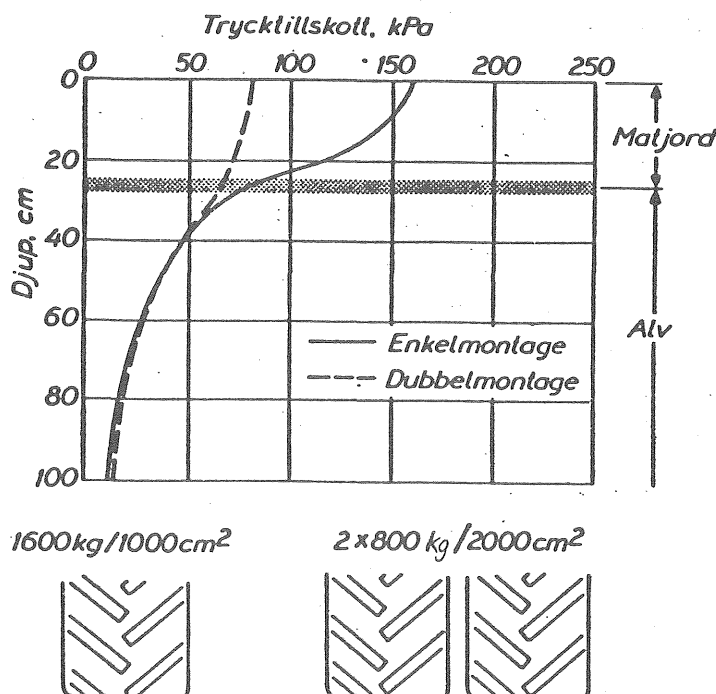
Om körningen varit intensiv, är alven vanligen så kraftigt packad att en alvluckring kan antas ge ett positivt resultat. En förutsättning för ett bra resultat är emellertid att markprofilen är uttorkad så att man verkligen får en sprickbildning i marken och inte bara en plastisk deformation.

Om underlaget för matjorden är tillpackat, hindras rötterna från att söka sig ner i alven för att utnyttja det vattenförråd som finns där. Då vattnet i matjorden är förbrukat kommer växterna sålunda att lida av torka trots att en stor del av det för växterna normalt tillgängliga vattenförrådet i alven är oförbrukat.

Vid snösmältning och kraftiga regn blir det överskott på vatten i matjorden och då uppstår syrebrist eftersom vattnet inte har möjlighet att sjunka ner tillräckligt snabbt i alven.

Att observera är att jordbearbetning, matjordsavtagning och jordförflyttning endast skall utföras när jorden har en lämpligt låg vattenhalt. Vattenhalten är den viktigaste faktorn när det gäller jordars packningskänslighet. Därefter kommer jordarten.

Skall man undgå skadlig jordpackning är det viktigt att planlägga förflyttning och bearbetning av jorden. Till stöd för denna planläggning bör man ha kornstorleksdiagram för att kunna bedöma graderingen. Därefter är det viktigt att känna till jordens hydrauliska konduktivitet samt grundvattenstånd för att kunna bedöma hur snabbt ett överskott av markvatten kan ledas bort, för att därigenom kunna förutsäga hur snabbt ett jordförflyttningsarbete kan igångsättas t ex efter ett kraftigare regn. Till slut är det även önskvärt att ha tillgång till ett packningsdiagram, se figur 10.



Figur 21. Effekterna av enkel och dubbelmontage. På djupet kan skadan bli lika stor, men skillnaden är avsevärd på matjordslagret (Danfors, 1979).

Lagring av jord bör om möjligt begränsas i höjddled. Man bör inte köra med lastmaskiner eller bilar uppe på eller i depån för att på detta vis öka lagringshöjden.

Om det finns möjligheter att köra ut, planera och bearbeta matjorden med maskiner och fordon, vilkas marktryck inte överstiger 100 kPa ($1,0 \text{ kp/cm}^2$) är det viktigt att dessa utnyttjas till 100 procent.

4.1.3 Tjälning

4.1.3.1 Fysikaliska förändringar vid tjälning

När en jordart som innehåller vatten fryser, så förändras de fysikaliska förhållandena markant. Jordmaterialiets elektriska och hydrauliska konduktivitet minskar betydligt, värmekonduktiviteten ökar och värmekapaciviteten minskar, viskositeten för vatten i flytande fas ökar och halten av lösta ämnen ökar vanligen genom fraktionering vid isbildning.

När det i jordmaterialet inneslutna vattnet ändrar aggregationstillstånd, frigörs vid frysning värme som återigen binds, när isen smälter.

När vatten övergår till is, frigörs isbildningsvärmets och fördröjer frostens nedträngande i marken. Vid uppvärmning av markytan binds värme, när isen smälter. Härigenom fördröjs varmfrontens nedträngande i marken.

För frostens nedträngande i markytan är endast årsvariationen av betydelse. Kortvariga extrema köldperioder har ringa inverkan. I en och samma jordart gör sig årsvariationen gällande på ett djup som är 19 gånger större än motsvarande djup för dygnsvariationen.

4.1.3.2 Olika typer av tjäle

Rena isskikt eller partier av ren is kan enligt Beskow (1935) vara av följande slag:

- isskikt på markytan
- isbildning i hålrum
- isbildning kring inneslutna föremål
- isskikt uppkomna inne i den homogena jorden.

En praktisk indelning kan göras i:

- isskikt bildade på jordytan (pipkrage)
- isskikt bildade inne i jorden (israndig tjäle eller diskontinuerlig tjäle)

Pipkrage

Pipkrage förekommer både i massiv och porös form. Pipkrage kan förekomma på alla mineraljordar från sand till lera. För att pipkrage skall uppkomma måste jorden ha stor vattenledningsförmåga. Is i form av pipkrage kan förekomma i flera horisontella skikt. Från den rena ytisen sker en successiv övergång till israndig tjäle.

Diskontinuerligt frusen jord

Den israndiga tjälens struktur är ytterst varierande beroende främst på jordartens sammansättning (spec kornstorleken) men även på strukturförhållandena, vattenförhållandena, tjälhastighet, belastning m m. Isbildningen uppstår främst i befintliga diskontinuiteter. Detta medför att det översta marklagret fryser till en mycket oregelbunden starkt porös tjäle. I homogen jord är de finkornigare jordarterna genomdragna av parallella skikt av ren is. Skiktens grovlek och struktur är i hög grad beroende av jordartens finhetsgrad. Leror har tunna glest liggande, sammanhängande isskikt. Ju lättare (grövre) jordarten är desto finmaskigare blir isskikten för att i en finmo mestadels bestå av mycket tunna (några tiondels mm) korta (cm-långa) separerade isskikt på ett par mm:s avstånd från varandra. Grövre isskikt kan bildas under perioder när tjälningen på en nivå stått relativt still.

I skiktade jordarter blir ofta skiktplanen ledplan för iskristallisationen.

4.1.3.3 Vattentransport

Vattentransport i tjälad mark orsakas av potentialskillnader, som utbildas av vatten tillsammans med is vid temperaturer under 0°C . Potentialskillnaden kan beskrivas på olika sätt, t ex som undertryck, portryck, fri energi, kemisk potential m m.

Mycket arbete har lagts ned för att klarlägga mekanismen för vattentransporten i tjälad mark. Orsaken till vattentransporten, "Den drivande kraften", har uttryckts som:

- minskat vätsketryck vid isfronten
- en vätsketrycksgradient i den frusna zonen
- spontan porfyllning i den frusna zonen
- en gradient i istryck.

För att vattenrörelse skall äga rum i ett material måste en gradient finnas utbildad samtidigt som materialet är permeabelt. Vid isbildning rör sig vattnet med det frysan-
ande lagret.

Rörelsen kan beskrivas av ekvationen

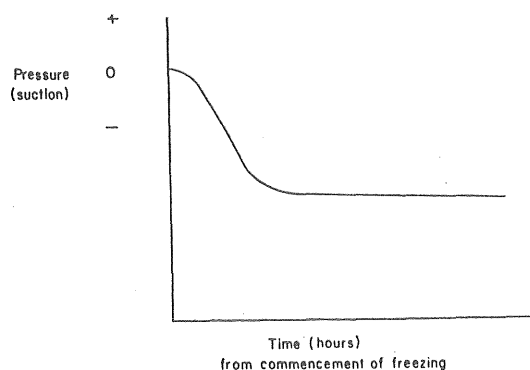
$$q = K\Delta\phi$$

där $\Delta\phi$ = potentialgradient eller potentialskillnad
per längdenhet

K = hydraulisk konduktivitet

De potentialskillnader som utbildas vid frysning är svåra att mäta. Flera författare har med olika tekniker mätt upp undertrycket i närheten av tjälgränsen (Beskow, 1935, Ruckli, 1950, Penner, 1957 och 1958, Williams, 1967). De uppmätta värdena visar dock ej god överensstämmelse.

Figur 22 visar uppmätta porvattentryck i ofrusen jord nära tjälgränsen (Williams, 1977).



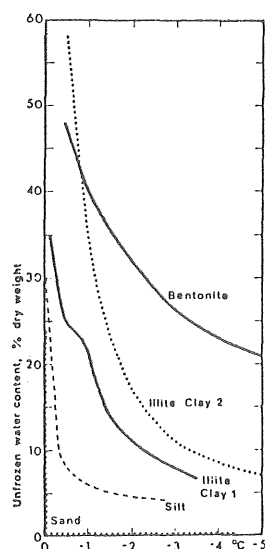
Figur 22. Porvattentryck uppmätt i en ofrusen jordart nära tjälgränsen.
(Williams, 1977)

4.1.3.4 Ofruset vatten i tjälad mark

I en kapillärmättad jord fryser först en viss vattenmängd vid nästan konstant, endast långsamt sjunkande temperatur. Ju mer vatten som är fruset, desto lägre är frystemperaturen och blir för den sista vattenresten mycket låg. Frystemperaturen är vidare för varje vattenhalt lägre ju fin-kornigare jordarten är. Orsaken till fryspunkt-nedsättningen är adsorptionskraften. Det minst bundna vattnet är det vatten som förekommer mitt i porerna, varvid det också fryser först.

Beroende på stora adsorptionsspänningar även i en leras grövre porer kan vattnet i lerans porer inte börja frysa förrän betydligt under 0°C . Diskontinuiteter i leran gör att fryspunktnedsättningen i dessa är avsevärt lägre än i leran för övrigt. Iskristallisationen börjar därför på dessa ställen och vidgas åt sidorna. Ju grövre jordarten är desto mindre blir skillnaden mellan diskontinuiteterna och de normala porerna och i en tillräckligt grov jordart är det ingen skillnad i fryspunktnedsättning mellan porer och eventuella diskontinuiteter. Iskristallisationer sker därför lika lätt på dessa båda ställen.

Frusna jordar innehåller således vatten tillsammans med is. Figur 23 visar vatteninnehållet i frusna jordarter som funktion av temperaturen.



Figur 23. Vatteninnehåll för frusna jordarter som funktion av temperaturen. (Williams, 1977).

Det ofrusna vatteninnehållet för en given jordart är oberoende av det inledande vatteninnehållet när tjälning inträffar. Konsekvensen blir att det ofrusna vatteninnehållet kan uttryckas som en funktion av temperaturen.

Sambandet mellan ofruset vatteninnehåll och temperatur för olika jordarter beror på jordpartiklarnas specifika yta, i princip kornstorleksfördelningen.

$$W_u = \alpha (T_o - T)^\beta$$

där W_u = ofruset vatteninnehåll
 T_o = normala frystemperatur för rent vatten
 T = den aktuella frystemperaturen

α och β representerar empiriska funktioner för jordartens specifika yta.

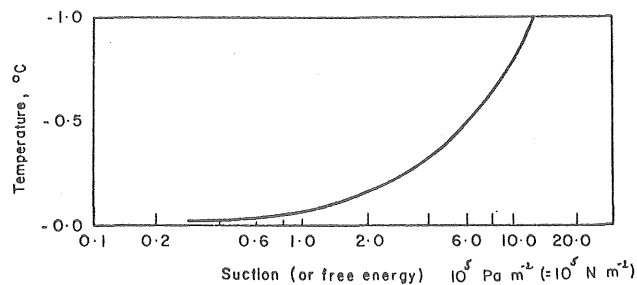
Koopmans och Miller (1966), Williams (1967) har visat ett tydligt samband mellan ofruset vatteninnehåll och undertrycket i en delvis frusen jordart jämfört med samma vatteninnehåll i en ofrusen jordart.

Undertrycket i en omättad jordart definieras som skillnaden i tryck mellan luften som omger jorden och porvattnet

$(P_{\text{luft}} - P_{\text{vatten}})$. Oberoende av om porutrymmet är fyllt med luft (ej tjälad) eller is (tjälad) så är vattnets fria energi lika (undertrycket lika). I en tjälad jordart så ändras undertrycket gradvis allt eftersom vattenmängden reduceras genom isbildning.

Det är ändringen av undertryck vid isbildning som förklarar varför vatten kan förekomma tillsammans med is vid låga temperaturer (0°C).

Figur 24 visar undertrycket som funktion av temperaturen.



Figur 24. Undertrycket som funktion av temperaturen i frusna jordarter (Williams, 1977).

4.1.3.5 Hydraulisk konduktivitet i frusen mark

Den hydrauliska konduktiviteten för en delvis tjälad jordart relateras till energitillståndet för jord-vatten-is-systemet på samma sätt som den hydrauliska konduktiviteten i en omättad jordart relateras till tryckförhållanden i jord-vatten-systemet.

Tryckförhållandena i tjälad mark beror huvudsakligen på temperaturen medan tryckförhållandena i en ej tjälad jordart relateras till vatteninnehållet. Därav kan man antaga att den hydrauliska konduktiviteten skall relateras till det ofrusna vatteninnehållet på samma sätt som den hydrauliska konduktiviteten i en omättad jordart relateras till vatteninnehållet.

Observationer utförda på jord-vatten-issystemets uppträdande visar att vatten i vätskefas finns utbildat som tunna filmer adsorberade på mineralpartiklarna även vid tempera-

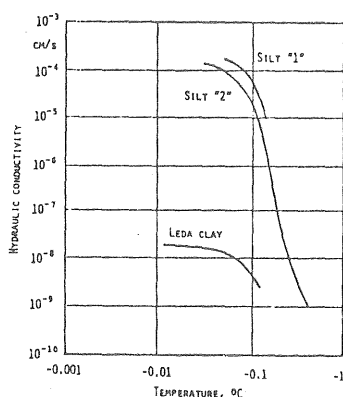
turer under 0°C . Tjockleken på vattenfilmen är en funktion av temperaturen och är, förutom i mycket torra jordar, nästan oberoende av det totala vatteninnehållet (vatten plus is). Om den ofrusna vattenfilmen bibehålles intakt, så är vatten"flödet" beroende av temperaturfördelningen och den tillgängliga tvärsnittsytan för vattenfilmen. Eftersom tjockleken på den ofrusna vattenfilmen minskar med minskande temperatur, så minskar även den tillgängliga tvärsnittsytan och därmed även den hydrauliska konduktiviteten. Om diskontinuiteter förekommer t ex islinser så minskas flödet ytterligare.

När temperaturen vid markytan ökar, så kommer delvis värme underifrån att smälta basen av det frusna lagret som då blir en "källa" för vattenredistribution genom den ofrusna delen av ett medium.

Vid temperaturer nära 0°C så kan graden av fukttransport i frusen och ofrusen omättad jord vara i samma storleksordning för samma jordart.

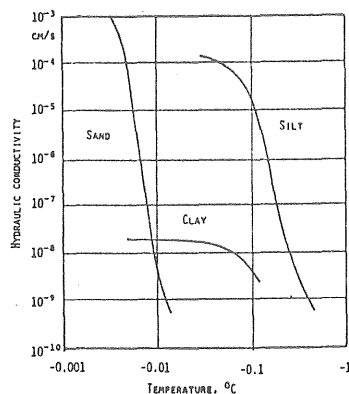
Ett fruset lager har således en starkt hämmande effekt på vattentransporten men skall inte betraktas som ett impermeabelt skikt. Närvaron av ett ytligt avgränsande lager av is minskar vattengenomsläppligheten ytterligare.

Uppmätningar av den hydrauliska konduktiviteten i tjälade jordarter har gjorts av Keune, Hoekstra, (1967), se figur 25.



Figur 25. Hydraulisk konduktivitet som funktion av temperaturen i delvis frusna jordarter (Johansen, 1977 efter Keune, Hoekstra, 1967).

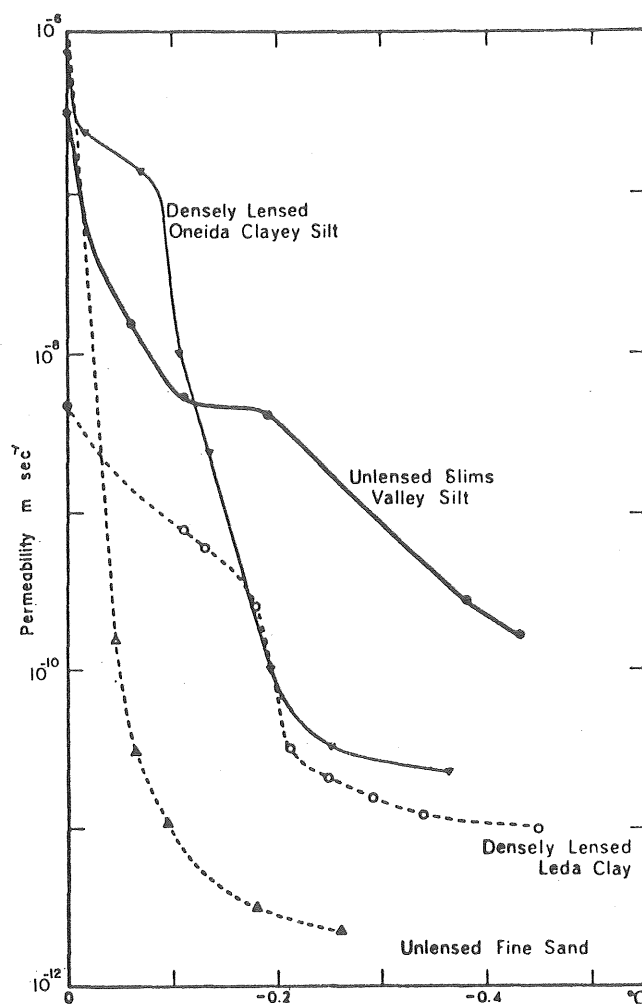
Den hydrauliska konduktiviteten för en tjälad grovkornig jordart är större än för en finkornig vid temperaturer nära 0°C . Vid temperaturer under 0°C så minskar dock den hydrauliska konduktiviteten snabbare för den grovkornigare jordarten beroende på den snabba minskningen i ofruset vatteninnehåll, se figur 26.



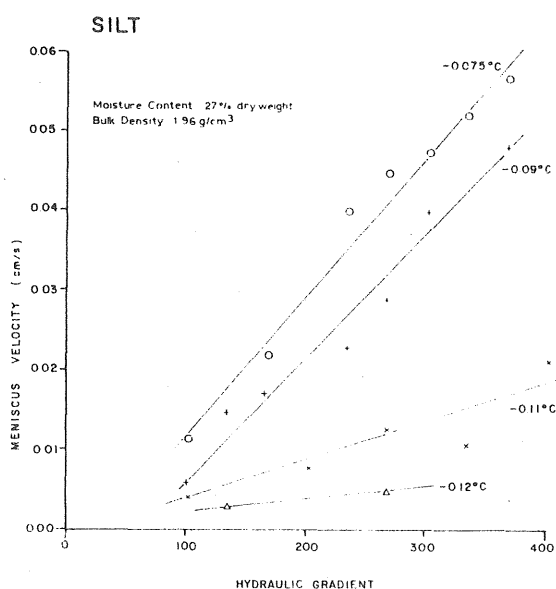
Figur 26. Figuren visar att den hydrauliska konduktiviteten minskar snabbare för grovkornigare jordarter beroende på den snabba minskningen i ofruset vatteninnehåll för dessa jordarter (Johansen, 1977).

Mätningar på den hydrauliska konduktiviteten som funktion av temperaturen har gjorts på olika typer av material. Figur 27 visar permeabiliteten för frusna jordarter som funktion av temperatur (Williams 1977). Figur 28 visar en observationsserie för en vattenmättad silt (vattenhalt 27% torrsvikt), som utbildar små islinser vid frysning. Flödet visas som en funktion av den hydrauliska gradienten. Av figuren framgår, att flödet i princip ökar linjärt med gradienten. Flödet är också högre vid högre provtemperatur. Figur 29 visar den hydrauliska konduktiviteten för en annan silt som funktion av temperaturen. De komplexa termodynamiska förhållandena i frusna jordarter gör dock tolkningen av permeabiliteten svår.

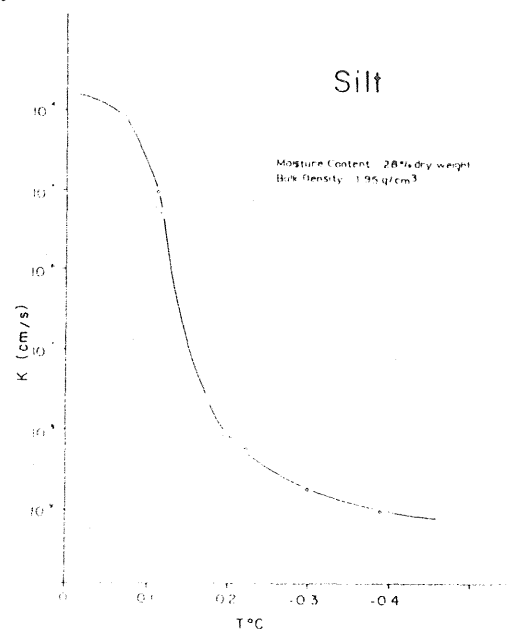
Försöken visar dock klart, att vattentransport genom jordarten förekommer speciellt vid temperaturer på -1 – 2°C . Vanliga observerade permeabilitetsvärden är 10^{-11} till 10^{-12} m/s med högre värden när temperaturen är några tiodels grader under 0°C . Flödes hastigheter på upp till $0.6 \cdot 10^{-6}$ m/s har uppmätts i frusna jordarter.



Figur 27. Hydraulisk konduktivitet som funktion av temperatur i frusna jordarter. (Williams, 1977).



Figur 28. Vattenflöde genom en frusen silt som funktion av den hydrauliska gradienten (Williams, Burt, 1974).



Figur 29. Hydraulisk konduktivitet för en silt som funktion av temperaturen (Williams, Burt, 1974).

Miller (1970) har visat, att förekomsten av ett horisontellt isskikt ej minskar permeabiliteten i någon större utsträckning.

Williams (1977) beräknade vattenmigration i tjälade jordarter med utgångspunkt från temperaturgradienter.

Om en frusen jordart har en linjär temperaturgradient så uppkommer en vattentransport q i gradientens riktning.

Om temperaturgradienten är $0.5^{\circ}\text{C}/\text{m}$ så blir den potentiella gradienten lika med skillnaden i undertryck över 0.5°C (se figur 24). Denna skillnad blir $6 \cdot 10^5$ Pa eller 60 m vp. Kantas vara 10^{-11} m/s .

$$q = K \cdot i \cdot A$$

$$q = 10^{-11} \cdot 60 \cdot 1 \quad A = 1 \text{ m}$$

$$q = 60 \cdot 10^{-11} \text{ m/s} = 0,05 \text{ l/dygn genom tvärsnittet } 1 \text{ m}$$

4.1.3.6 Köldmängd och tjäldjup

Genom att utnyttja de noggranna temperaturmätningar som finns tillgängliga kan köldmängden F (freezing index) beräknas.

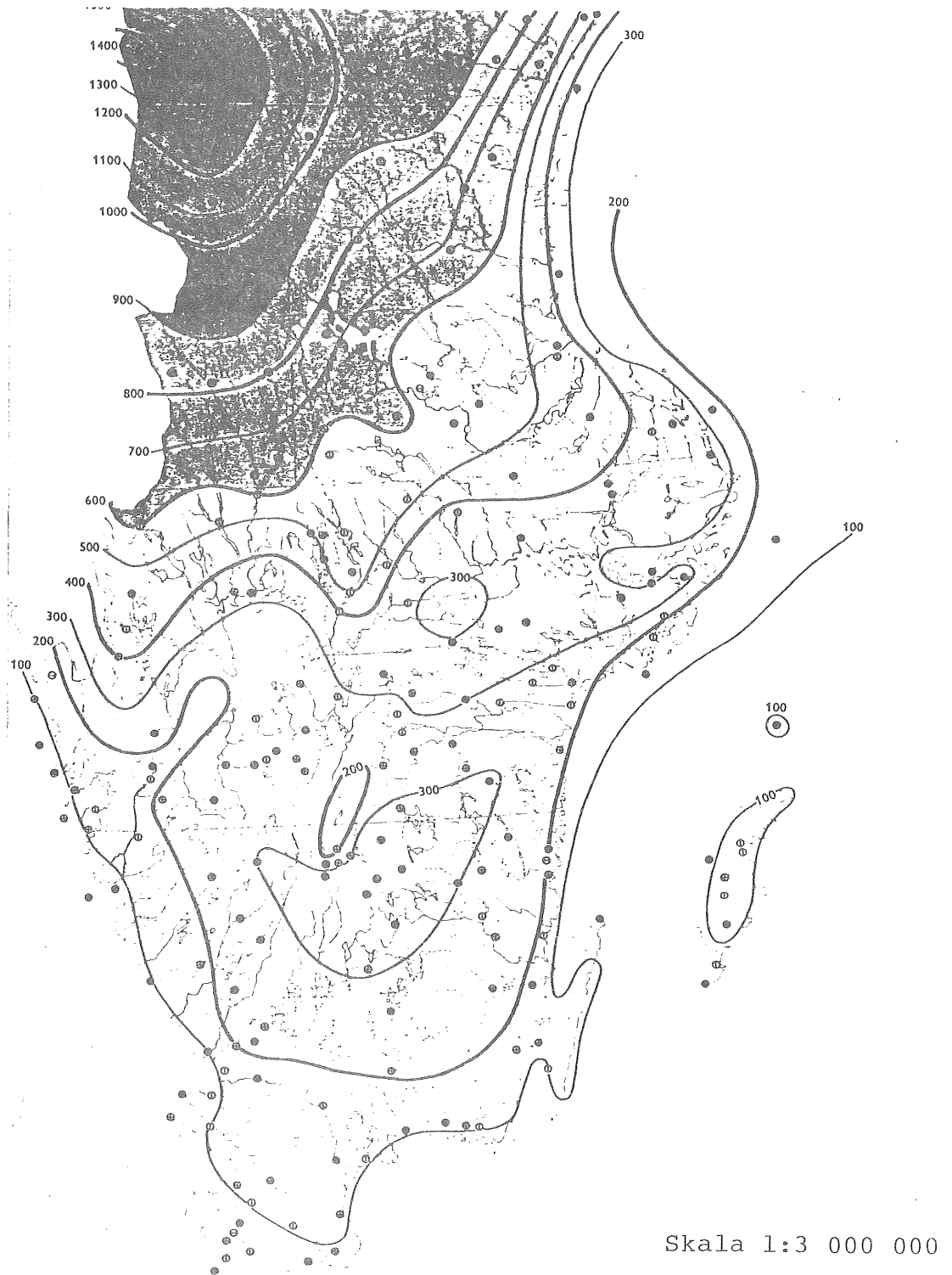
$$F = \int [v_{\text{neg}}] dt$$

$$F = \text{absoluta beloppet } [v]_{\text{neg}} dt$$

$$v = \text{summan av de numeriska värdena av de negativa dygns- eller månadsmedeltemperaturerna under vintern}$$

Integrationen utsträcks över den tid då markens yttemperatur ligger under fryspunkten. Köldmängden uppvisar stora variationer från det ena året till det andra.

De meteorologiska data som används vid beräkningen avser alltid lufttemperaturen och torde därför inte alltid ge korrekt information om markytans temperatur. Markytans temperatur kan vara både högre och lägre än lufttemperaturen beroende på t ex absorption av solstrålning, ett täckande snölager, kal markyta m m.



Figur 30. Karta utvisande medelköldmängd i södra Sverige. Köldmängden uttryckt som summan av de negativa månadsmedeltemperaturer som förekommit under vintern, multiplicerat med faktorn 30, (Fellenius, Rengmark, 1959).

Fellenius, Rengmark (1959) definierade köldmängden under en viss vinter som summan av de numeriska värdena av månadsmedeltemperaturen, som förekommit under ifrågavarande vinter, multiplicerad med faktorn 30.

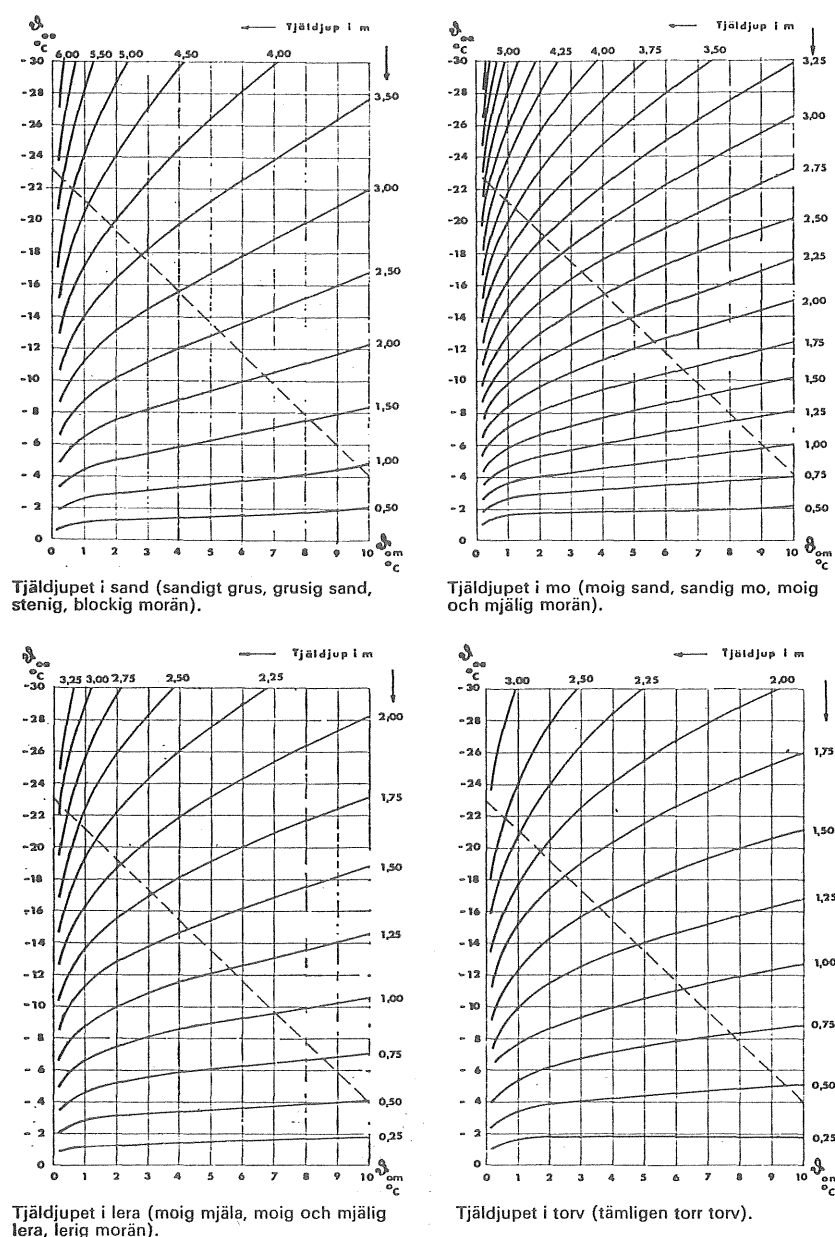
Figur 30 visar en karta över medelköldmängd och återspeglar givetvis i första hand den betydande skillnad i fråga om vintertemperaturer mellan södra och norra Sverige samt mellan kust och inland. Större sjöar framträder som områden med relativt liten köldmängd. En karta över maximal köldmängd visar ungefär samma kurvförlopp som kartan över medelköldmängd men de absoluta värdena är ca 500-900 enheter större. Kartan redovisar alltså köldmängden i grad-dagar beräknat på månadsmedeltemperaturen. Det naturliga hade varit att beräkna köldmängden med utgångspunkt från dygnens medeltemperatur. Detta har ej gjorts, beroende på kostnadsskäl.

För samtliga 283 mätstationer har summationskurvor för köldmängdfördelningen konstruerats. För stationer med fullständiga observationsserier har summapolygoner uppritats. Summapolygonerna har approximerats med jämna kurvor, se figur 31.

Om man studerar köldmängden på en och samma ort under en följd av år finner man att fördelningen kring medelvärdet är utpräglad osymmetrisk och asymmetrin eller skevheten är olika på olika orter. För orter med utpräglat inlandsklimat är skevheten i fördelningen mindre framträdande än för orter med kustklimat.

Frekvensen av vintrar med köldmängden 0 är störst, ca 50%, vid Skånes sydkust. Gränsen för frekvensen 20% går längs västkusten över Lund, Kristianstad och Karlskrona till Oskarshamn. Den nordlaste stationen som har haft köldmängden 0 är Västerås.

Tjäldjupet definieras som djupet av den zon under markytan inom vilken temperaturen är 0°C . Med hjälp av omfattande fältförsök och teoretiska beräkningar har Jansson (1968) visat tjäldjupets variation med hänsyn tagen till både jordart och klimatförhållanden.



Figur 32. Tjåldjupen i olika jordarter som funktion av ortens årsmedeltemperatur T_{om} och dess lägsta vintertemperatur T_{oe} . Överslagsmässigt kan T_{oe} sättas lika med medeltemperaturen för årets kallaste månad, (Janson, 1968).

I figur 32 visas fyra av de fem jordarter som undersökts. Diagrammen visar att tjålningen når djupare i en grövre jordart. Med kännedom om en Orts årsmedeltemperatur, medeltemperatur för den kallaste månaden samt jordarten är det möjligt att bestämma lokalens tjåldjup. I figur 32 är inte hänsyn tagen till eventuellt snötäcke. Undersökningar har visat att snö har mindre värmeisolerande förmåga än vad man tidigare har ansett.

4.1.3.7 Tjälens avsmältning

Temperaturgradienten $\frac{dt}{dx}$ är ett mått dels på värmeströmningens hastighet, dels på mediets värmeledningsförmåga. Temperaturgradienten under tjälgränsen har stor betydelse för det möjliga tjäldjupet och tjälsmältningen underifrån. Under hela vintern sker oavbrutet en avtagande värmeströmning uppåt. För att någon frysning skall ske vid tjälgränsen fordras att den bortledda värmemängden är större än den tillströmmande. Vid en viss tjältjocklek och viss temperaturgradient under tjälgränsen fordras alltså en viss minustemperatur i ytan för att tjälningen skall kunna fortsätta.

Under förvintern kan tjälens nedträngningshastighet vara mycket stor speciellt om tjälning inträffar innan ett täckande snölager finns utbildat på markytan. Eftersom snö, speciellt i luckert tillstånd är dåligt värmeledande så blir köldgraden i markytan måttlig, även vid stark kyla. Lucker snö har en värmeledningskoefficient som är ca en tiondel så stor som markens.

Enligt Beskow (1935) kan det största möjliga tjäldjupet beräknas enligt

$$x = \frac{t_o - t_y}{\frac{dt}{dx}} - l \cdot \frac{\lambda}{\lambda_1}$$

där l = snötäckets tjocklek

t_y = snötäckets yttemperatur

t_o = temperaturen vid tjälgränsen

$\frac{dt}{dx}$ = temperaturgradienten i tjälen vid tjälgränsen

$\frac{\lambda}{\lambda_1}$ = förhållandet mellan tjälen och snötäckets värmeledningskoefficienter

a	b	c	d	e					
$\lambda : \lambda_1$	$\frac{dt}{dx}$	l	t_y för $X=0$	Störstmöjliga stabila tjäldjup X m Greatest frost-depth X m					
	$^{\circ}\text{C/m}$	m	$^{\circ}\text{C}$	$t_y = -2^{\circ}$	$t_y = -5^{\circ}$	$t_y = -10^{\circ}$	$t_y = -15^{\circ}$	$t_y = -20^{\circ}$	$t_y = -30^{\circ}$
				m	m	m	m	m	m
10	4	0.5	-20°	—	—	—	—	0	2.5
		0.3	-12	—	—	—	0.75	2	4.5
		0.2	-8	—	—	0.5	1.75	3	5.5
		0.1	-4	—	0.25	1.5	2.75	4	6.5
		0	0	0.5	1.25	2.5	3.75	5	7.5
	3	0.5	-15	—	—	—	0	1.67	5
		0.3	-9	—	—	0.33	2	3.67	7
		0.2	-6	—	—	1.33	3	4.67	8
		0.1	-3	—	0.67	2.33	4	5.67	9
		0	0	0.67	1.67	3.33	5	6.67	10
	2	0.5	-10	—	—	0	2.5	5	10
		0.3	-6	—	—	2	4.5	7	12
		0.2	-4	—	0.5	3	5.5	8	13
		0.1	-2	0	1.5	4	6.5	9	14
		0	0	1	2.5	5	7.5	10	15
7	3	0.5	-10.5	—	—	—	1.5	3.17	6.5
		0.3	-6.3	—	—	1.23	2.9	4.57	7.9
		0.2	-4.2	—	0.27	1.93	3.6	5.27	8.6
		0.1	-2.1	—	0.97	2.63	4.3	5.97	9.3
		0	0	0.67	1.67	3.33	5	6.67	10
	2	0.5	-7	—	—	1.5	4.0	6.5	11.5
		0.3	-4.2	—	0.4	2.9	5.4	7.9	12.9
		0.2	-2.8	—	1.1	3.6	6.1	8.6	13.6
		0.1	-1.4	0.3	1.8	4.3	6.8	9.3	14.3
		0	0	1	2.5	5	7.5	10	15
	1	0.5	-3.5	—	1.5	6.5	11.5	16.5	26.5
		0.3	-2.1	—	2.9	7.9	12.9	17.9	27.9
		0.2	-1.4	0.3	3.6	8.6	13.6	18.6	28.6
		0.1	-1.7	1.3	4.3	9.3	14.3	19.3	29.3
		0	0	2	5	10	15	20	30

a: Quotient $\lambda : \lambda_1$, where λ = heat-conduction coefficient for the »tjäle», and λ_1 = for snow.
b: Temperature-gradient $\frac{dt}{dx}$ in the »tjäle» at its bottom.
c: Thickness of snow-layer = l .
d: Upper limit of the temperature t_y at which the soil can freeze under the snow-layer.
e: Greatest possible frost-depth in meter, at different values of the temperature t_y at the surface of snow-layer = no freezing possible.

Tabell 8. Största möjliga tjäldjup vid olika snötäcke och temperatur.
(Beskow, 1935).

vid tjäle smältande underifrån kan t_0 sättas till 0°C

$$x = \frac{-t_y}{\frac{dt}{dx}} - 1 \cdot \frac{\lambda}{\lambda_1}$$

Tabell 8 visar att snötäcket får mycket stor betydelse vid måttligt kallt klimat. Vid -2°C snöyttemperatur förmår redan ett 1 dm mäktigt snötäcke hindra vidare tjälbildning resp bringa tidigare bildad tjäle att smälta underifrån, (under förutsättning att temperaturgradienten är $\geq 2^{\circ}/\text{m}$).

I övre Norrland förhindras vidare tjälbildning när snödjupet är ca 0,5 m och i mellersta Sverige redan vid ca 0,2 m. På normalt snötäckt mark inträffar som regel tjälsmältning underifrån under vinterns senare hälft. Om ofrusen mark snötäcks med ett mäktigare snötäcke som ligger kvar kan det hända att marken över huvud taget ej tjälas.

Beskows beräkningar visar att tjälsmältningen underifrån kan uppgå från ca 0,5 till 1,0 cm per dygn.

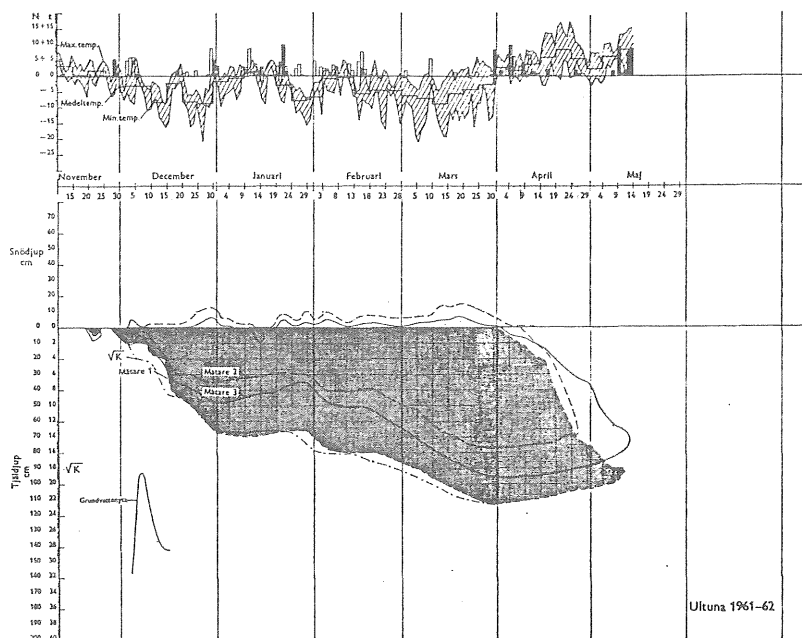
Under våren påbörjar avsmältning ovanifrån när markytetemperaturen överskrider 0°C . Avsmältningshastigheten beror på en rad faktorer bl a temperaturförhållanden, snömäktighet, vegetation, tjältyp, jordart m m.

Institutionen för lantbrukets hydroteknik upprättade under slutet av femtiotalet ett antal mätstationer för uppmätning av tjäldjup. Med utgångspunkt från fältdata har tjäldjupsdiagram upprättats, se figur 33. Diagrammets viktigaste uppgift var att ge en detaljerad bild av respektive lokals tjälkropp samt tjälkroppens tillväxt och avsmältning. Diagrammen redovisar:

- (1) tjäldjup på vall som hålls snöfri
- (2) tjäldjup på vall med naturligt snötäcke
- (3) tjäldjup på plöjd mark med naturligt snötäcke.

Dessutom redovisas temperatur och nederbörd.

Med utgångspunkt från tjäldjupsdiagrammen kan tiden för tjällossningen beräknas. För att visa storleksordningen



Figur 33. Tjälldjupsdiagram. (Andersson, 1964).

på tjällossningsperioden har tjälldjupsdiagram från tre orter studerats, Öjebyn, Ultuna och Ugerup, 1961-1963.

Som startpunkt för tjällossning har i detta sammanhang valts den tidpunkt då fem dygns medeltemperatur överstiger 0°C .

Av tabell 9 framgår att tjälad mark för de tre stationerna förekommer mellan 7 och 55 dygn efter den tidpunkt då fem dygns medeltemperatur överstiger 0°C för den aktuella tidperioden.

Under den studerade tidsperioden 1961-63 föll mellan 0 och 8 regn ($> 5 \text{ mm}$) på mark som på något djup var tjälad.

4.1.3.8 Tjälningen och dess betydelse för dagvatteninfiltration på grönytor

När marken tjälar orsakar detta en nedsatt infiltrationskapacitet beroende på att en mer eller mindre del av vattnet i jordartens porer övergår till is. Dessutom erhålls en mindre infiltrationskapacitet vid låga temperaturer be-

Station	Tjäldjups- mätare	1960- 1961	1961- 1962	1962- 1963	1960- 1961	1961- 1962	1962- 1963
Öjebyn	2	20	29	55	1	5	5
	3	20	13	55	1	4	5
Ultuna	2	11	26	35	3	5	0
	3	13	35	39	3	8	0
Ugerup	2	17 ^x	13, 7, 13 ¹⁾	22	2	6	3
	3	18 ^x	8, 7 ^x , 13	28	2	6	3
^x Snöfri markyta		Tjällossnings-		Antal regn > 5 mm			
¹⁾ Flera tjälperioder		periodens längd		på tjälad mark			
		i dygn					

Tabell 9. Tjällossningsperiodens längd (dygn) och antal regn (> 5 mm) på tjälad mark för tre orter mellan 1961 och 1963.

roende på vattnets högre viskositet. Bildning av rena is-skikt kan ytterligare minska markens genomsläpplighet. Storleksordningen på den minskade infiltrationskapaciteten och jordartens hydrauliska konduktivitet är till största delen beroende på marken och markvattnets temperatur. Tjälad mark skall dock ej betraktas om helt ogenomsläpplig.

För infiltrationsytor inträffar en kritisk period dels under tjälningens inledningsskede under hösten, dels under tjällossningsperioden på våren när infiltrationsytan belastas med smält- eller regnvatten från hårdgjorda ytor, förutom den naturliga bakgrundsbelastningen. Översiktliga litteraturstudier har visat att den kritiska perioden varierar från någon enstaka dag till ca två månader i nordligaste Sverige.

Genom bearbetning av tjäldjupsdiagram och klimatdata kan en bedömning göras av hur lång denna kritiska period är, för olika områden och vilken effekt den medför med avseende på dimensionering av infiltrationsytor.

Under tjällossningsperioden föreligger också en förhöjd risk för ytuppmjukning av infiltrationsytor, vilken kan medföra en ökad komprimering och ett ökat slitage på infiltrationsytan.

4.2 Vegetationspåverkan

4.2.1 Definition av grönytor

En vegetationsklädd yta inom urbana områden kan enligt Langvad (1971) definieras på följande vis:

Intensiva grönytor, metodiskt planerade arealer med mer eller mindre rena gräskulturer, som hålls regelbundet klippta.

Extensiva grönytor, delvis planerade eller eventuellt helt ursprungliga arealer eller områden, med tät och mer eller mindre ren gräsväxt, som efter förhållandena betas, slås periodiskt eller får stå helt orörda.

Fem huvudfaktorer bestämmer grönytornas standard:

- klimat
- jordart (underlag)
- gräsarter och -sorter, träd samt buskar
- anläggningsarbete och skötsel
- yttre påverkan förutom klimat.

Vegetationspåverkan kan indelas i tre huvudkategorier:

- klimatisk påverkan
- påverkan av föroreningar
 - luftföroreningar
 - vattenföroreningar
 - fasta föroreningar
- mekanisk påverkan
 - bryt- och stympningsskador
 - trampslitage
- biologiska angrepp; svamp, insekter

I detta kapitel tas främst den klimatiska påverkan upp (hårdighet och vinterklimat) tillsammans med den mekaniska påverkan, i form av trampslitage inom urbana grönområden.

4.2.2 Klimat-härdighet

Klimatet spelar givetvis en avgörande roll huruvida en viss växt ska klara sig eller inte. I Sverige förekommer två huvudtyper av klimat. Dels ett maritimt klimat längs södra Sveriges kuster och dels ett mera kontinentalt på småländska höglandet, i inre delarna av Svealand och i Norrland. Vegetationsperioden varierar från ca 200 dagar i Skåne till ca 100 dagar i Norrlands inland.

Till detta kommer stora lokala variationer i klimatet. Närvaro av sjöar, vattendrag etc verkar till exempel temperaturutjämnande. Ytterligare en faktor som påverkar klimatet är höjden över havet. Man räknar med att vegetationsperioden avtar med 5-6 dagar för var hundra meters höjdskillnad.

För att ange träd och buskars härdighet används i Sverige Sveriges Pomologiska Förenings (SPF) växtatlas. I denna skrift är Sverige uppdelat i åtta växtzoner, I-VIII, där Zon I är den mest gynnsamma och Zon VIII den minst gynnsamma. Zonindelningen grundar sig dels på meteorologisk statistik och dels på erfarenhetsmässigt växtodlingskunnande.

Under vintern kan grönyterna utsättas för stora påfrestningar, detta kan motverkas genom val av lämpliga grässorter och gräsarter, lämplig jord samt god anläggning och skötsel. Vinterklimatet är ofta den begränsande faktorn för att erhålla god grönytestandard.

4.2.3 Vinterskador på grönytor (efter Langvad, 1971)

Nedkylning av mark och luft under hösten resulterar i en minskning av gräsplantornas ämnesomsättning och tillväxt. Under vinterperioden utsätts grönytegräsen för olika påfrestningar, som kan resultera i partiella eller lokala vinterskador. Det är främst tre vinterskador som är vanliga:

- skada på grund av låga temperaturer
- uttorkning
- angrepp av vintersvampar

Vinterskadorna kan indelas i flera grupper eller kategorier:

Köldskador på avhärdad plantvävnad förorsakad av låga temperaturer

De olika grönytegräsen varierar avsevärt med hänsyn till hårdighet vid låga vintertemperaturer. Graden av köldskada är beroende av flera faktorer, bl a frostgrad, tögrad, antal frostperioder, frostperiodernas längd, plantvävnadens vattenhaltsnivå samt behandling och skötsel efter töperioder.

Grönytegräsen når vanligtvis sin maximala hårdighet under november och december, sedan minskar hårdigheten gradvis. Den minsta köldresistensen har gräsen i mars och april.

Vinterskada p g a uttorkning

Uttorkning inträffar när vattenförlusten genom transpiration överstiger vattenupptagning via rötterna. Skadan är vanlig då växterna inte kan ta upp vatten i tillräcklig mängd beroende på antingen vattenbrist eller på att vattenet är fruset i jorden. Skadan är vanligast under relativt milda och torra vintrar i södra Sverige. Uttorkning kan också vara en sekundärskada till följd av en köldskada.

Utlakning av vitala cellbeståndsdelar när gräset är översvämmat av vatten

Inga större vinterskador har noterats under försök där grönytegräsen varit översvämmade i upp till 90 dygn med vattentemperaturer nära 0°C.

Tjällyftning

Vinterskador p g a upprepade tjällossningar är inget problem på väletablerade grönytor.

Skador förorsakade av parasitsvampar

Parasitsvampar kan ofta förorsaka allvarliga vinterskador på gräsytor. Skadorna kan bli så allvarliga att gräsytan behöver flera månader på våren och försommaren för att åter bli grön och tät.

Följande faktorer kan på olika sätt medverka till att vinterskador blir mer eller mindre kraftiga:

- **Hög vattenhalt i plantvävnaden**

Varje ökning av gräsplantans vattenhalt minskar dess hårdighet. Markfysikaliska förhållanden som kan förorsaka en höjning av vattenhalten i jordarten är dålig ytdränering, dålig jorddränering, låg permeabilitet, packning, ökat vattentillskott genom dagvatteninfiltration, dessutom is- och snöanhopning samt smältning av snö och is under ett snötäcke utan avrinningsmöjligheter.

Tyngre eller tätare jord visar alltid större frekvens av vinterskador än gräs på lättare jordarter. Områden med hög "trafikintensitet" utsätts lättare för vinterskador än väl luftade grönytor.

De nämnda förhållandena ger översvämning på grönytorna men förorsakar inte några skador på gräs på grund av syrebrist eller utlakning av vitala beståndsdelar utan resulterar i en höjning av växternas vattenhalt. Om plantvävnaderna senare utsätts för frosttemperaturer kan allvarliga köldskador uppkomma.

- **Klippningshöjd**

Grönytor som klippts 3 cm från marken eller högre är mer resistenta mot skador förorsakade av köld än kortklippta grönytor. En hög klippningshöjd verkar på två sätt:

1. Ökad isolering
2. Bättre förutsättningar för god avhärdning på hösten genom ökad bladyta för assimilation och högre kolhydratproduktion.

- Förhöjda rothalsar p g a död bladmassa medför en förhöjd risk för frysning

- Trafikfrekvens

Trampskador på gräsytor under perioder av frost och töväder när marken är vattenmättad kan resultera i svåra skador på blad, rothals och rötter.

4.2.4 Vegetationsskador genom mänsklig aktivitet

Vegetationsskador på infiltrationsytor kan uppkomma dels under byggnadsskedet, dels av de boende efter inflyttning. Under byggnadsskedet kan skador uppkomma främst genom upplag, schaktning, uppfyllning och körning med olika typer av maskiner. För att motverka denna typ av skador kan instängsling göras av ytor som avses att utnyttjas för infiltration (Florgård et al, 1977).

Skador av boende utgörs främst av slitageskador i form av tramp- och brytskador på vegetationen. Under frost- och töperioder på våren och hösten föreligger en stor risk för skador på gräsvegetationen om den utsätts för tramp eller trafik. Brytskador kan förorsaka nedsatt transpiration förmåga för träd- och buskvegetation på infiltrationsytor.

Påhlsson (1972) hävdar att ett samband finns mellan vegetationens tålighet mot tramp och fuktighetsgrad samt i viss mån näringsriktighet. Slittåligast är måttligt fuktiga vegetationstyper t ex blåbärsgranskog, ek- och bokskogar samt kulturbetingade växtsamhällen som gräshedder och fastmarksängar.

Vegetationens morfologi har också stor betydelse för tåligheten. Gräsmark har stor resistens mot slitage.

Strålfeldt (1963) anger att naturliga stabila växtsamhällen bör vara tåligare än artificiella.

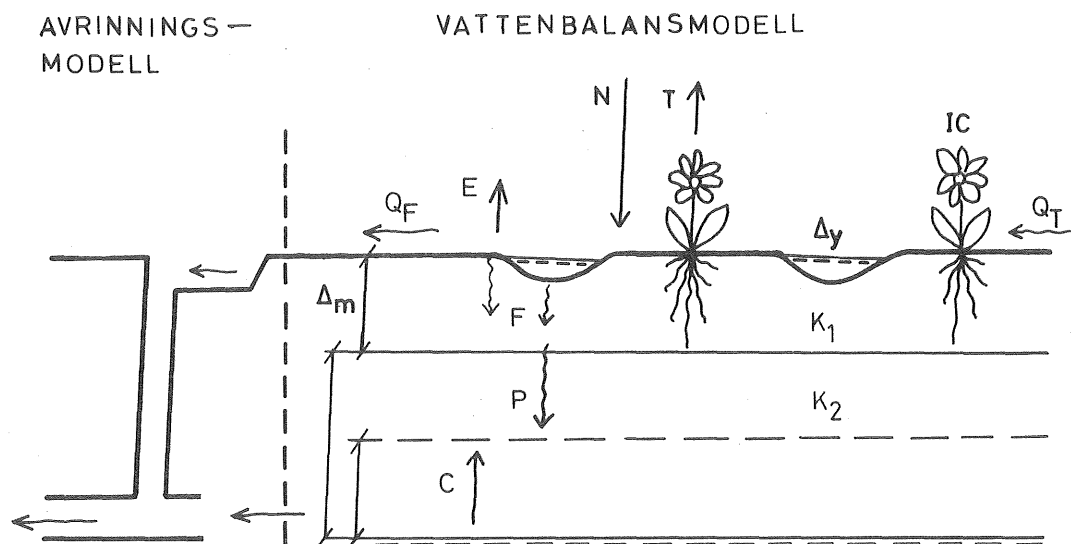
Ellenberg (1963) sammanfattar att motståndskraften mot tramp är god hos växter med:

- ringa storlek
- förgreningar nära marken
- elastisk och fast vävnad
- snabb regenerering

Inom bebyggda miljöer förekommer en permanent belastning på friytor. Växtligheten måste här anpassa sig till ett kontinuerligt utnyttjande.

5.1 Allmän vattenbalansmodell

Vattenutbytet mellan atmosfären, vegetationen och marken samt vattnets fortsatta transport över marklagren (ytavrinning) eller genom marklagret (infiltration-perkolatation) kan illustreras av en allmän vattenbalansmodell, figur 34. Till denna kan kopplas en avrinningsmodell (se kapitel 7, BERÄKNINGSMODELLER).



Figur 34. Allmän vattenbalansmodell.

I en vattenbalansmodell ingår ett antal delparametrar:

N	= Nederbörd	mm/h
IC	= Interception ^x	mm/regntillfälle
E	= Evaporation ^x	mm/h
T	= Transpiration ^x	mm/h, mm/dygn
ET	= Evapotranspiration	mm/h, mm/dygn
	= Σ^x	
F	= Infiltration	mm/h, m/s
Δ _y	= Ytmagasinerings	mm
Q _T	= Ytvattentillrinning	mm/h, volym/tidsenhet och area
Q _F	= Ytvattenavrinning	mm/h, volym/tidsenhet och area
Δ _m	= Markvattenmagasinerings	mm
P	= Perkolatation	mm/h, m/s

- C = Kapillär uppsugning mm/h
 K_1 = Hydraulisk konduktivitet i markvattenzonen m/s, mm/h
 K_2 = Hydraulisk konduktivitet under markvattenzonen m/s, mm/h

5.2 Beskrivning av delprocesser

5.2.1 Nederbörd

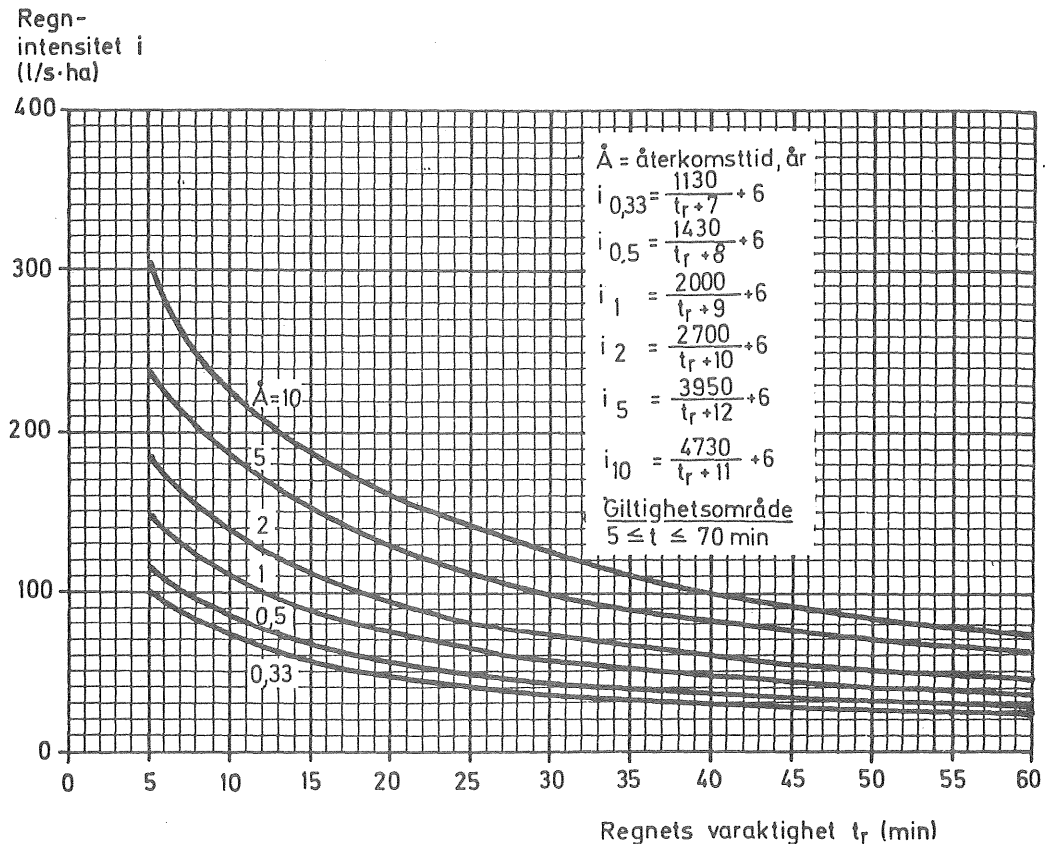
Nederbörd uppträder antingen i flytande eller fast form och indelas vanligen i tre typer, orografisk, konvektiv och advektiv nederbörd, beroende på den effekt som förorsakat luftens hävning och avkylning.

Möjligheten att beskriva den rumsliga fördelningen beror i hög grad på hur tätt nät av mätstationer som finns. Som regel låter man mätning av nederbörd i en punkt representera en viss areal runt mätaren. Genom att korrelera nederbördsvärden för en station med motsvarande värden för omkringliggande stationer kan man studera rumsliga variationer. Korrelationskoefficientens variation är ett statistiskt mått på den rumsliga variationen.

Nederbördens intensitetsvariation med tiden vid enstaka tillfällen brukar anges med en s k regnhyetograf.

Medelnederbörden över ett område kan beräknas på olika sätt bl a genom Isohyetmetoden, Thiessens metod och genom ett aritmetiskt medelvärde.

För praktiska tillämpningar, t ex olika slag av dimensionering, är man intresserad av samband mellan olika regnintensiteter och varaktigheten av dessa. I hyetografer definieras maximal medelnederbördsintensitet för en given varaktighet samt den nederbördsintensitet som överskrids under en viss varaktighet. Statistiska analyser redovisas i intensitets- och varaktighetssamband, figur 35 (Bergström, 1976). Kurvorna kan även uttryckas med matematiska samband.

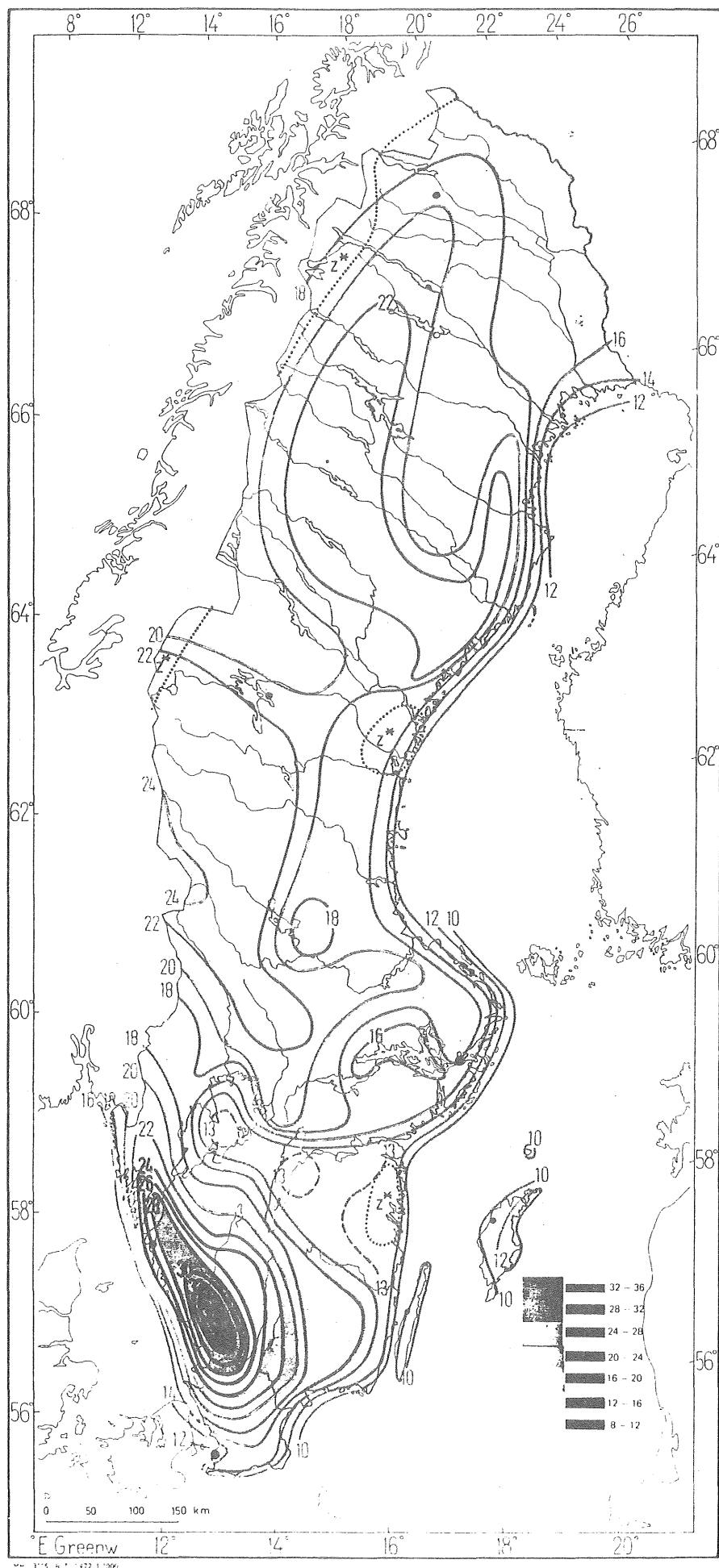


Figur 35. Regnintensitet i Göteborg (centrala delen) 1926-1971. Utjämnade medelvärden. Enligt CTH, Geohydrologiska forskningsgruppen. Meddelande nr 5, Göteborg 1974. (Bergström, 1976).

Dahlström (1979) har utarbetat en metod där intensitets- och varaktighetssamband bestämts med en framtagen formel. För att karaktärisera den konvektiva nederbördens betydelse på en ort används en Z-parameter. Figur 36 visar de värden som parametern Z antar i Sverige. Det dubbla Z-värdet ger en uppskattning av den konvektiva effekten i mm nederbörd.

Genom att välja Z-värde för en ort kan intensitets- och varaktighetssamband erhållas från utarbetade tabeller.

För en godtycklig ort i Sverige uppskattas felet till ca 10% för intervallet 5 minuter-4 dygn och återkomsttiden en månad-5 år. För återkomsttiden 10 år och för orter i fjällområdet är osäkerheten större än 10%.



Figur 36. Fördelning av värden som parametern Z antar i Sverige. Genom att välja Z-värden för en ort kan nederbördsstatistik (intensitet- och varaktighetssamband) erhållas från utarbetade tabeller (Dahlström, 1979).

5.2.2 Interception

Interception definieras som den process där nederbörds-
vatten fångas upp och kvarhålls på vegetationen. Ofta an-
vänds termen interceptionsförlust som avser den mängd
vatten som avdunstar från vegetationen. Interception kan
förekomma i olika skikt beroende på vegetationstyp.

Interception indelas i:

- interceptionsförlust
- genomgående nederbörd (through fall)
- stamflöde (stem flow)

De två sistnämnda når marken.

Interceptionen varierar beroende på en mängd faktorer bl a:

- vegetationens interceptionskapacitet
- vindhastighet
- evaporation
- regnfrekvens
- nederbördstyp
- vegetationstyp
- morfologi

Interceptionskapaciteten är störst under regnets början.
Under regnet avgår vatten också i form av evaporation från
bladytor. Under långvariga regn kan interceptionen relate-
ras till evaporationen. Evaporationen har emellertid liten
betydelse under själva regnet och i praktiken är vindhas-
tigheten den enda betydande faktorn. Detta resonemang gäl-
ler ej för regn med kort varaktighet. Regnfrekvensen har
betydligt större betydelse för interceptionen än varaktig-
het och nederbördsmängd. Interceptionen varierar också med
nederbördstyp, vegetationstyp och morfologi.

Oklarheter råder m a p interceptionens effekt på vatten-
balansen inom ett område. Vissa författare hävdar att in-
terceptionen endast är ett alternativ och inget tillskott
till evapotranspirationen. Andra hävdar dock att intercep-
tionsvatten avgår snabbare än transpirerat vatten och där-
för medför en ökad vattenförlust.

Interceptionen har uppmätts till 25-35% av årsnederbörden i barrskogsområden och 15-25% i lövskogsområden, under den ej gröna perioden endast 4-7%. För moget gräs och buskvegetation är interceptionen av samma storleksordning som för lövskogar. För hårt belad vall eller klippt gräs är interceptionen betydligt mindre, i extrema fall försumbar. Mängden vatten som kan magasineras på vegetationen under ett regn, anges för ett granbestånd till 3,8-7,6 mm, för ett tallbestånd 0,2-3,0 mm, för ett lövskogsbestånd 0,2-2,0 mm och för en gräsyta till 1,0-1,5 mm (Florgård, Palm 1979).

Figur 37 visar interceptionsförlusten för bestånd med gran och bok (Ward, 1975).

Ekvationer för att beräkna interception har bl a redovisats av Horton, 1919; Linsley, Kohler, Paulhus, 1949; Merriam, 1960 och Wigham, 1970.

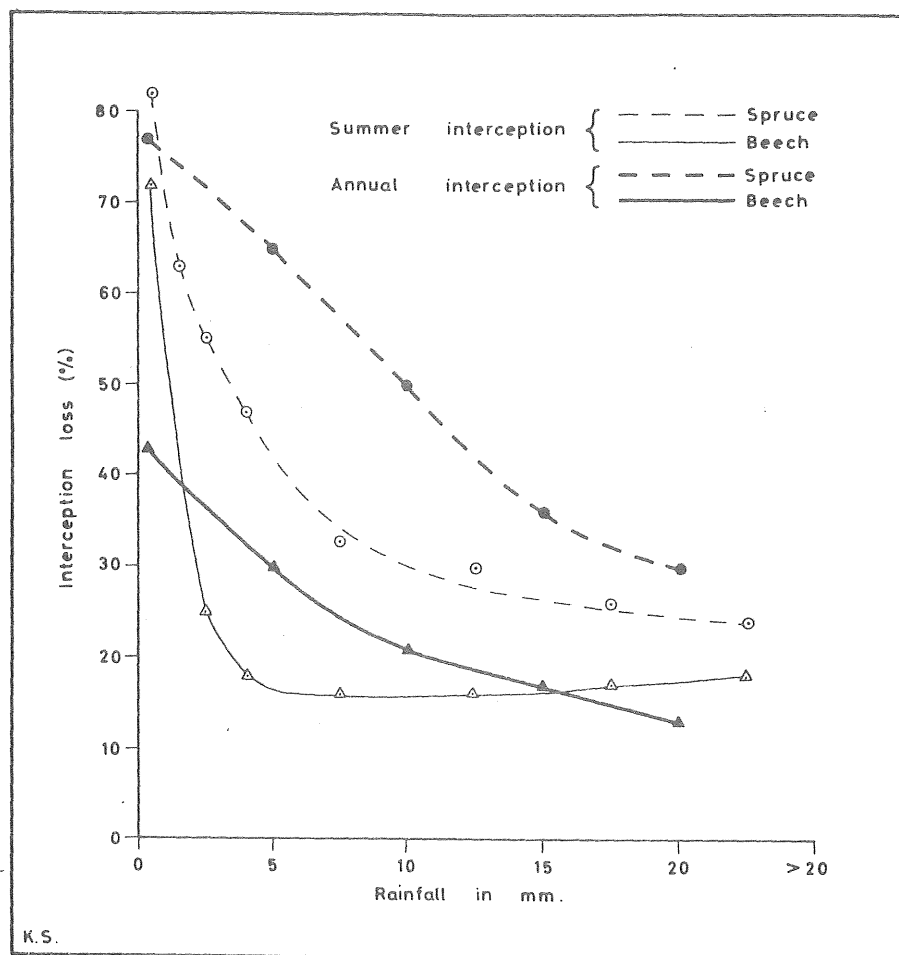
5.2.3 Evaporation

Evaporation definieras som den process då fasta ämnen efter vätskor överförs till gasform. Evaporation sker från fria vattenytor, snö, is, mark och från interceptionsvatten på vegetationen.

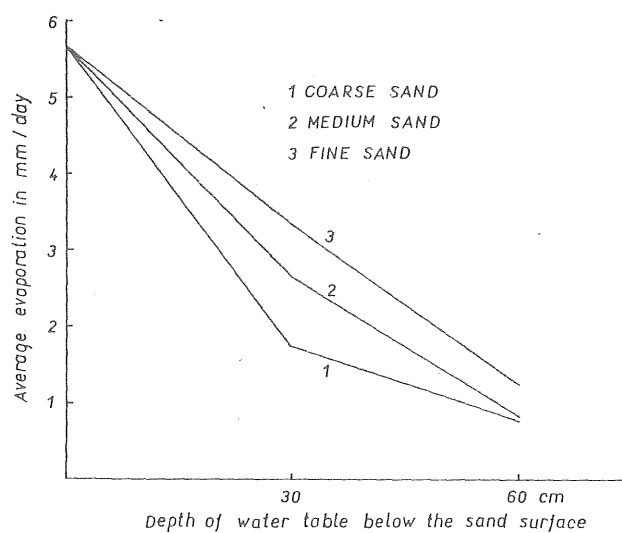
Förutom de meteorologiska faktorerna beror avdunstningens storlek från markytan på jordart, jordartens kapilläregenskaper, avstånd mellan markyta och vattenmättad zon, markytans beskaffenhet, om markytan är bevuxen eller ej, vegetationens art, markdränering m m.

I figur 38 redovisas evaporationen från några sandiga jordarter som funktion av grundvattenytans läge (Balek, 1977).

Skillnaden i avdunstning mellan en vegetationsklädd och bar markyta kan under vegetationsperioden uppgå till flera hundra millimeter. Mycket stora skillnader har också uppmätts mellan ytor med olika grödor (Reinius, 1963).



Figur 37. Interceptionsförlust för bestånd med gran och bok, (Ward, 1975).



Figur 38. Evaporation från några sandiga jordarter, (Balek, 1977).

Avdunstningen (den potentiala evaporationen) kan mätas med hjälp av evaporimetrar. En enkel typ av evaporimeter beskrivs av Andersson (1969).

5.2.4 Transpiration

Med transpiration avses den process då vatten överförs från levande vegetation, främst från bladen, till atmosfären i form av vattenånga.

Transpiration sker dels genom diffusion av vattenånga från den fuktighetsmättade intercellularluften genom klyvöppningarna (stomatär transpiration), dels genom avdunstning genom bladens yttre cellskikt (kutikulär transpiration). Den stomatära transpirationen är den avsevärt viktigaste.

Transpirationen uppvisar både en dygnsmässig och säsongsmässig variation. Generellt sett ökar transpirationen mycket snabbt på våren och når sitt maximivärde i juni. Därefter avtar transpirationen och är i augusti 30-60% av max-värdet. Transpirationen avtar i och med bladfallet i slutet av september och början av oktober. Transpirationen är alltså högst på dagen och under sommarperioden, minst på natten och under vinterperioden.

Det råder skilda åsikter om markvattenhaltens betydelse för vegetationens vattenupptagning och transpiration. Vissa författare hävdar att transpirationsminskningen är obetydlig för vattenhaltsminskningar ned till vissningspunkten. Andra har visat att transpirationen endast är ca 25% av den ursprungliga efter några veckor med minskad vattenhalt.

I litteraturen finns åtskilliga uppgifter om transpirationen för gräs, örter och olika trädarter. Transpirationsvärden för buskar är däremot mycket fåtaliga.

Vid en jämförande utvärdering av transpirationsvärden uppstår en del svårigheter. Transpiration är beroende av många yttre faktorer, t ex temperatur, vindhastighet, luftfuktighet och vattentillgång. Då klimat- och markfysikaliska data sällan anges kan tolkningen av en del kraftigt varierande värden vara svår. I äldre mätningar beskrivs ofta de yttre omständigheterna med att vädret var "soligt och torrt" eller något liknande opreciserat. Senare mätningar är dock oftast utförda under mer väldefinierade förhållanden. Vidare är sorten för transpirationshastigheten mycket varierande. Några relaterar värdena till bladens torrsvikt, andra till bladens frisksvikt, ytterligare några till bladyta, markyta osv. Det lämpligaste sättet för det här ändamålet torde vara avgiven mängd vatten i mm på samma sätt som man anger nederbördens storlek, något som ej alltid kan uppfyllas.

Tabell 10 visar transpirationsvärden för några olika träd.

Tabell 11 visar transpirationsvärden för hela bestånd.

5.2.5 Evapotranspiration

Med evapotranspiration avses det vatten som vegetationen transpirerar samt det vatten som avdunstar från marken. Evapotranspiration avser alltså den kombinerade effekten av transpiration och evaporation och inkluderar interception.

Evaporationen är den minst viktigaste faktorn. Förhållandet mellan evaporation och transpiration eller transpiration + interception har uppmätts till mellan 1:2 och 1:4, tabell 12 (Ward, 1975). Veihmeyer (1938) har visat att vattenförlusten genom transpiration var 100 gånger större än evaporation från jorden när grundvattenytan låg 1,2 m under markytan.

Ibland används även total evaporation och "consumptive use" synonymt med evapotranspiration.

	<u>A</u> *	<u>B</u> *	<u>C</u> *	<u>D</u> *	<u>E</u> *
Acer negundo Asklönn	0,6				
Alnus glutinosa Klibbal		8			
Betula verrucosa Masurbjörk	2,3		{9,5		349
sp. Björk		14,3	{8,1	4,7	
Corylus avellana Hassel			4,2		414
Fagus silvatica Bok	1,37		{4,8	3,8	227-254
sp. Bok		7,2	{2,5		
Fraxinus excelsior Ask	2,58	3,1			
Larix decidua Lärk			3,2		286-396
sp. Lärk			3,2	4,7	
Picea abies Gran			1,42		250
sp. Gran			1,4	4,3	
Pinus silvestris Tall			{1,9		320
strobilus Weymouthtall			{2,0		309
Populus canadensis Kanadapoppel	3,3				
Pyrus malus Apel	1,72				
Quercus robur Ek		8,88	6,02		360
rubra Rödek	0,8		7,6		

- *
A: gram avgivet vatten per dm² bladyta och timma
B: mg avgivet vatten per gram friskvikt blad och minut
C: gram avgivet vatten per gram friskvikt blad och dag
D: mm per dag
E: mm per år

Tabell 10. Transpiration för träd.

<u>Träd</u>	mm/år
Betula verrucosa Masurbjörk	349
Corylus avellana Hassel	414
Fagus silvatica Bok	227-254
Larix decidua Lärk	286-396
Picea abies Gran	250
Pinus silvestris Tall	309
Quercus robur Ek	360
<u>Buskar</u>	
Hippophae rhamnoides Havtorn	133
<u>Gräs och örter</u>	
Phragmites communis Vass	940-1100
<u>Växtsamhälle</u>	
Mesofytisk äng med Alopecurus pratensis	800
Glyceria aquatica äng ¹	1588
Glyceria maxima äng	625
Phragmites communis association ²	1305
Våtäng ³	1165
Kortklippt gräsmatta	470
Ingående arter: 1 Glyceria aquatica Sparganium aquatica Nasturtium amphibium Alisma plantago Typha latifolia Polygonum natans m.fl. mindre frekventa	2 Phragmites communis + ett femtontal mindre frekventa 3 Chaerophyllum hirsutum-cicutaria Poa trivialis Petasites hybridus Caltha palustris m.fl. mindre frekventa

Tabell 11. Transpiration för hela bestånd.

Aspen (Tellerman Forest, Voronezh)

<u>Age years</u>	<u>Evapn. from soil (mm/growing season)</u>	<u>Transpiration (mm/growing season)</u>	<u>Ratio E:T</u>
8	74	203	1:2.7
25	53	230	1:4.3
36	69	201	1:2.9
63	90	185	1:2.1

Aspen (mm) (per year ?)

<u>Age years</u>	<u>Evapn. from soil</u>	<u>Transpiration + Interception</u>	<u>Ratio Evapn.: Transpiration + Interception</u>
20	78	314	1:4.0
40	84	282	1:3.4
60	97	224	1:2.3

Scots Pine (mm) (per year ?)

<u>Age years</u>	<u>Evapn. from soil</u>	<u>Transpiration + Interception</u>	<u>Ratio Evapn.: Transpiration + Interception</u>
20	48	363	1:7.6
40	67	400	1:6.0
60	87	340	1:3.9
80	100	320	1:3.2
100	100	290	1:2.9
120	100	263	1:2.6
140	103	246	1:2.4
160	105	222	1:2.1

Tabell 12. Förhållande mellan evaporation och transpiration eller transpiration + interception för några olika skogsbestånd, (Ward, 1975).

Begreppet potentiell evapotranspiration (PE) avser den evapotranspiration som skulle äga rum om det alltid fanns vatten tillgängligt för avdunstning från marken eller i marken för växternas transpiration. Penman (1956) och andra definierade den potentiella evapotranspirationen som "avdunstning från en utbredd yta med kort grön växande vegetation med likformig höjd, som helt skuggar marken och som inte har brist på vatten". Ett objektivare mått är avdunstningen från en vidsträckt vattenyta utan värmekapacitet. Definierad på detta sätt blir den potentiella evapotranspirationen enbart beroende av meteorologiska faktorer och kan också mätas på ett någorlunda objektivt sätt (Linsley et al, 1958).

Den potentiella evapotranspirationen (PE) varierar med meteorologiska parametrar bl a solstrålning, temperatur, vindhastighet, luftfuktighet, advektion men även beroende av vegetationstyp och vegetationens aerodynamiska råhet.

Evapotranspirationen kan mätas eller uppskattas med hjälp av:

- vattenbalansmetoder
- mikrometeorologiska mätningar
- empiriska formler.

Vattenbalansmetoder kan indelas i:

1. beräkningar för ett avrinningsområde
2. mätningar av markvattenhaltsvariationer
3. mätningar i lysimetrar

Mikrometeorologiska mätningar kan indelas i:

1. aerodynamiska - masstransportmetoder
2. energibalansmetoder
3. kombinationer av 1 och 2
4. profilmeter

Empiriska metoder kan indelas i:

1. metoder där evapotranspirationen beräknas från strålningsdata
2. temperaturmetoder
3. metoder där evapotranspirationen beräknas från humiditetsdata
4. evaporimetrar

Beräkning av evapotranspiration med hjälp av empiriska formler görs lämpligast med utgångspunkt från strålningsdata, som vanligen baseras på energibalansen (Penmans formel m fl). Metoder där evapotranspirationen beräknas med hjälp av humiditetsdata är vanligtvis ej lämpliga.

Som exempel på aritmetriska formler kan nämnas Tamms och Penmans formler.

Tamms formel

$$E = 221,5 + 29,0 T \text{ (mm/år)}$$

E = total avdunstning

T = årsmedeltemperatur °C

Tamms formel har framtagits genom studier av årsavdunstningens samband med luftmedeltemperaturen och gav en mer detaljerad bild av avdunstningen än tidigare publicerade kartor.

Penmans formel

$$E = \frac{\Delta \cdot R_N + \gamma \cdot E_a}{\Delta + \gamma} \quad (\text{mm/dygn})$$

där $\Delta = de_m/dT$ för medeltemperaturen (mb/K)
 $\gamma \approx 0,61$ "psykrometrisk konstant ($0,58 < \gamma < 0,66$)
 $R_N = \frac{\phi_R - \phi_B}{\rho L}$ där $\phi_R - \phi_B =$ nettoinstrålning
 $E_a =$ avdunstning enligt en empirisk massöverföringsfunktion
 $L =$ ångbildningsvärmets
 $\rho =$ vattnets densitet
 $e =$ luftens ångtryck

Penmans formel förutsätter en gräsbeklädd yta.

I Sverige har den årliga evapotranspirationen beräknats till ca 150-250 mm för fjällområdena och till ca 400-600 mm för södra Sverige. Under vegetationsperioden är evapotranspirationen så stor att större delen av nederbörden återgår till atmosfären.

5.2.6 Infiltration

Infiltration avser vattnets nedträngande genom markytan. Den infiltrerade vattenmängdens storlek och tidsförloppet beror på ett flertal faktorer bl a

- regnkaraktistik
- det ytliga jordlagrets tillstånd
- markytans tillstånd
- jordmateriallets vattengenomtränglighet
- det infiltrerade vattnets egenskaper.

Hittills har jordartens kornstorlekssammansättning ansetts vara den mest betydelsefulla faktorn. Flera undersökningar har dock visat att markanvändning och jordartspåverkan har stor betydelse när det gäller att förutsäga infiltrationskapaciteten inom ett område, se kapitel 3.3 .

Markvattenzonens vattenhalt styr i hög grad infiltrationskapaciteten. Om en jordart har lägre vattenhalt än fältkapaciteten erhålls en högre initiell infiltrationskapacitet som asymptotiskt går mot konstant infiltrationskapacitet när fältkapacitet har uppnåtts.

Infiltrationskapaciteten kan bäst uppskattas genom infiltrationsförsök i fält.

5.2.7 Ytvatten, magasinering, av- och tillrinning

Med ytvatten avses vatten som rinner på eller magasineras i hålrum på markytan.

Ytvattenmagasinering kan betraktas dels som en initialförlust som utgörs av vätning samt uppfyllnad av små hålrum och svackor, dels som ett kontinuerligt magasin som fylls på och tappas av.

För hårdgjorda ytor anges ytmagasineringen vanligtvis till ca 0,5-2,0 mm. För ej hårdgjorda ytor kan en stor variation förväntas, beroende på stora skillnader i ytstruktur.

Ytavrinningen beror främst på klimatologiska, topografiska vegetationsmässiga och geologiska faktorer. Fältmätningar inom ett litet avrinningsområde (Niemczynowicz, 1977) har visat att ytavrinningen inom en gräsbeklädd yta underlagrad av moränlera är av försumbar storlek. I ett senare skede övertäcktes halva ytan och den kvarvarande erhöll alltså den dubbla nederbörds mängden. Även under denna situation erhöles en obetydlig avrinning.

5.2.8 Markvattenmagasin

Markens porositet eller porvolym är den del av totala jordvolymen som inte består av fasta partiklar. Markvatten och/eller markluft fyller porvolymen. Vattnets rörelse och hastighet bestäms av porernas storlek. Porositeten bestäms av jordartens struktur och textur. Porerna indelas i grov-, mellan-, fin-, mikro- och ultraporer efter porernas medeldiameter, tabell 13 (Odén, 1957).

Föreslagen benämning	Grovporer	Mellanporer	Finporer	Mikroporer	Ultraporer
Pordiameter i μ	$> 200 \mu$	$200-60-20 \mu$	$20-6-2 \mu$	$2-0,6-0,2 \mu$	$< 0,2 \mu$
Bindn.energi pF-enh.	$< 1,2$	$1,2-1,7-2,2$	$2,2-2,7-3,2$	$3,2-3,7-4,2$	$> 4,2$
Vatten bundet i porerna	Dränerbart		ej dränerbart vatten		
	mkt lätt-lätt tillgängligt för växterna			svårt-mkt sv. tillgängl.	ej tillg. för växterna
	Intergranulära porsystemet «strukturellt beroende»		Granulära porsystemet «texturellt beroende»		

Tabell 13. Klassifikation av jordens porer, (Odén, 1957).

Markvattenmagasinet består av porer, sprickor och gångar där vatten kan magasineras i markvattenzonen. Markvattenzonen innefattar vegetationens rotzon.

I friktionsmaterial består markvattenmagasinet i huvudsak av porer med pordiametern ca 20μ och mindre. Dessa porer är vattenfyllda vid fältkapacitet.

I kohesionsmaterial består markvattenmagasinet av sprickor, rotkanaler, gångar m m. Markvattenmagasinet är i kohesionsjordarter ungefär lika med torrskorpans mäktighet.

Vattnet binds olika hårt i porösa material. Vanligen uttrycks bindningstrycket i form av pF-kurvor, se kapitel 8.

Vattenmängden i markvattenmagasinet minskar genom evapotranspiration. Beroende på rotfördelning och rotfrekvens kan minskningen variera inom markvattenzonen. Den för växterna tillgängliga vattenmängden anges erfarenhetsmässigt till ca 1-2 mm per cm jorddjup. (1 mm på lättgenomtränglig friktionsjord, 2 mm på utpräglad lerjord).

5.2.9 Perkolation

Perkolation avser vattnets fortsatta transport genom marken efter infiltration. Perkolation och grundvattenbildning sker

när vattenhalten överstiger fältkapacitet för respektive jordart, se kapitel 8.

5.2.10 Hydraulisk konduktivitet (permeabilitet)

Med hydraulisk konduktivitet avses jordens förmåga att släppa igenom vatten under påverkan av en viss tryckgradient. Vanligtvis uttrycks den hydrauliska konduktiviteten som det flöde som passerar en ytenhet vinkelrät mot flödesriktningen när gradienten är 1. Den specifika permeabiliteten är ett mått på hur lätt ett poröst medium släpper igenom en vätska oberoende av vätskans egenskaper. Den beskriver mediets egenskaper oberoende av vätskan och det kraftfält som orsakar rörelsen.

I en markprofil kan två huvudzoner urskiljas med avseende på hydraulisk konduktivitet. Dels en undre zon där alltid mättade förhållanden råder, dels en övre zon, där företrädesvis omättade förhållanden råder. Variationer i bindningstryck påverkar i denna zon i hög grad vattenflödet.

5.2.11 Kapillär uppsugning

Jordarternas kapillära stighöjd är en funktion av jordartens porstorlek och vattnets ytspänning (kapillaritetskonstant).

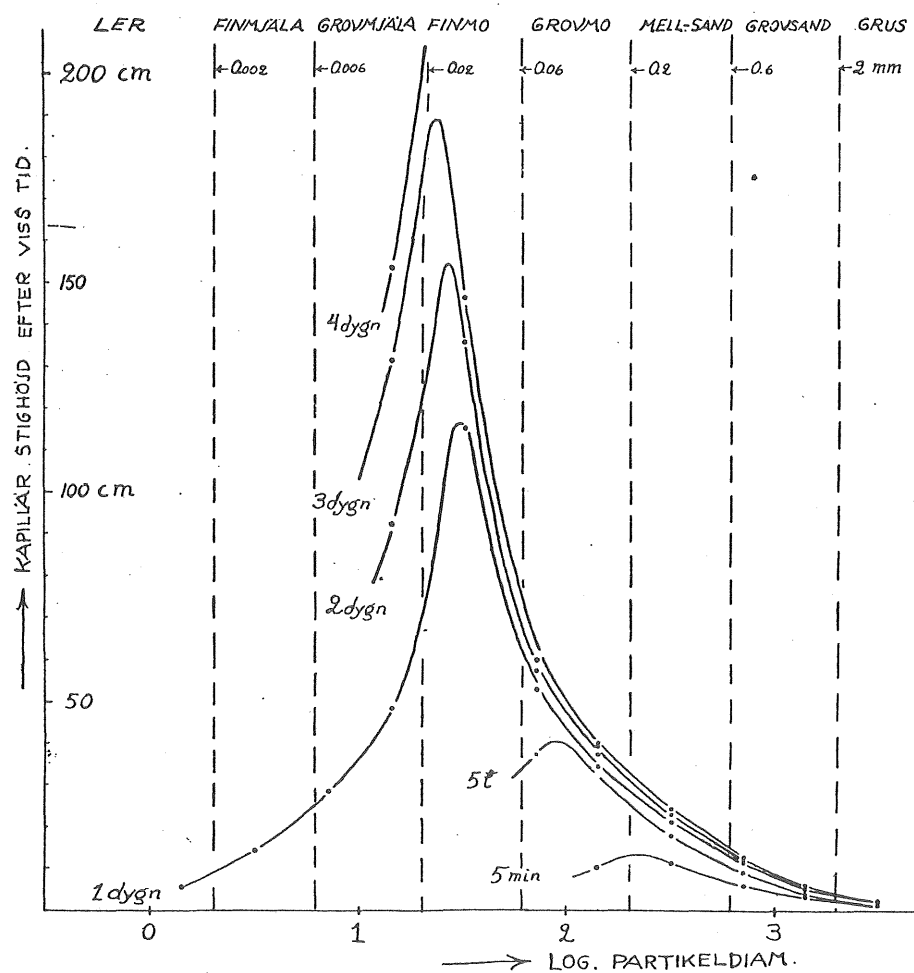
Kapillaritetens beroende av kornstorlek (porstorlek) har empiriskt bestämts av bl a Beskow (1929).

Tabell 14, Beskow (1935), visar kapillariteten dels för rena fraktioner, dels för naturliga sediment vid lös (K_F) respektive tät (K_M) packning.

Figur 39, Beskow (1930), visar den kapillära stighöjden för några olika jordartsfraktioner efter en viss tidsperiod.

Rena fraktioner			Naturliga sediment		
Korngrupps- beteckning	Kornstorleks- gränser mm	Kapillaritet	Jordartsnamn	Kapillaritet	
				K_F	K_M
Grovsand	2—0.6	3—10 cm	Grovsand	3—12 cm	4—15 cm
Mellansand	0.6—0.2	10—30 cm	Mellansand	10—35 cm	12—50 cm
Grovmo	0.2—0.06	30—100 cm	Grovmo	30—200 cm	40—350 cm
Finmo	0.06—0.02	1—3 m	Finmo	1.5—5 m	2.5—8 m
Grovmjåla	0.02—0.006	3—10 m	Mjåla	4—10 m	6—12 m
Finmjåla	0.006—0.002	10—30 m	Låttlera	8—15 m	10—ca 18 m
Grovler	0.002—0.0002	30—300 m	Mellanlera	14—? m	ca 15—? m
Finler	<0.0002	>300 m	—	—	—

Tabell 14. Kapillaritet för rena fraktioner och naturliga sediment vid lös (K_F) respektive tät (K_M) packning, (Beskow, 1935).



Figur 39. Kapillär stighöjd hos olika jordar efter viss tid, (Beskow, 1930).

6 DIMENSIONERING AV DAGVATTENSYSTEM

6.1 Samband mellan dagvatteninfiltration på grönytor och konventionell dagvattenhantering

De olika typer av dagvattensystem som förekommer är:

- Separat system: Spillvatten ledes bort i ledning till reningsverk/recipient medan dagvattnet avleds i diken.
Idag fungerar denna princip i en del äldre villaområden och fritidsbebyggelse.
- Kombinerat system: Spillvatten och dagvatten avleds i samma ledning till reningsverk/recipient.
Vid kraftiga regn bräddar en del av avloppsvattnet direkt till recipient utan rening för att reningsverket ej skall överbelastas.
- Duplikatsystem: Separata ledningssystem för spillvatten och dagvatten. Dagvattnet leds direkt till recipienten eller via utjämningsmagasin till reningsverk.
- Lokalt omhändertagande av dagvatten: Detta innebär i princip att man tillför marken så mycket som möjligt av det (dag-) vatten som marken hade erhållit om området ej hade bebyggts! Detta kan ske via perkulationsmagasin eller genom dagvatteninfiltration på grönytor. Beroende på geologiska förutsättningar och tillgängliga grönytor kan olika mängder dagvatten omhändertas på detta vis. Bräddavlopp till konventionellt dagvattensystem enligt någon av de tre första kategorierna krävs normalt. LOD innebär dock en minskning och flödesutjämning av dagvatten till det konventionella systemet.

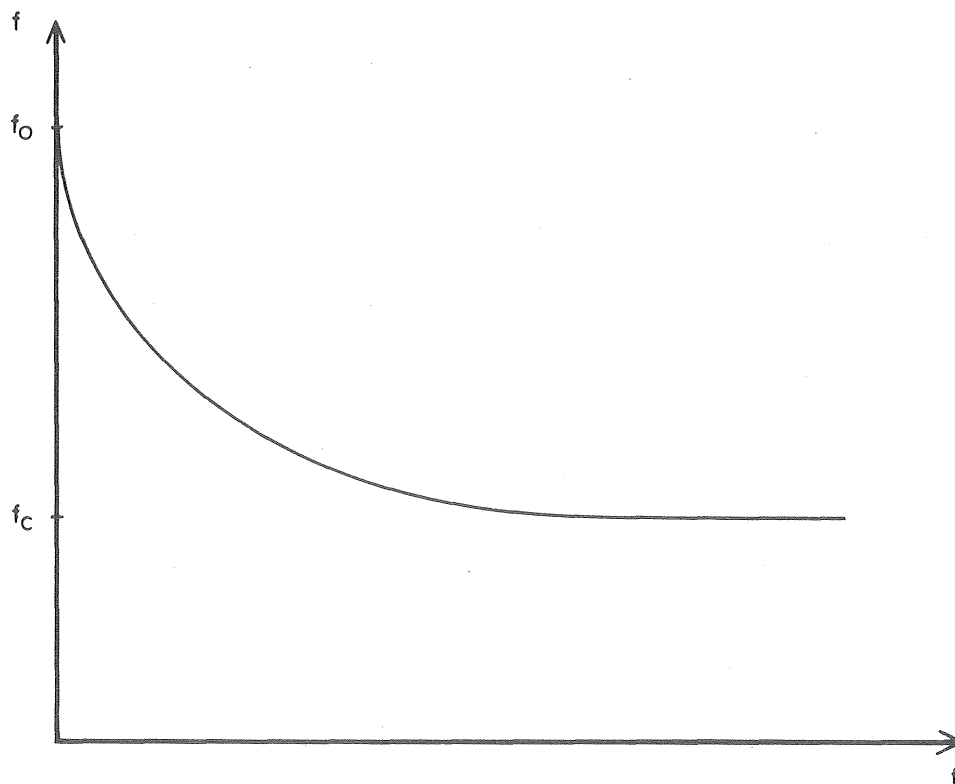
Dagvatteninfiltration på grönytor kan som ovan antytts inte bli den enda lösningen på dagvattenproblematiken. Därför måste den hela tiden ses i relation till konventionell dagvattenhantering.

6.2 Dimensionerande regntillfällen

Två typer av dimensionerande regntillfällen kan särskiljas.

A. Kortvariga regn med höga nederbördsintensiteter

Dessa regn förekommer främst sommartid. De är dimensionerande för ledningar. Vid dagvatteninfiltration på grönytor råder i allmänhet mycket goda förutsättningar att ta hand om dessa regn. Markvattenzonen är uttorkad och den initiella infiltrationskapaciteten (f_0) hög. Vid flera tätt på varandra följande regn av denna typ kan dock ytaavrinning ske speciellt om förhållandet hårdgjord yta/grönyta är stort.



B. Långvariga regn med lägre nederbördsintensiteter

Dessa regn förekommer främst på hösten. De är dimensionerande för utjämningsmagasin och perkolationsmagasin. Förmodlingen är de dimensionerande även vid dagvatteninfiltration på grönytor. Vid dessa regn kan endast konstant infiltrationskapacitet (f_c) påräknas, då markvattenzonen oftast har hög vattenhalt vid regnets start.

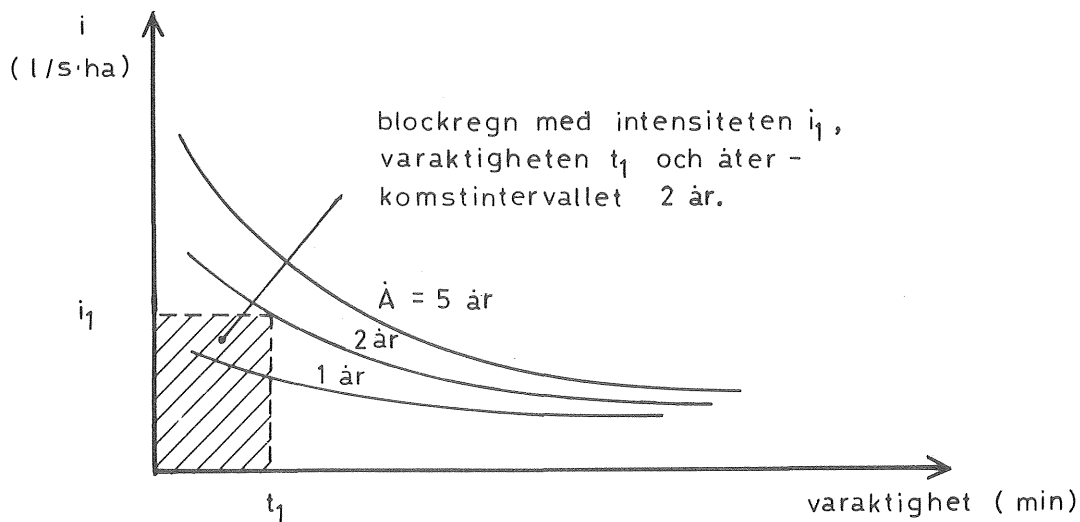
Dessutom finns stor risk för ytuppmjukning och kompaktering, då marken torkar upp mera långsamt på grund av låg evapotranspiration vid denna årstid.

Den avrinning som kan ske från grönyta för dagvatteninfiltration vid dessa regn kan bidra till det flöde som kan bli dimensionerande för utjämningsmagasin, men resulterar ej i dimensionerande situation för ledningssystemet.

6.3 Dimensionering av enheter i dagvattensystem

6.3.1 Ledningar

Dimensioneras för ett visst maximalt flöde. Detta flöde beräknas utgående från uppmätta eller statistiska regn för orten. Ett s k blockregn med visst återkomstintervall (t ex 1, 2 eller 5 år) har en viss intensitet kopplad till en viss varaktighet, figur 35 och 41. Ledningsnätet beräknas för regn av olika varaktighet (för valt återkomstintervall), varvid olika regn kan bli dimensionerande för olika delar av dagvattensystemet. Beräkningarna utförs med rationella metoden, retardationsmetoden, enhets-hydrografmetoden eller datorsmodeller (som kan bygga på föregående). Angående datorsmodeller se avsnitt 7.4.



Figur 41. Intensitets-varaktighetsdiagram.

Man antar, att regn med ett visst återkomstintervall ger ett flöde med samma återkomstintervall. Detta är inte alltid med sanningen överensstämmande och innebär som regel att ett dagvattensystem som dimensioneras efter 2-årsregnet ej översvämmas en gång vartannat år.

6.3.2 Utjämningsmagasin

Dimensioneras för viss maximal volym. Beräknas lämpligtvis med datormodeller.

Beräknad storlek på magasinen beror delvis på hur dessa antas fyllas respektive tömmas. Olika mer eller mindre exakta antaganden finns (Bergström, 1976).

6.3.3 Perkolutionsmagasin

Dimensioneras för viss maximal volym.

Olika beräkningsmodeller finns, ex Paus-Andersson-Carlstedt (1974), Ericsson (1978), Cederwall-Eriksson (1977). Svårigheten är i detta fall att erhålla ett riktigt värde på omgivande marks hydrauliska konduktivitet.

7.1 Befintliga beräkningsmodeller

De beräkningsmodeller som beskrivs i detta avsnitt är av följande slag:

1. Infiltrationsmodeller
2. Markfysikaliska/botaniska markvattenmodeller
3. Avrinnings/dagvattenmodeller

Modellerna täcker alltså hela skalan från mycket detaljerade modeller för beräkning av en markfysikalisk eller hydrologisk process till mycket översiktliga dagvatten- och avrinningsmodeller.

Några modeller används med vissa antaganden eller generaliseringar som delmodeller till de mer övergripande modellerna. Detta gäller för de hydrologiska infiltrationsmodellerna.

Genomgången gör inget anspråk att vara fullständig. Kriterierna för att en modell skulle komma med och beskrivas här är att de har varit kända eller påträffats vid den begränsade litteratursökning som genomförts och att de har synts kunna komma till användning i detta sammanhang.

7.2 Infiltrationsmodeller

Det förekommer i princip två sätt att angripa infiltrationsproblemet. Dels med hjälp av en markfysikalisk modell och dels genom en hydrologisk modell.

7.2.1 Markfysikalisk infiltrationsmodell

Det markfysikaliska angreppssättet ger sannolikt en mer realistisk infiltrationsmodell. Två huvudsakliga problem tillstöter när man skall använda en sådan modell:

1. En stor mängd mätvärden krävs, vilka fordrar en omfattande bearbetning.
2. Infiltrationsprocessen är inte en rent vertikal flödesprocess, utan beror av bl a marklutning och förhållandet mellan vertikal och horisontell konduktivitet.

Vid modellarbetet måste man överväga merarbetet vid en markfysikalisk modell jämfört med en hydrologisk.

Om Darcys lag (1), för strömning under omättade förhållanden kombineras med en kontinuitetsekvation (2) erhålles ekvation (3) som innehåller två beroende variabler. Denna ekvation har för närvarande ingen analytisk lösning (Ericsson & Holmstrand, 1978). Numeriska lösningsmetoder av ekvation (3) med dator föreligger emellertid.

$$V' = -k(\psi) \left[\frac{\delta\psi}{\delta z} + 1 \right] \quad (1)$$

$$\frac{dm}{dt} = - \frac{dv}{dz} \quad (2)$$

$$\frac{\delta m}{\delta t} = \delta \left[k(\psi) \left[\frac{\delta\psi}{\delta z} + 1 \right] \right] / \delta z \quad (3)$$

V = flödeshastighet, positiv uppåt

$k(\psi)$ = kapillär konduktivitet

ψ = bindningstryck

z = vertikalt avstånd från markyta, riktat uppåt

m = vattenhalt i vol %

Vissa begreppsriktiga markfysikaliska modeller som bygger på omättat flöde (ekvation 1) har presenterats. Ett exempel är en modell av Green och Ampt (1911). Denna beskrivs i Ericsson (1978).

Svårigheten vid användande av denna modell är att bestämma det bindningstryck, som råder vid vätningsfronten. Detta måste göras experimentellt.

7.2.2 Hydrologisk infiltrationsmodell (efter Ericsson, 1978)

På grund av svårigheterna att använda de markfysikaliska modellerna har ett flertal hydrologiska modeller framtagits. (Se Ericsson, Holmstrand, 1978). De modeller som hittills mest använts i dagvattenmodeller är Horton's respektive Holtan's ekvationer. De begreppsriktiga hydrologiska mo-

dellerna bygger på kontinuerligt avtagande funktioner tills dess att ett slutvärde erhålls.

Horton's modell

Horton har presenterat en infiltrationsekvation som lyder:

$$f = f_c + (f_o - f_c) e^{-kt} \quad (4)$$

där f är infiltrationshastigheten vid tiden t , f_o och f_c är begynnelse respektive slutvärdet och k är infiltrationskonstanten som beror av jordart och vegetation. Infiltrationshastigheterna betraktas som kapacitetshastigheter och Horton har därmed antagit att regnintensiteten alltid är större än infiltrationskapaciteterna. Därmed skulle alltid en viss dämning förekomma. Detta är den största nackdelen med användningen av Horton's ekvation. Regnintensiteten varierar ju i verkligheten stort och därför understiger den därmed ofta infiltrationskapaciteten. I dagvattenmodeller förskjuts därför infiltrationskurvan med tiden tills dess att den integrerade regnintensiteten (mindre än infiltrationskapaciteten) är lika med den integrerade infiltrationen. Den ackumulerade infiltrationsvolymen är lika med tidsintegralen av ekvationen (4)

$$F = f_c t + \frac{f_o - f_c}{k} (1 - e^{-kt}) \quad (5)$$

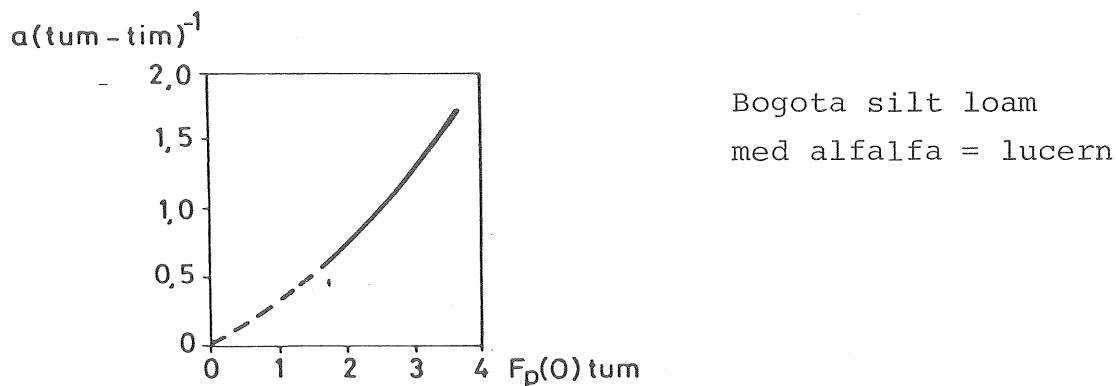
Holtan's modell

Holtan har föreslagit en begreppsriktig modell som bygger på iakttagelsen att allteftersom jordartens porer fylls avtar infiltrationshastigheten och når ett slutvärde. Slutvärdet f_c sammanknippas med gravitationens påverkan på flödet vid fältkapacitet. Modellen är formulerad på så sätt att den relaterar infiltrationshastigheten (f) till jordartens resterande tillgängliga porutrymme (F_p) innan vattenmättnad uppnås.

$$f = a \cdot F_p^n + f_c \quad (6)$$

Parametrarna a och n har bestämts experimentellt från infiltro-

meterförsök. Exponenten n var omkring 1,4 för alla de studerade ytorna medan koefficienten a varierade mellan 0,2 till 0,8. Koefficienten a 's variation beror av den initiella markvattenhalten på så sätt att a är högst vid vissningsgränsen och minst vid fältkapaciteten (se fig42). Således varierar Holtan's parameter a med hänsyn till begynnelsevillkoren precis som Horton's k -värde.



Figur 42. Parameterens a variation med tillgängligt porutrymme. (Efter Overton & Meadows, 1976).

Problemet med ekvation (6) är att exponenten $n = 1.4$ inte tillåter ekvationen att integreras så att man får infiltrationskapacitetens förändring med tiden. Overton (1964) har emellertid visat att om ekvation (6) integrerades med en exponent för F_p , $n = 2$, erhålls ej alltför stora avvikelser från Holtans ursprungliga resultat. Tillgänglig porvolym att infiltrera i vid regnets början $F_p(0)$ sätts då lika med totala vattenmättnaden AWC (available water capacity) minus begynnelsevärdet för vattenhalten IM (initial soil moisture). IM måste vara större än eller lika med det hydrokopiskt bundna vattnet.

$$F_p(0) = AWC - IM \quad (7)$$

Sambandet mellan F_p och den summerade infiltrerade volymen F är

$$F_p(t) = F_p(0) - F(t) \quad (8)$$

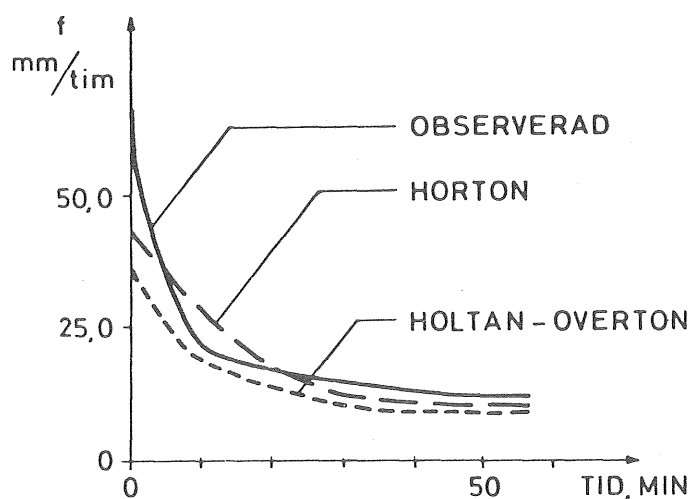
Ekvationen för infiltrationskapaciteten blir

$$f = f_c \frac{1}{\cos^2 \{(af_c)^{1/2} (t_c - t)\}} \quad (9)$$

t_c är tiden efter vilken konstant infiltrationshastighet uppnås:

$$t_c = (af_c)^{-1/2} \tan^{-1} \{(a/f_c)^{1/2} F_p(0)\} \quad (10)$$

Horton's modell har hittills använts mest vid avrinningsmodeller i urbana områden medan Holtan's modell tillämpats på rurala ytor. I figur 43 åskådliggörs de båda hydrologiska infiltrationsmodellerna jämförda med ett fältförsök. För vidare information om Holtan's modell hänvisas till avrinningsmodellen ILLUDAS (Terstriep & Stall, 1974).



Figur 43. Hortons och Holtans infiltrationsmodeller jämförda med ett fältförsök. (Efter Overton & Meadows, 1976).

7.3 Markvattenmodeller

En modell av detta slag kan vara rent markfysikalisk eller markfysikalisk/botanisk. De markfysikalisk/botaniska modellerna har utvecklats under lång tid för användning i jordbrukssammanhang. Den centrala frågeställningen här är att växterna får tillräcklig vattenförsörjning.

De markfysikaliska/botaniska modellerna kan grovt indelas i:

A Modeller som beskriver markvattenflöde till en enskild rot

Modeller på denna detaljeringsnivå är ej intressanta för våra problemställningar. Författare som presenterat modeller av denna typ är Philip (1957) och Gardner (1960).

B Modeller som beskriver markvattenflöde till rotsystemet i dess helhet

Dessa modeller beskriver markvattenmagasinets beteende.

Nimah och Hanks (1973) presenterar en modell, som är avsedd att förutsäga markvattenhaltsprofiler, evapotranspiration, vattenflöde till eller från grundvattenytan och rötternas vattenupptagning under transienta fältförhållanden.

Som indata används bl a:

Jordegenskaper	-	Hydraulisk konduktivitet som funktion av vattenhalt. Bindnings-tryck som funktion av vattenhalt
Växtegenskaper	-	Rotzonsdjup Rotfördelning "Limiting root water potential"
Klimategenskap	-	Potentiell evaporation " transpiration Nederbörd

Modellen använder sig av SI-systemet!

Selim, Hammond, Mansell (1977) studerar inflytandet av konstbevattning och inhomogenitet hos jordar på perkolation och markvattenmagasinering i rotzonen. För detta ändamål använder man sig av en numerisk lösning till den ekvation som beskriver markvattenflöde och växternas vattenupptagning.

Som indata används:

Hydraulisk konduktivitet som funktion av vattenhalten
(två markskikt med olika hydraulisk konduktivitet kan an-
sättas).

Bindningstryck som funktion av vattenhalt

Transpiration

Markvattendiffusivitet

Effektiv rotfördelning

Rotzonens djup

Nederbörd (eller konstbevattning)

I modellen används SI-systemet.

Andra författare som behandlat dessa frågeställningar är
bl a Molz och Remson (1970, 1971) och Molz (1971).

De indata som krävs för modellerna kan vara svåra att ta fram,
t ex rotfördelning för olika gräs för grönytor. För växter
som odlas inom jordbruket finns en stor mängd material.

7.4 Avrinnings/dagvattenmodeller

7.4.1 Olika typer av dagvattenmodeller

Dimensionerings/analysmodeller används när element i ett dag-
vattensystem skall dimensioneras. I dessa modeller betraktar
man ett enskilt regn (med viss intensitet, varaktighet och
återkomstintervall).

Tidsstegen i modellerna är korta (1-2 min). Modellerna tillåter
en detaljerad beskrivning av såväl ledningssystemet som avrin-
ningsförloppets variation i tid och rum.

Planeringsmodeller används för olika betraktelser över längre
tidsperioder. Betraktelserna kan gälla statistisk behandling
av vattenflöden till reningsverk, bräddning av spill- och
dagvatten till recipienter och beräkning av föroreningsmängder

etc. Mätdata från längre tidsperioder är i allmänhet nödvändiga. Ofta utnyttjas långa kontinuerliga tidsserier av regn vid beräkningarna. Tidsstegen i modellerna är tämligen långa och varierar från några minuter upp till en timme.

Planeringsmodellerna används för översiktlig planering av avloppssystem för dagvatten och spillvatten, där underlaget för beräkningarna ofta är bristfälligt, varför de arbetar med lägre detaljeringsgrad vad gäller ytavrinning och ledningsnätstransport än dimensioneringsmodellerna.

Existerande flödesmodeller applicerbara på dagvattensystem kan indelas i två grupper.

A-modeller, i vilka flödesförloppet beräknas under beaktande av eventuella dämningseffekter från nedströms liggande ledningar.

B-modeller, i vilka flödesförloppet beräknas utan beaktande av dämningseffekter.

Fördelen med typ B-modellerna är att de är mindre komplicerade och billigare att använda än typ A-modellerna och att de för givna tillflöden möjliggör en dimensionering av ledningssystemet med start med uppströms ledningar.

Exempel på modeller som kan användas för dimensionering/analys är:

Rationella metoden

Retardationsmetoden (B), (Tid - area-metoden)

NIVA-modellen (B)

ILLUDAS (B)

CTH-avrinningsmodell

QOS-modellen (A)

SWMM (A eller B)

QOS-modellen tillåter dock ej dimensionering.

Exempel på modeller som kan utnyttjas för planering är:

NIVA-modellen

QOS-modellen

STORM

Samma modell kan således användas dels för planering, dels för dimensionering/analys. Dessa modeller är då så uppbyggda, att de tillåter både hög och låg detaljeringsgrad.

7.5 Beskrivning av några avrinnings/dagvattenmodeller

De modeller som beskrivs i detta avsnitt är följande:

7.5.1 CTH-modellen (Arnell och Lyngfelt)

7.5.2 ILLUDAS

7.5.3 NIVA

7.5.4 QOS

7.5.5 SWMM

7.5.6 STORM

7.5.7 Maryland Highway Drainage Study

7.5.8 USGS-modellen

De av modellerna som är speciellt lättillgängliga för användande eller är av principiellt intresse för dagvatteninfiltration på grönytor beskrivs mer ingående. Övriga modeller beskrivs i huvudsak vad gäller infiltration.

7.5.1 CTH-modellen (Arnell & Lyngfelt)

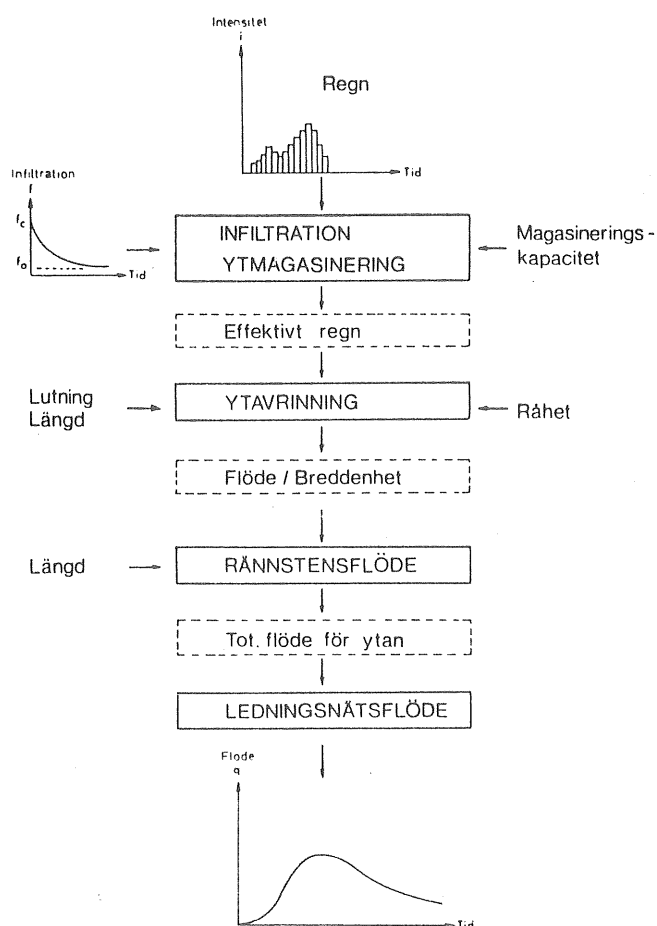
7.5.1.1 Allmänt

Utgångspunkt för arbetet har varit en beräkningsmodell utvecklad vid Cincinnati-universitetet i USA. Vidareutveckling

och förbättringar har gjorts för att anpassa modellen till svenska förutsättningar och önskemål. Modellen undergår kontinuerligt förändringar, varför den i dagens läge ej kan användas av externa brukare. Synsätten på de olika delprocesserna är av principiellt intresse, varför modellen beskrivs i det följande med en sammanfattning av Arnell, Lyngfelt (1975).

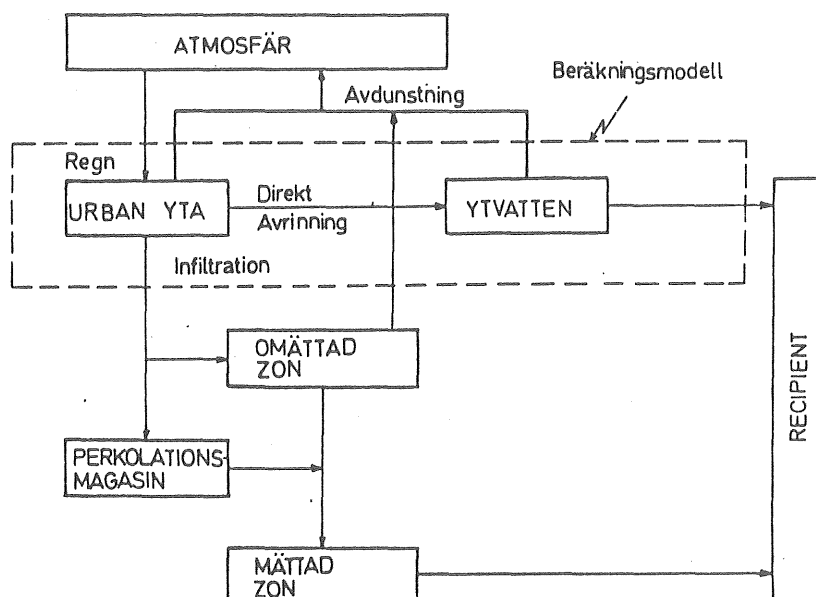
7.5.1.2 Modellstruktur

Beräkningsmodellen beskriver nederbörds-avrinningsprocessen uppdelad i fem delar: infiltration, ytmagasinerings, ytavrinning, rännstensflöde och flöde i ledningsnät (se figur 44). Avrinningsområdet delas upp i ett stort antal delområden med olika avrinningskaraktistika och avrinningen beräknas för varje delområde.



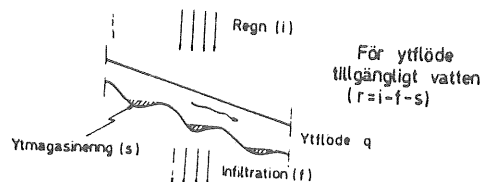
Figur 44. Beräkningsmodellens struktur.

En inplacering av modellen i det urbana kretsloppet (se figur 45) visar, att avdunstning och vattnets rörelser i markens omättade och mättade zoner ej beskrivs. Dessa delar har betydelse vid beskrivning av avrinningen för längre tidsperioder.



Figur 45. Det urbana kretsloppet med beräkningsmodellens begränsningar inlagda.

Beräkningsmodellen arbetar konsekvent med intensiteter (vattenmängd/tidsenhet) i alla delmodeller. Regnet beskrivs med en nederbördshyetograf. Infiltrationen subtraheras från nederbörden och överskottet utgör tillflöde till ytmagasinet. Då regnintensiteten understiger infiltrationskapaciteten så sker en avtappning av ytmagasinet så länge det finns vatten kvar i magasinet. Ytmagasineringsen beskrivs med ett samband som medför att uppfyllning av magasinet och ytavrinningen sker parallellt. Det magasinerade vattnet antages ej deltaga i avrinningsförloppet. För ytavrinningen tillgängligt vatten utgöres av skillnaden mellan regnintensiteten och infiltrationskapaciteten/magasinsintensiteten (se figur 46). Ytflödet beräknas med hjälp av empiriska samband och resultatet ges som tillflöde till rännstenen per breddmeter yta eller längd-meter rännsten.



Figur 46. Tvärsnitt genom en avrinningsyta med delprocesserna inlagda.

7.5.1.3 Delprocesser

Nederbörd

Nederbördsindata utgörs av en hyetograf med momentana regnintensitetsvärden angivna med ekvidistanta tidsavstånd. Mellan intensitetsvärdena interpoleras rätlinjigt. Hänsyn till variationer i nederbördens arealutbredning tas inte.

Infiltration

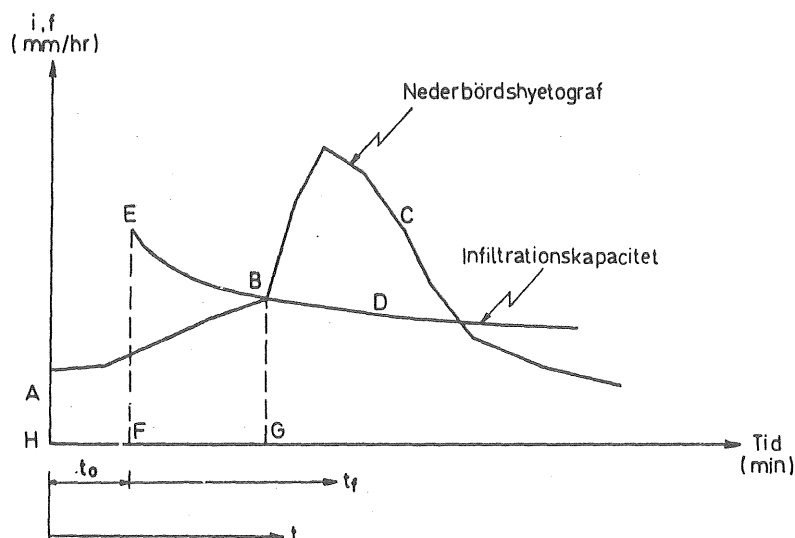
Delområdena klassas antingen som impermeabla eller permeabla. För de permeabla ytorna avgår vatten genom infiltration. Denna beräknas med hjälp av Hortons ekvation:

$$f = f_c + (f_o - f_c) e^{-kt_f} \quad (11)$$

f = infiltrationskapacitet vid tiden t_f (mm/hr)
 f_o = infiltrationskapacitet vid tiden $t_f = 0$ (mm/hr)
 f_c = infiltrationskapacitet vid tiden t_f då $t_f \rightarrow \infty$ (mm/hr)
 k = avklingningshastighet (1/hr)
 t_f = tid från början av infiltrationskapacitetskurvan

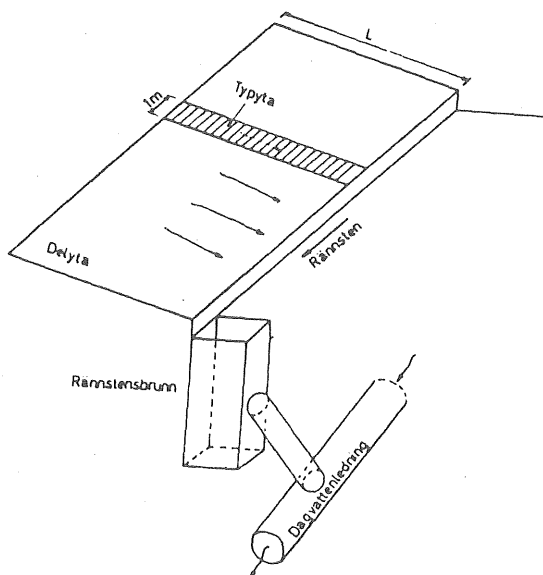
Om regnintensiteten redan från regnets början är större än infiltrationskapaciteten startar infiltrationskurvan vid samma tidpunkt som regnhyetografen. Om däremot nederbördsintensitetens startvärde är mindre än begynnelsevärdet hos infiltrationskurvan förskjuts infiltrationskurvan i förhållande till regnkurvan, så att vid den tidpunkt då regnkurvan skär infiltrationskurvan är den infiltrerade volymen lika med regnvolymer (se figur 47). Fram till skärningspunkten sätts den aktuella infiltrationen lika med nederbördsintensitetsvärdena och efter denna punkt lika med infiltrationskurvas värden.

Ett speciellt fall inträffar, då regnintensiteten efter en topp faller under de potentiella infiltrationsvärdena. Vatten infiltreras då från det ytmagasin som har fyllts upp tidigare. Detta är viktigt, då man har regn med flera intensitetstoppar.



Figur 47. Förskjutning av infiltrationskurvan i förhållande till regn-kurvan. (area ABGH = area FEBG).

Beräkningarna t o m ytflödet utföres för ett antal typytor med en bredd av en meter. Vid beskrivning av avrinningen från de olika delområdena hänvisas enbart till typytans nummer och därmed sammanhängande avrinningskarakteristika. På detta sätt behöver fullständiga beräkningar endast genomföras för typytorna och beräkningstid och arbete med indata sparas (se figur 48).



Figur 48. Schematisk indelning av avrinningsprocessen.

Beskrivningen av rännstensflödet innebär enbart en summering av tillrinnande ytflöde från delområden längs rännstenen. Inflödet till ledningsnätet samlas i fiktiva eller verkliga ledningsbrunnar och adderas till flödet från uppströmsledningarna. Med ett enkelt förfarande förskjuts den resulterande hydrografen utan "deformation" i ledningen nedströms och nya tillflöden summeras till i nästa brunn osv.

Ytmagasinering

Ytmagasinering inkluderar interception, vätning och magasinering av vatten i ythåligheter. Detta vatten antages ej delta i avrinningsprocessen. Interceptionen antages vara obetydlig i urbana områden. Vidare antager man avdunstningen vara lika med noll under ett nederbördstillfälle. Detta antagande medför fel i beräkningarna vid simulering av flöden från flera regnskuror med uppehåll emellan, då avtappning genom avdunstning sker av magasinet mellan regnskurorna. Magasinsförändringen beskrivs med ett exponentiellt samband.

$$s = (i-f) e^{-\frac{P-F}{S}} \quad (12)$$

s = tillflöde till ytmagasinet (mm/hr)

i = nederbördsintensitet (mm/hr)

f = infiltrationskapacitet (mm/hr)

P = ackumulerad nederbörd vid tidpunkten t (mm)

F = ackumulerad infiltration vid tidpunkten t (mm)

S = total ytmagasinskapacitet (mm)

Ovanstående ekvation innebär, att ytavrinningen börjar samtidigt med uppfyllnaden av ytmagasinet. Då nederbördsintensiteten understiger infiltrationskapaciteten tappas ytmagasinet av genom infiltration. För impermeabla ytor bortfaller infiltrationstermerna (f och F) i ovanstående ekvation. Tillgängligt vatten för ytavrinning utgöres av nederbördsintensiteten minus infiltration och ytmagasinering.

7.5.1.4 Indata

Infiltration

Beräkning av infiltrationen enligt Hortons ekvation kräver kännedom om infiltrationskapaciteten vid regnets början, infiltrationskapacitetens asymptotvärde svarande mot uppnådd fältkapacitet samt avklingningskonstantens värde. Parametrarna är mycket svårbestämda. I litteraturen föreslås vanligen att man utför infiltrationsförsök med hjälp av ringinfiltrometer. Utförda försök visar emellertid, att man erhåller mycket stor spridning i resultaten även inom ett och samma område. I ett urbant område är detta ytterligare accentuerat på grund av att de naturliga förhållandena förändrats genom de schaktningar och uppfyllnader som har ägt rum. I brist på bättre metoder föreslås emellertid att ringinfiltrometer används för fastställande av parametrarna i Hortons ekvation. Infiltrationskapaciteten vid regnets början bör dessutom kopplas till någon form av API-värde (API=antecedent precipitation index) som anger infiltrationskapacitetens status i förhållande till tidigare nederbörd.

Ytmagasinering

Vid beräkning av ytmagasineringen ingår en magasinskoefficient S som anger det maximala ytmagasinet i mm på ytan. Det har vid testkörning av beräkningsmodellen visat sig att denna parameter har stor inverkan på avrinningshydrografens utseende vid korta intensiva regn med snabb uppgång i flödet. Studier av magasinskoefficientens storlek har bl a gjorts av Pecher (1970) och Pfeiff (1971). Av stort värde är här mätningar från små välkontrollerade homogena ytor. Sådana mätningar bedrivs bl a i Lund och Göteborg. Koefficienten är ett mått på den volym vatten som ej rinner av under ett regn. (Vid beräkning av avrinningen från permeabla ytor försvinner även vatten genom infiltration). Detta betyder att även vatten i svackor och storskaliga håligheter inkluderas i koefficienten S . Detaljeringsgraden vid indelningen av det totala

avrinningsområdet i delytor har betydelse. En grov indelning av området innebär, att en impermeabel eller permeabel typyta kan innehålla både impermeabla och permeabla delar, vilket naturligtvis påverkar valet av ytmagasins-koefficient.

7.5.2 ILLUDAS

Illudas (Illinois Urban Drainage Area Simulator) är en datoranpassad beräkningsmodell för dimensionering och utvärdering av dagvattensystem i urbana områden. Modellen togs fram under 1960-talet vid Road Research Laboratory i England och har vidareutvecklats 1972-74 vid Illinois State Water Survey i USA.

Modellen är sedan 1976 tillgänglig i Sverige. Geohydrologiska forskningsgruppen, CTH, har med medel från BFR modifierat datorprogrammet samt utarbetat en manual på svenska. Modellen har lärts ut vid två externa kurser (1978 och 1979) vid CTH. Olika externa användare som kommuner och konsultföretag har använts sig av modellen för ett flertal studier.

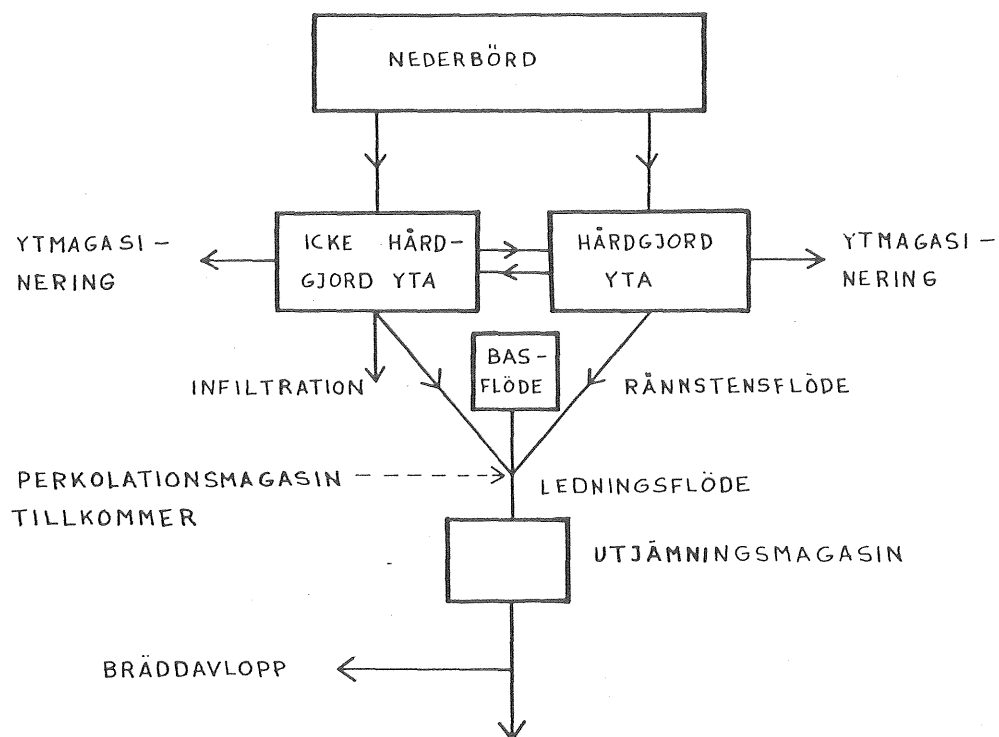
Modellen är lättillgänglig för olika användare. Vidare har modellen en intressant uppbyggnad för dagvatteninfiltration på grönytor. Av dessa anledningar kommer den att beskrivas tämligen utförligt.

Modellen är en dimensioneringsmodell som ej kan ta hänsyn till dämning vid beräkningar.

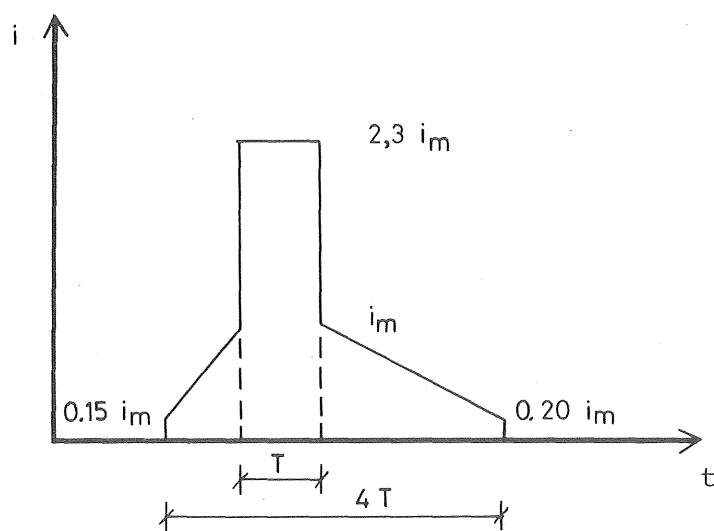
Angående avrinningsförloppets delprocesser i ILLUDAS, se figur 49.

Regndata: Modellen kan använda sig av "typregn", statistiskt genererade tidsserier av regn eller verkliga regn.

Typregnen kan vara antingen blockregn eller Sifalda-regn, som modellen konstruerar efter angivande av intensitet och varaktighet för centrala regnet, se figur 50.



Figur 49. Avrinningsförloppets delprocesser i ILLUDAS.



Figur 50. Sifalda-regn.

Ytmagasineringsförlust: Anges i mm nederbörd. I denna förlust kan interception antas ingå.

Infiltrationskapacitet: I Illudas baseras uppskattningen av infiltrationens storlek och fördelning i tiden på standardkurvor enligt Horton.

Den aktuella ytans karakteristiska infiltrationshastigheter f_o och f_c beror av markens hydrologiska egenskaper. I Illudas används fyra hydrologiska marktyper, vars Hortonkurvor finns lagrade i programmet. I modellens nuvarande version finns ingen möjlighet att använda sig av valfri Hortonkurva, men beräkningsgången är sådan, att denna modifiering är möjlig.

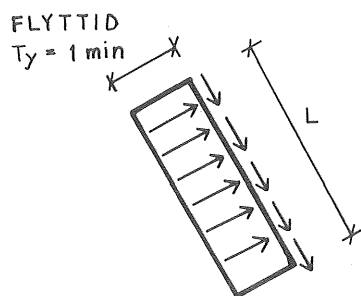
Fuktighetsförhållandena i marken vid regnets start tar modellen hänsyn till genom att använda ett markfuktighetsindex IMC som definierar en redan utnyttjad infiltrationskapacitet. Är marken mättad vid regnets start, dras 50 mm - 150 mm (beroende på hydrologisk marktyp) av från initieell infiltrationskapacitet. Om infiltrationshastigheten under något tidsintervall överskrider regnintensiteten överföres resterande infiltrationskapacitet till nästföljande tidsintervall.

Avrinningens hastighet beräknas med hjälp av ett tid-area-samband baserat på en av programmet beräknad, alternativt en som indata specificerad, flyttid.

Icke_hårdgjorda_ytor: Förutom direkt nederbörd förutsätts dessa ytor kunna tillföras vatten även från t ex takytor via stuprörsutkast. Hårdgjorda ytor vars avrinning tillföres icke hårdgjorda ytor benämnes "indirekt anslutna hårdgjorda ytor". Denna avrinning antas ske momentant och den fördelas likformigt över den icke hårdgjorda ytan.

Flyttider

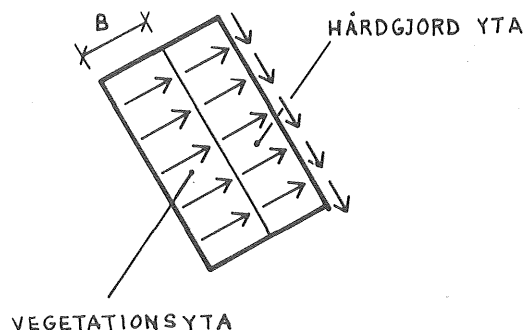
1. Programmet beräknar flyttiden
 - A. Hårdgjord yta



$$\text{Total flyttid: } 1 \text{ min} + \frac{L}{\text{medelhast i rännstenen}}$$

Indata till modellen: L, rännstenens lutning, typ av yta.

B. Icke hårdgjord yta (grönyta)



Flyttid på gräsyta (T_g) = funktion av B och ytans lutning enligt IZZARDS formel

Total flyttid = T_g + total flyttid enligt hårdgjord yta.

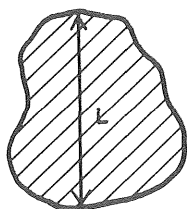
2. Flyttid ges som indata

Om det ej går att schematisera ytavrinningen enligt ovan.

Uppskatta L

Uppskatta flythastighet V

Beräkna L/V = flyttid, ges som indata



Skär på samma sätt för både hårdgjord yta och gräsyta.

7.5.3 NIVA-modellen

Denna modell har utvecklats vid Norsk Institutt for Vannforskning.

Modellen kan användas både för dimensionering och planering av dagvattensystem. Vid dimensionering kan modellen ej ta hänsyn till eventuell dämning i ledningssystemet.

Modellen arbetar icke-kontinuerligt, då den är begränsad till 1000 tidsteg.

Vid beräkning av föroreningar antas dessa proportionella mot flödet.

Modellen är fri för allmän användning. Institution för Vattenbyggnad, CTH, avser att göra modellen mer tillgänglig genom att utarbeta svensk manual för den.

7.5.4 QQS

QQS-modellen kan användas både för analys och planering. Genom att modellen är en A-modell, dvs beaktar dämningseffekter i ledningssystemet blir den relativt dyr att använda. Modellen ägs av Dorch Consult München.

Effektiv nederbörd (I_{eff}) bestäms som:

$$I_{eff}(t) = I_{to}(t) - I_{ev}(t) - I_{sd}(t) - I_{in}(t) - \frac{dS}{dt} \quad (13)$$

där I_{to} = total nederbörd

I_{ev} = evaporation

I_{sd} = ytmagasineringskapacitet

I_{in} = infiltration

$\frac{dS}{dt}$ = förändring i snömagasinerings

Under ett nederbördstillfälle är förlusten på grund av evaporation (I_{ev}) försumbar. Evaporationen som beror på medellufttemperaturen för varje tillfälle anses emellertid

öka tillgänglig ytmagasineringskapacitet mellan regn-tillfällen. För närvarande är ändringen i snömagasineringslik med noll i modellen. Möjligheter att föra in simulering av snömagasinerings och -smältning finns i programmet.

Ytmagasineringsförluster I_{sd} har observerats vara i storleksordningen 0,7 till 2,0 mm för hårdgjorda ytor och 4,0 till 10,0 mm för permeabla ytor. Dessa förluster uppstår i början av ett nederbördstillfälle. Mätbara förluster på grund av infiltration I_{in} är osannolika för hårdgjorda ytor.

På permeabla ytor skulle en infiltrationskurva enligt Horton kunna antas. Istället har konstant infiltrationskapacitet antagits!

7.5.5 SWMM

SWMM (Storm Water Management Model) har utvecklats med medel från EPA (Environmental Protection Agency) i USA. Modellen publicerades först år 1971.

SWMM är en omfattande modell. Förutom att beräkna avrinning från urbana ytor har den även rutiner för simulering av utjämning, rening och recipientreaktion.

Avrinning

Det studerade delområdet indelas i tre olika kategorier enligt följande:

- a. Ogenomsläpplig mark utan initiell förlust (svackor och liknande på markytan)
- b. Ogenomsläpplig mark med initiell förlust (ytmagasinerings)
- c. Genomsläpplig mark

Infiltration

Infiltration på genomsläpplig mark simuleras med Hortons ekvation. SWMM simulerar även markens uttorkning under torra perioder vilket gör att den i detta avseende kan betraktas som en kontinuerlig modell.

7.5.6 STORM (förkortat efter Lundgren 1978).

STORM är en planeringsmodell som beräknar dagvattnets kvantitet och kvalitet.

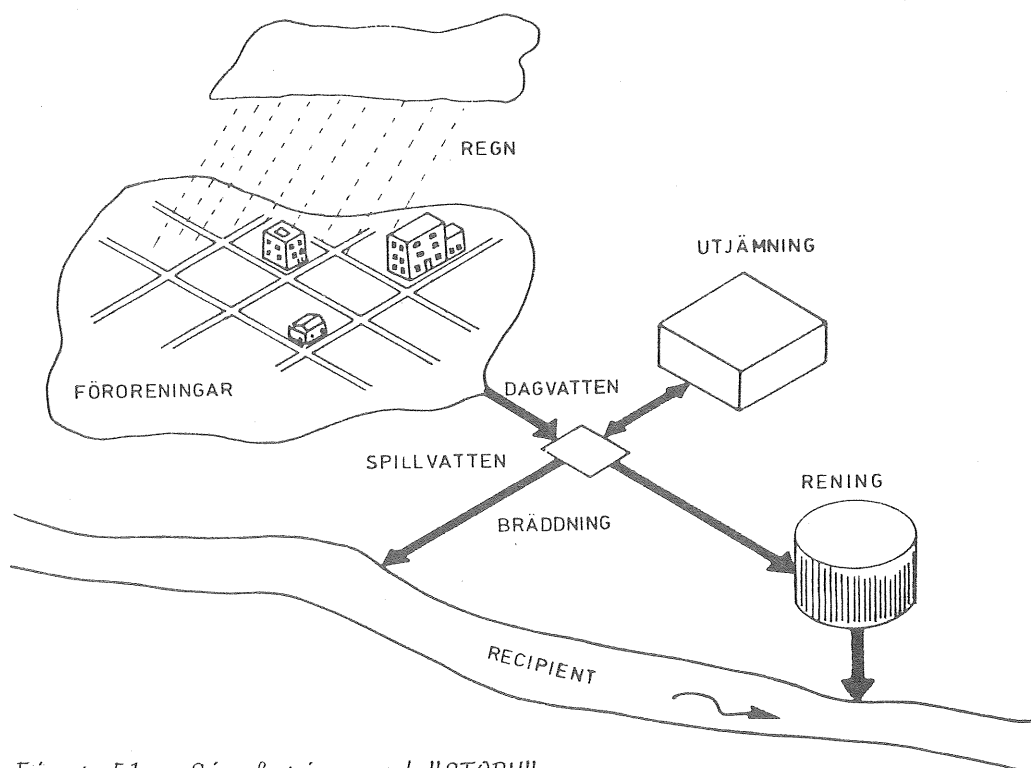
Programmets ursprung och syfte

STORM (Storage Treatment Overflow Runoff Model) utvecklades ursprungligen 1971 av en konsultfirma på uppdrag av San Francisco stad. Programmet har vid upprepade tillfällen modifierats och utökats bland annat med rutiner för beräkning av snösmältning, föroreningsinnehåll, erosion och torrvädersavrinning.

Beskrivning av programmet

STORM är en kontinuerlig modell, vilket gör det möjligt att ta hänsyn till tidsavståndet mellan på varandra följande regn.

De faktorer som STORM beaktar vid beräkningen av dagvattnets kvantitet och kvalitet visas schematiskt i figur 51.



Figur 51. Simulering med "STORM".

Regnet alternativt den smälta snön tvättar av ansamlade föroreningar från markytan. Spillvattnet adderas till dagvattnet, varefter allt avloppsvatten transporteras till reningsverket. Flöden överstigande reningsverkets kapacitet lagras i utjämningsmagasin för att renas då tillrinningen till reningsverket minskar. Om utjämningsmagasinets kapacitet överskrids bräddar avloppsvattnet orenat till recipienten.

För en given serie regn kommer det avrinnande vattnets kvantitet och föroreningsmängd samt antalet bräddtillfällen att variera med reningsverkets kapacitet, utjämningskapacitet och markanvändning. En typundersökning vore att studera hur belastningen, kvantitativt och kvalitativt varierar vid en ändring av dessa tre förutsättningar.

Erforderliga indata

En av fördelarna med STORM är att erforderliga indata normalt är relativt lätt tillgängliga. Erforderliga indata kan indelas i tre kategorier.

1. Meteorologiska data där nederbördsdata är de viktigaste. Skall snösmältning analyseras erfordras även temperaturdata. Dessutom erfordras månadsmedelvärden för avdunstning.
2. Data specifika för det avrinningsområde som studeras såsom yta, folkmängd, markanvändning, avrinningskoefficienter alternativt markslag samt data för ackumulering av föroreningar (genomsnittliga erfarenhetsvärden finns tillgängliga om mätdata ej finns)
3. Konstruktionsdata för eventuella bräddavlopp samt kapacitet hos reningsverk och utjämningsanordningar.

Beräkning av avrinnande vattenmängd

Avrinnande vattenmängd kan beräknas enligt två olika metoder. I den första, som bygger på den så kallade rationella metoden,

beräknas avrinningen varje tidssteg enligt formeln:

$$r = C \cdot (P-b) \quad (14)$$

där r = avrinning i mm/tidsenhet

C = genomsnittlig avrinningskoefficient

P = regn alternativt smält snö i mm/tidsenhet

b = tillgänglig initiell förlust på markytan

I den andra metoden, varvid hänsyn tas även till markens fukthalt och markslag samt infiltration, beräknas avrinningen enligt följande formel:

$$Q = \frac{(P-b)^2}{P-b+S} \quad (15)$$

där Q = ackumulerad avrinning för aktuellt regn i mm

b = tillgänglig initiell förlust vid regnets början i mm

P = ackumulerad nederbörd för aktuellt regn i mm

S = tillgänglig utjämningsvolym i marken vid regnets början i mm

Tillgänglig utjämningsvolym på markytan och i marken beräknas kontinuerligt med beaktande av infiltration, perkolation och avdunstning.

Då det studerade avrinningsområdet är så stort att det finns anledning att anta att det regn som faller under ett tidssteg ej avrinner under samma tidssteg finns möjlighet att fördela avrinningen i tiden med hjälp av en för området specifik enhetshydrograf som definieras med två parametrar.

7.5.7 Maryland Highway Drainage Study

Maryland Highway Drainage Study är en omfattande avrinnings/dagvattenmodell. I detta sammanhang har bara den delmodell studerats som behandlar avrinning från permeabla ytor.

Nederbörden kan anges med ett av 9 olika beräkningsregn framtagna från blockregn eller med ett godtyckligt regn.

Ytmagasinering: Storleken anges.

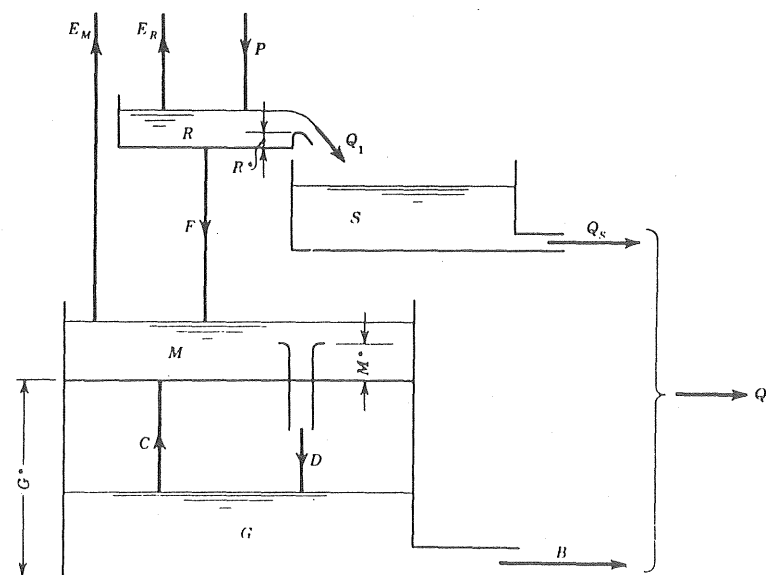
Infiltration beräknas med hjälp av Hortons ekvation. Tre typinfiltrationskurvor finns. Egen kurva kan även användas.

Ytavrinningen beräknas med "kinematisk vågteori".

Tillgänglighet: Programmet är fritt att sätta upp. Alla använda storheter anges i amerikanska sorter, vilket begränsar användningen om programmet ej kompletteras eller byggs om.

7.5.8 US Geological Survey's modell (USGS-modellen)

Modellen är en modell med sensitivitetsanalys och optimering. Denna modell har ett intressant synsätt på samverkan mellan olika hydrologiska processer och olika magasin.



Figur 52. USGS-modellen (efter Dawdy & O'Donnell).

Parametrar med asterisk (*) är tröskelvärden.

De olika ingående parametrarna (elementen i modellen) är:

Ytvattenmagasin, R. Uppfyllning av magasinet genom nederbörd P
Tömning genom evaporation E_r , infiltration F och, när R överskrider tröskelvärdet R^* , börjar ytavrinning Q_1 .

Rännstensmagasin, S. Uppfyllning genom ytvattenavrinning Q_1
och tömning genom rännstensflöde vid mätstation Q_s .

Markvattenmagasin, M. Uppfyllning genom infiltration F
och kapillär uppsugning C. Tömning genom transpiration E_m och,
när M överskrider tröskelvärdet M^* , perkolation D.

Grundvattenmagasin, G. Uppfyllning genom perkolation D.
Minskning genom kapillär uppsugning C och basflöde vid mätstation B. Om och när G överskrider G^* , förs M ihop med G.
C och D slutar att verka, men E_m och F verkar nu mot G.

Modellens operationer bestäms av nio parametrar, vilka är:

- R^* = tröskelvärdet för ytvattenmagasinet
- f_o = maximal infiltrationskapacitet
- f_c = konstant "
- k = exponentiell avklingningskonstant i infiltrationsekvation av Hortontyp
- K_s = linjär magasinskonstant för rännstensmagasin
- M^* = maximal markvattenmagasinerings
- G^* = tröskelvärde för grundvattenmagasin
- C_{max} = maximal kapillär stighöjd
- K_G = linjär magasinkonstant för grundvattenmagasinet

Vid början av första tidsintervallet måste volymerna i de fyra magasinen, potentiella infiltrationskapaciteten, och en uppsättning av värden för de 9 parametrarna anges för att beräkningarna skall kunna starta. Därefter ger beräkningarna för varje tidsintervall de fyra magasinsvolymerna och potentiella infiltrationskapaciteten för början av nästa

intervall.

Genom att postulera en lång torrperiod före beräkningarnas början sätts alla fyra magasinens begynnelsevärden till noll och det kan antas, att begynnelseinfiltrationskapaciteten har sitt maxvärde f_o .

Ingångsdata till modellen består av P , E_p och Q för varje intervall hos en känd registrering och av uppskattningar av initialvärdena för de nio parametrarna. Modellen arbetar sig därefter genom P och E_p -data och beräknar en avrinningsvolym för varje tidsintervall av registreringen, vilka i allmänhet ej kommer att överensstämma med kända Q -värden. Optimeringstekniken justerar initialparametrarna på så vis att skillnaden mellan beräknade och kända Q -värden elimineras.

Modellen beskrivs mer utförligt i Overton, Meadows (1976) och Dawdy, O'Donnell (1965).

7.5.9 Jämförelse mellan olika avrinnings/dagvattenmodeller

	Modell typ*	Ytmagasinerings	Infiltration	Markvattenhalt	Kontinuerlig	Tillgänglighet	Perkolationssmagasin	Nederbörd	Anm
Rationella metoden	Dim	} Enbart för dimensionering av ledningsnät							
Retardationsmetoden	Dim								
Tid-area-metoden	Dim								
CTH-modellen	Dim B	Inkl interception, vätnings och ytmagasinerings. Kap anges i mm	Horton Om i < f infiltreras fr ytmagasin	API-värde (Antecedent precipitation index) föreslås	Nej	Experimentell modell som kontinuerligt ändras. Tillgänglig	Nej	Hyetograf	
ILLUDAS	Dim B	Anges som förlust 0,5-1,0 mm hårdgjord yta, 1-5 mm icke hårdgjord yta	Horton 4 typkurvor för olika marktyp	4 IMC, markfuktighetsindex	Nej	God. Svensk manual. Kunskap på CTH	Kommer i nästa variant	Blockregn Sifalda Godtyckl regn	Indirekt hårdgjord yta. Basflöde
NIVA	Plan/ Dim B		Horton		Nej Max 1000 tidssteg	Fri att använda. Skall göras tillgänglig av CTH. Går att köra idag.			
QQS	Ana/ Plan A	Ytmagasinerings anges som förlust	Konstant infiltrationskapacitet		Ja. Obergrensat antal tidssteg	Ägs av Dorch Consult, München			Avdunstning mellan regn
SWMM	Ana A el B	På genomsläpplig mark enbart	Horton, men markens uttorkning under torra perioder simuleras	Simulerar markens uttorkning under torra perioder	Ja	CTH, KTH, LTH skall gemensamt göra modellen tillgänglig			

Modell typ*	Ytmagasinerings	Infiltration	Markvattenhalt	Kontinuerlig	Tillgänglighet	Perkolationmag.	Nederbörd	Anm
STORM a) rationella metoden b) enhetshydrograf	Plan a) initieell för- lust b) " " +utjämnings- volym	Infiltration, fukthalt, markslag och avdunst- ning		Ja, obegränsat antal tids- steg	CTH avser göra modellen till- gänglig			Månads- medel- värden för av- dunstn. Erosion
Maryland Highway Drainage System	Ja	Horton valfri kurva eller 3 typkurvor		Nej	Fri att an- vända (?)	Nej	Blockregn Godtyckligt	Kin. våg- teori f. ytavrinn- ning
USGS-modellen	Ja	Horton	Markvatten- magasin			Nej	Uppmätt	Kapillär stighöjd Basflöde Evapo- transp.

*: Dim = dimensioneringsmodell Ana = Analysmodell Plan = Planeringsmodell

A: Modell som klarar att räkna med dämning i ledningssystemet

B: Modell som ej klarar av att räkna med dämning i ledningssystemet

8 HYPOTES FÖR DAGVATTENINFILTRATION PÅ GRÖNYTOR

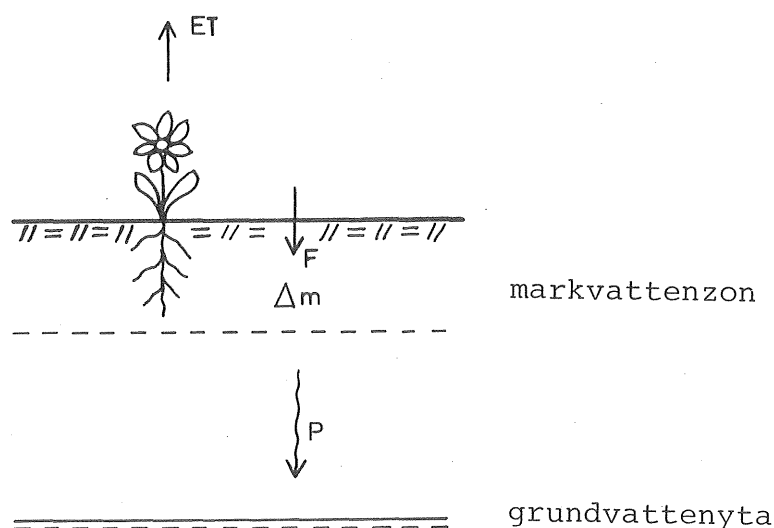
8.1 Inledning och ansats

I detta avsnitt presenteras några generaliseringar och antaganden, vilka tillsammans kan sägas utgöra en hypotes för dagvatteninfiltration på grönytor.

Ansats

Vår ansats är att man skall kunna helt omhänderta, minska eller utjämna dagvattenavrinningen från hårdgjorda ytor genom dagvatteninfiltration på grönytor. Denna reduktion eller utjämning sker genom:

- A. Infiltration (F)
- B. Perkolation genom markprofilen till grundvattnet (P)
- C. Markvattenmagasinerings (Δ_m)
- D. Evapotranspiration (ET)



För att minimera dagvattenavrinningen kan en eller flera av processerna A till D optimeras.

Att växterna har en stor betydelse i detta sammanhang framgår av figur 53.

I de områden där vattenunderskottet är 25-200 mm under vegetationsperioden är förutsättningarna för dagvatteninfiltration på grönytor särskilt gynnsamma.

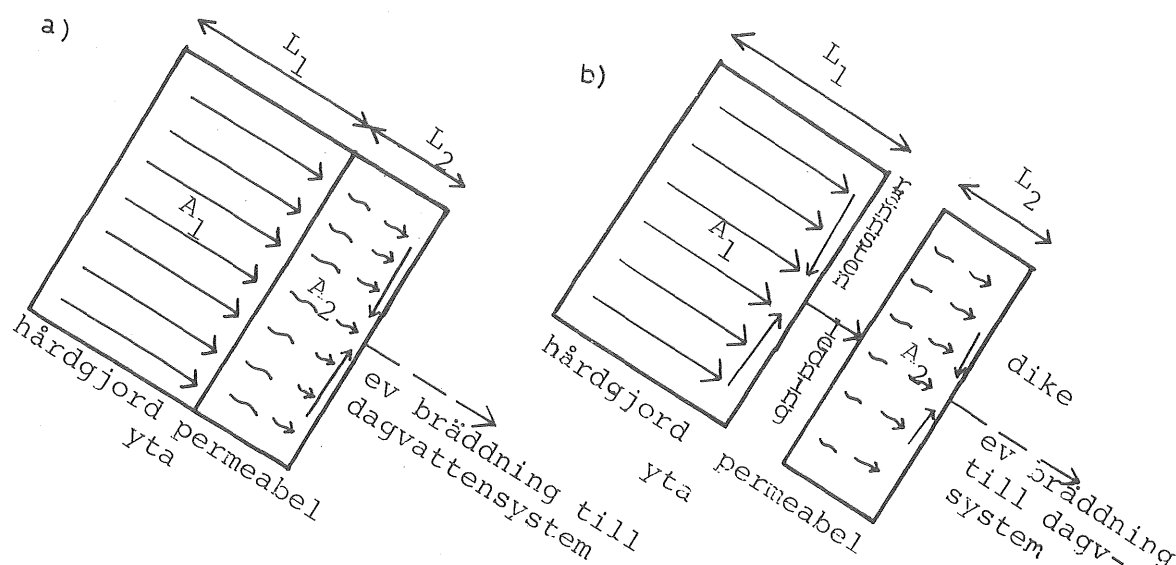


Figur 53. Beräknat vattenunderskott för vegetationen i millimeter under vegetationsperioden. Efter Troedsson, Nykvist (1973).

8.2 System för dagvatteninfiltration på grönyta

Princip: Vatten från en hårdgjord yta leds till en permeabel yta (vegetationsyta, grönyta) där hela eller en större del av den tillförda vattenmängden infiltrerar. Förutom det tillförda vattnet belastas den permeabla ytan naturligtvis även med direkt nederbörd.

Vattnet från den hårdgjorda ytan kan antingen ledas direkt ut på den permeabla ytan (a) eller via en ledning, ett dike eller dylikt (b).



I alternativ a) kan ytavrinningen från den hårdgjorda ytan antas ske momentant till permeabel yta om L_1 resp L_2 ej är för långa. Dessutom kan avrinningen antas bli likformigt fördelad över den permeabla ytan.

Om längden L_1 är för lång kan tid-area-metoden (eller enhetshydrografmetoden) behöva tillämpas för att erhålla en hydrograf som anger vilken mängd vatten som belastar grönytan vid en viss tidpunkt.

I alternativ b) tillkommer rinntid i rännsten, ledning, fördelningsanordning och dike. Om längderna på dessa samt L_1 och L_2 är små kan avrinningen från yta A_1 antas medverka momentant och likformigt fördelat på yta A_2 . I annat fall måste rinntiderna beräknas.

Vi kan definiera ekvivalent nederbördsbelastning (B_{EN}) som

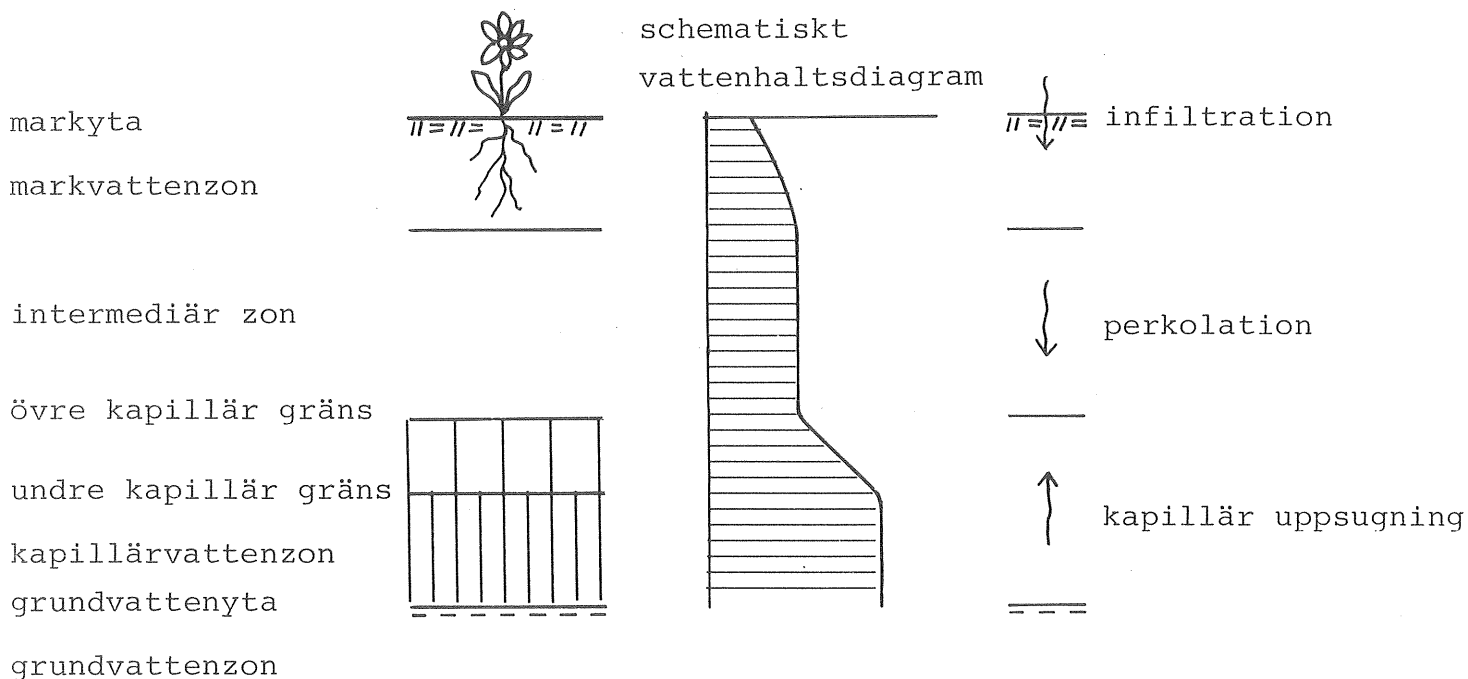
$$B_{EN} = \frac{\text{Hårdgjord area}}{\text{Permeabel area}} + 1 = \frac{A_1}{A_2} + 1$$

Om en permeabel yta ej får mottaga något dagvatten från en hårdgjord yta är den ekvivalenta nederbördsbelastningen 1, dvs ytan belastas enbart med normal nederbörd. Om $A_1 = 3A_2$ är den ekvivalenta nederbördsbelastningen 4, dvs ytan belastas med 4 gånger normal nederbörd.

8.3 Vattnets förekomst i omättad zon

8.3.1 Markzoner

Den omättade zonen i marken kan uppdelas i ett antal delzoner.



Figur 54. Zonindelning av vattnets förekomst under markytan samt schematiskt vattenhaltsdiagram och processer. Den redovisade bilden tänkes motsvara förhållandet efter en torrperiod.

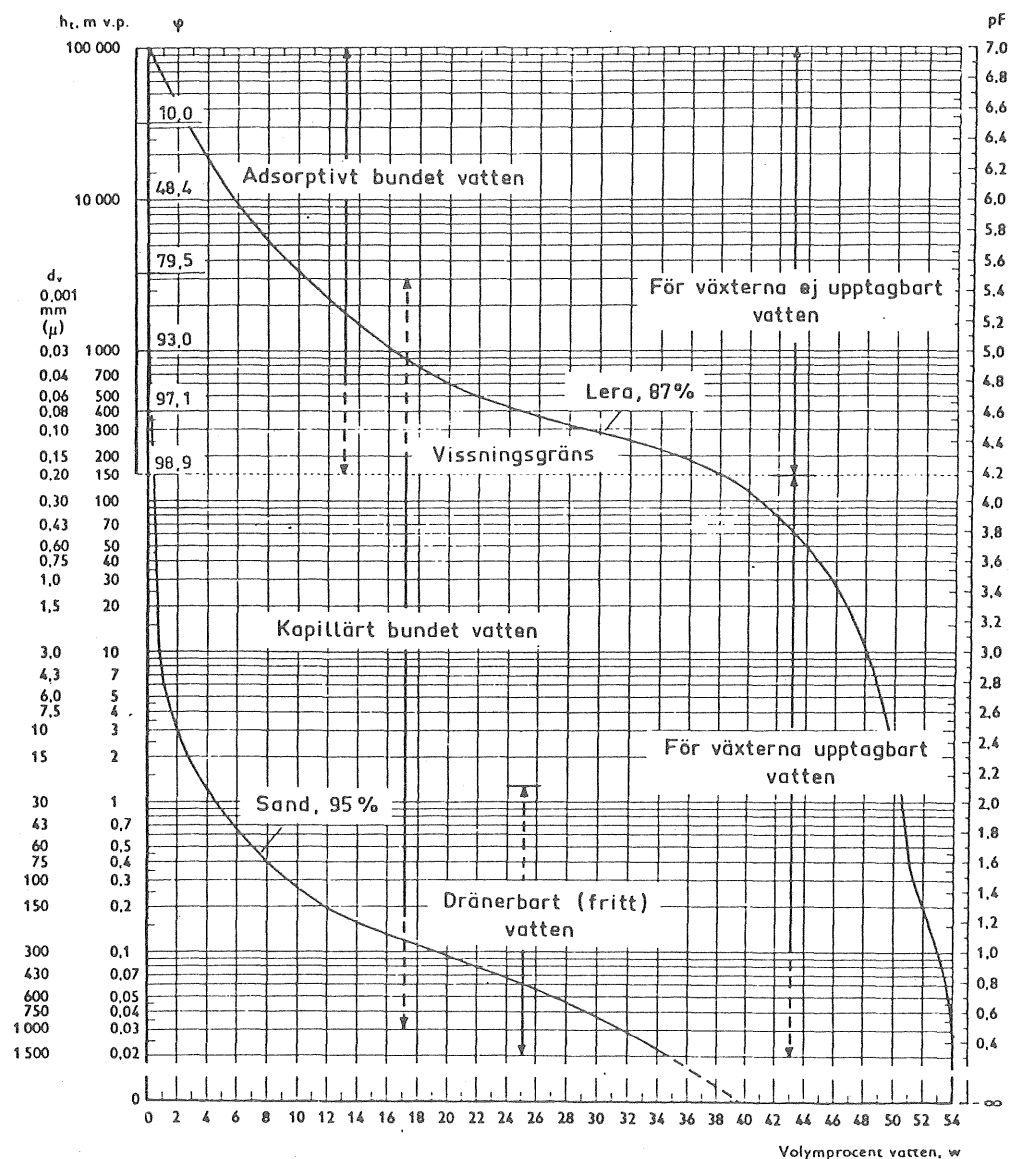
I Ericsson, Holmstrand (1978) behandlas förhållandena i den omättade zonen utförligt.

8.3.2 Vattnets bindning i jorden

Vattnet i ett poröst material som jord är olika hårt bundet. Man uttrycker vattnets bindning genom ett potentialbegrepp. Denna potential har ett flertal benämningar i litteraturen som: bindningstryck, bindningsenergi, porvattenundertryck etc. Vanligen uttrycks potentialen som 10-logaritmen (pF) för undertrycket uttryckt i cm vattenpelare.

Sambandet mellan vattenhalt i en jord och vattnets bindningsstryck kan visas med hjälp av en pF-kurva i ett bindnings- eller pF-diagram. Med hjälp av ett diagram av denna typ kan

man vid en viss volymsprocent vatten för en viss jord direkt avläsa hur stor vattenmängd som är tillgänglig för växter.

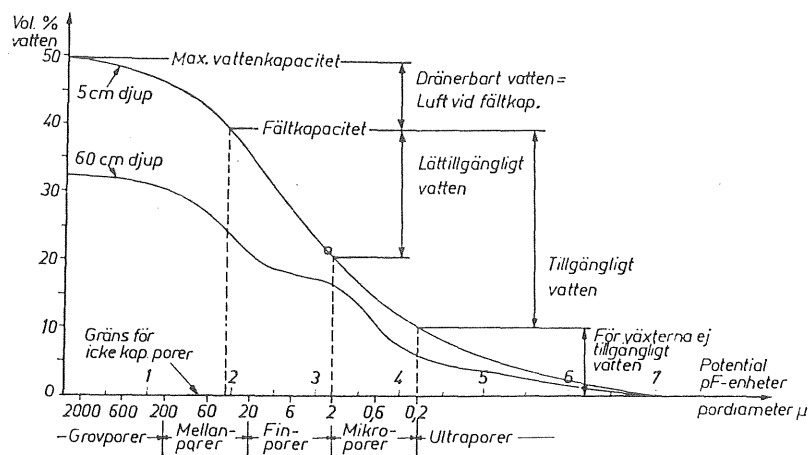


Figur 55. Bindningsdiagram med sammanhörande värden på vattenhalt w och bindningstryck h_t m v.p. (Anderson och Wiklert, 1972).

Den vertikala grundskalan, som är logaritmisk, anger bindningstrycket h_t i m v.p. Parallellt med denna finns ytterligare tre skalor insatta, varvid d_v anger pordiametern i $\mu = 0,001$ mm, ϕ relativa jämviktsfuktigheten över ett prov vid $+20^\circ\text{C}$ och pF tiologaritmen för h_t uttryckt i cm v.p.

Av den yttre vänstra vertikala skalan i figur 55 framgår i vilka porer vatten vid olika bindningstryck förekommer.

Det förekommer pF-diagram med axlarna orienterade på olika vis. Exempel härpå finns i figur 56.



Figur 56. pF-diagram som visar sambandet mellan vattenhalt och vattnets bindningsenergi för jordmaterial taget från två olika nivåer i en markprofil. För den översta kurvan visas hur mängderna av de olika slag av vatten som finns i jorden kan avläsas. Längs horisontella axeln visas också i vilka porer dessa vatten förekommer. Ur pF-diagrammet kan man således även erhålla jordens porstorleksfördelning. Efter S Odén och I Lundh. (Från Troedsson och Nykvist, 1973).

8.3.3 Porvolym

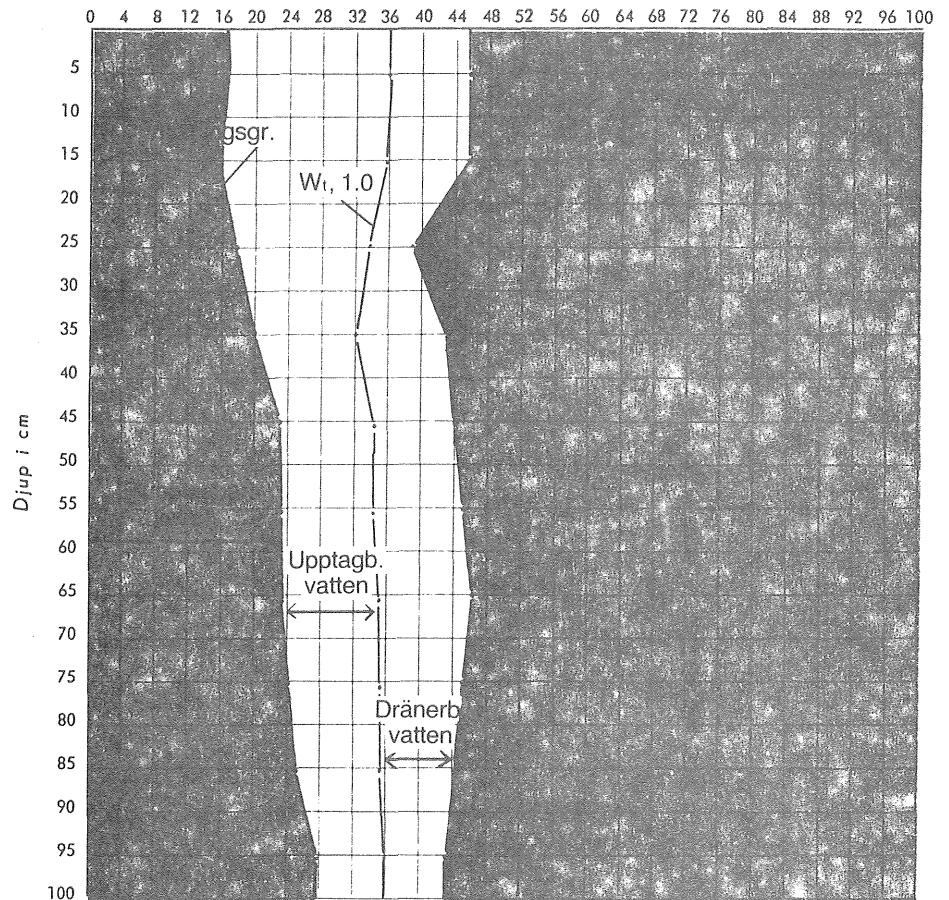
Förutom den indelning av porerna i grovporer, mellanporer, finporer, mikroporer och ultraporer som förekommer i figur 56 kan porerna indelas i:

Grovporer	innehåller luft vid fältkapacitet, annars dränerbart vatten Pordiameter $> \approx 20 \mu$
Medelgrova porer	innehåller växtillgängligt vatten Pordiameter $\approx 20-0,2 \mu$
Finporer	innehåller icke växtillgängligt vatten Pordiameter $< \approx 0,2 \mu$

Denna indelning används bl a i vattenhushållningsdiagram, jfr även 4.1.2.1

Vattenhushållningsdiagram över jord från Ultuna visande porvolym och materialvolym. Med utgångspunkt från porstorleken kan porvolymen delas i tre delar: grovporer, medelgrova porer och finporer. Vid dränering till 1 m töms de grova porerna på vatten. De medelgrova porerna håller vattnet så lagom hårt bundet att växterna förmår utnyttja det. I finporerna är vattnet så hårt bundet att det inte är åtkomligt för växterna. Den horisontella skalan i diagrammet är en volymprocent skala; den vertikala skalan är en centimeterskala som sträcker sig från markytan ned till djupet 1 m. Fältet mellan den lodräta vänstra axeln och vissningsgränsen representerar mängden finporer (=icke upptagbart vatten). Nästa fält – fältet mellan vissningsgränsen och $W_t 1,0$ – visar mängden medelgrova porer (=det växttillgängliga vattnet). Fältet mellan $W_t 1,0$ och materialkurvan anger mängden dränerbart vatten och fältet längst till höger materialvolymen, dvs jordmassans volym utan porer, allt i volymprocent.

Rotdjup för vårsädesgrödor är ca 70 cm. Växttillgängligt vatten ned till detta djup är drygt 100 mm. Det växttillgängliga vattnet i mm får man genom att lägga samman volymprocenterna i varje aktuellt decimeterskikt jord. I varje decimeterskikt motsvaras nämligen volymprocenten av mm.

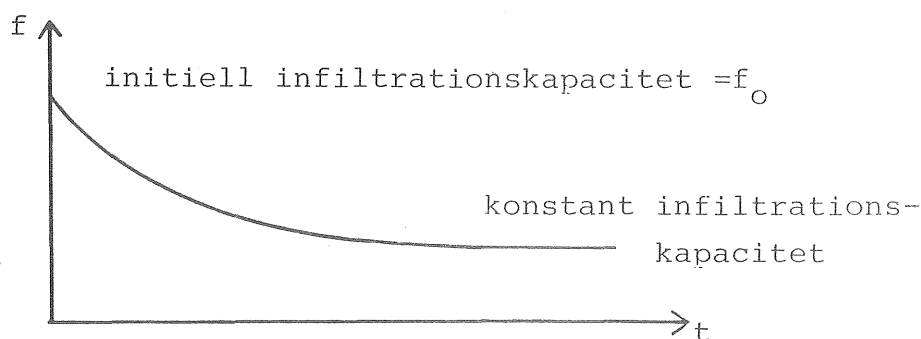


Figur 57. Vattenhushållningsdiagram. (Problemjordar, 1979).

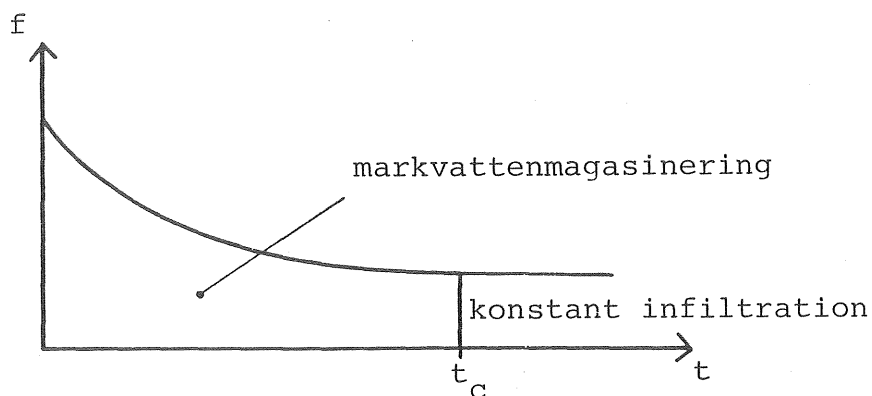
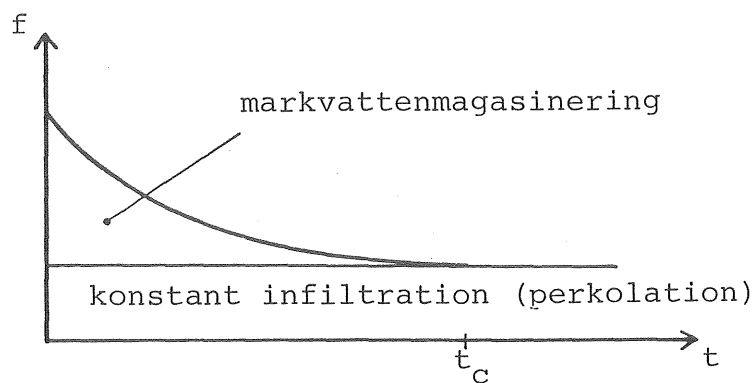
Detta synsätt är användbart vid dagvatteninfiltration på grönytor. Vattenhushållningsdiagrammet måste dock för detta ändamål modifieras något.

8.4 Infiltrationskapacitet

Infiltrationsförloppet hos en jord kan beskrivas med någon ekvation, t ex Hortons. Kurvan för infiltrationskapaciteten får följande principiella förlopp:

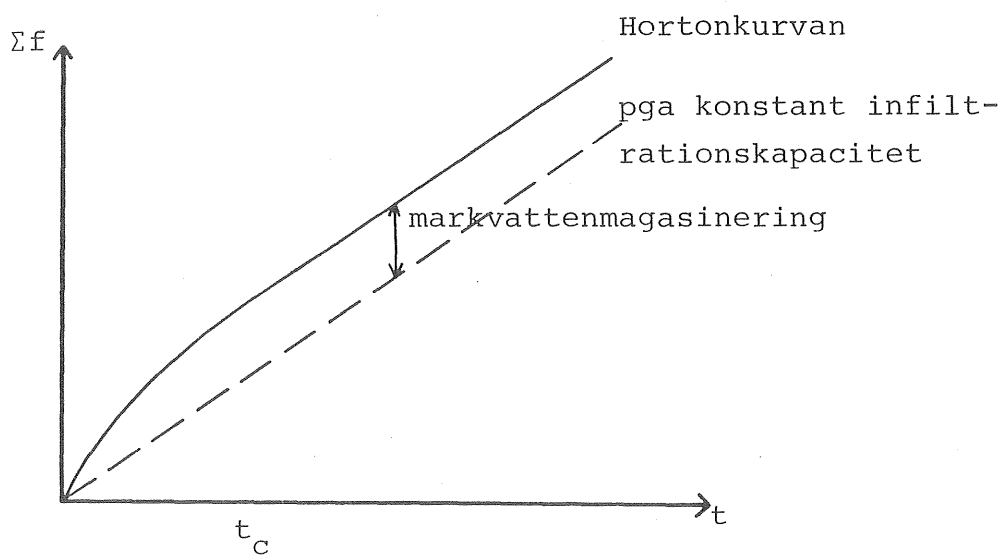


Denna kurva kan tolkas på följande vis:



Bägge synsätten förekommer vid beräkningsmodeller.

Om vi från Hortonkurvan beskriver Σ -infiltration som funktion av tiden får detta följande utseende:



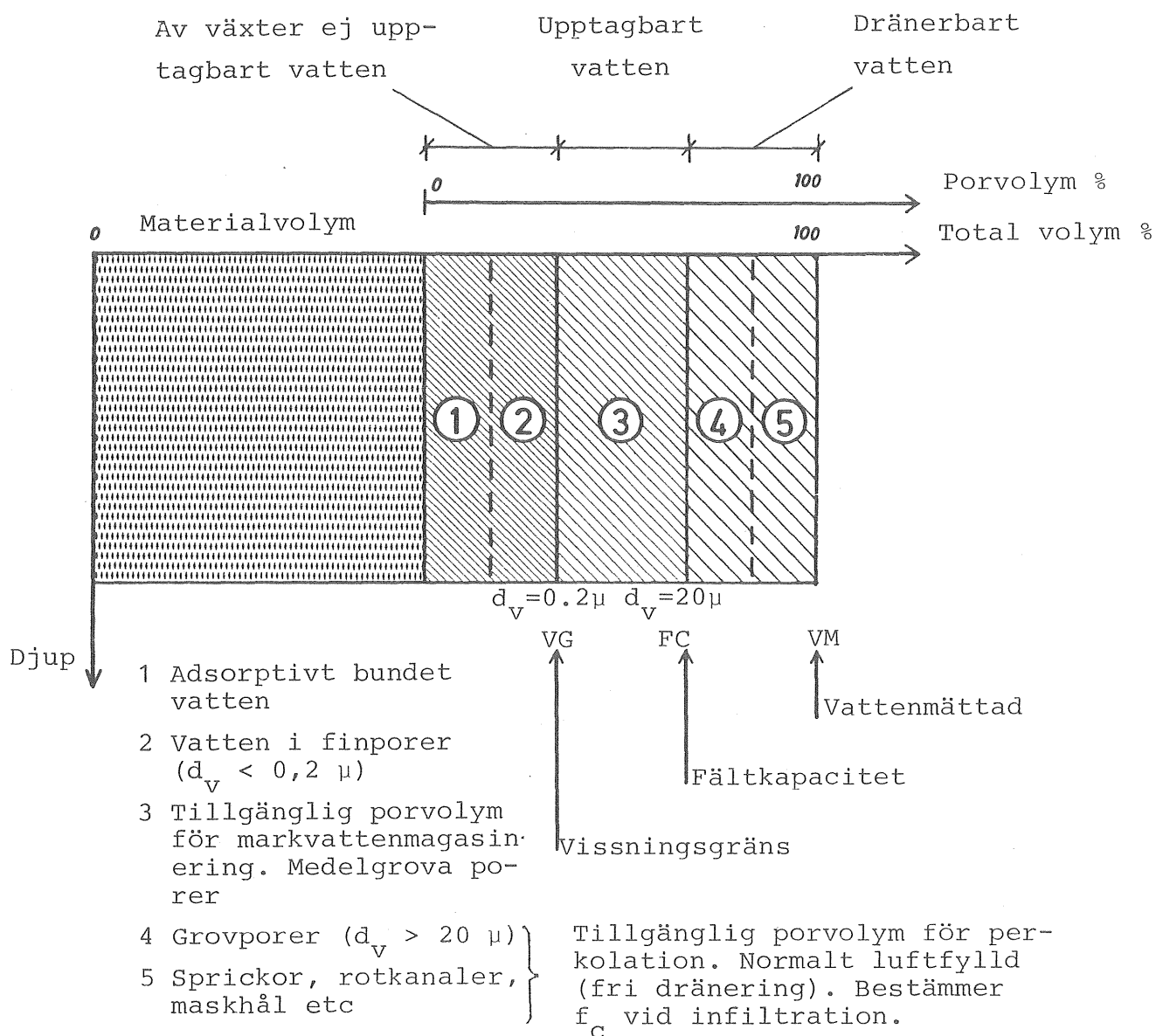
8.5 Markvattenmagasin, porvolym och infiltration

Markvattenmagasinet består av porer, sprickor och gångar där vatten kan magasineras i markvattenzonen. Markvattenzonen överensstämmer med rotzonen.

I friktionsmaterial består markvattenmagasinet i huvudsak av porer med pordiametern ca $20\ \mu$ och mindre. Dessa porer är vattenfyllda vid fältkapacitet.

I kohesionsmaterial består markvattenmagasinet av sprickor, rotkanaler, gångar etc. Markvattenmagasin $\approx$ rotzon $\approx$ torrskorpans mäktighet. Porvolym och fördelning kan som vi tidigare sett beskrivas på ett flertal sätt.

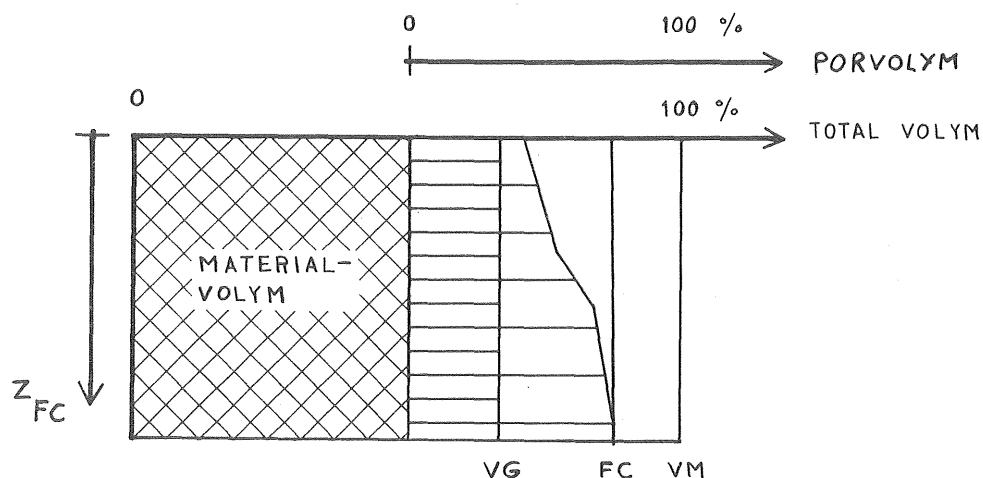
Vi väljer att illustrera porvolym på följande vis:



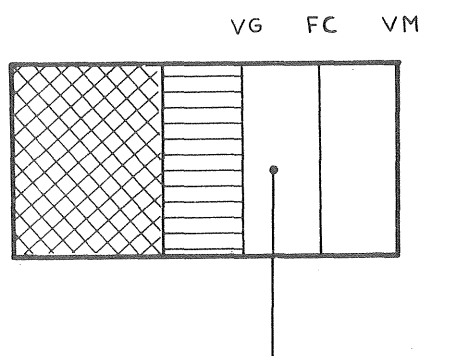
Figur 58. Porvolym och vattnets förekomst i porsystemet.

Vid uttorkning p g a evapotranspiration minskar vattenmängden i markvattenmagasinet.

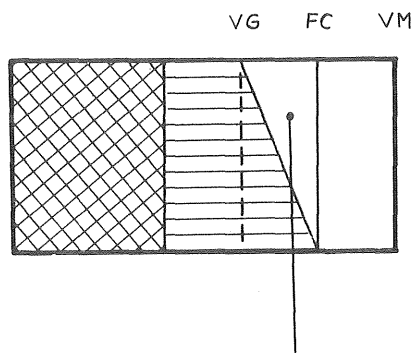
Vattenhalten minskar mest i ytan och mindre ju djupare man kommer ner i marken, för att vara vid fältkapacitet vid ett visst djup i profilen (Z_{FC}), se figuren nedan. Hur denna minskning i detalj ser ut beror bl a på växternas rotfördelning.



Teoretisk tillgänglig porvolym för markvattenmagasinering antas vara medelgrova porer i markvattenzonen (utrymme mellan VG och FC). Vi antar att uttorkningen av jorden kan gå till maximalt vissningsgränsen i markytan och att fältkapacitet råder vid underkant markvattenzonen. Vidare antar vi att markvattenhalten ökar linjärt från markyta till underkant markvattenzon.



TEORETISK MÖJLIG
PORVOLYM FÖR MARK-
VATTENMAGASINERING



ANTAGEN PRAKTISK
MÖJLIG PORVOLYM
FÖR MARKVATTEN-
MAGASINERING

MY

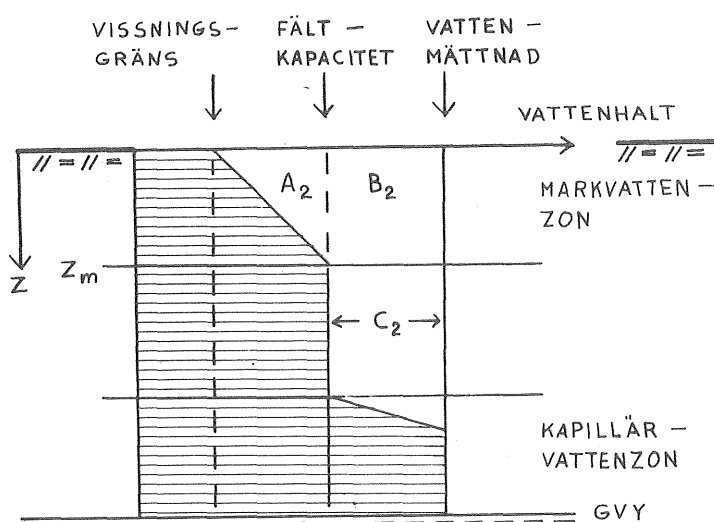
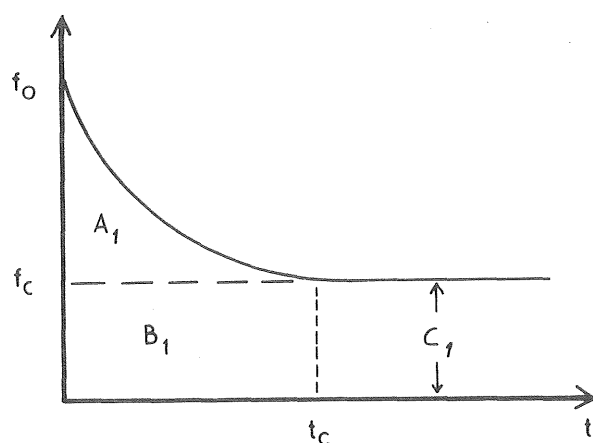
UK. MARK -
VATTENMAGASIN

Praktiskt utnyttjbar porvolym för markvattenmagasinerings antas vara $1/2$ av teoretisk möjlig.

I det följande gör vi en jämförelse mellan tillgängligt markvattenmagasin och infiltrationskurva.

Om vi antar att markvattenzonen i ytan är uttorkad till vissningsgränsen vid startpunkten för ett regn kan följande betraktelse göras. Vi antar att markvattenhalten ökar linjärt från markytan till fältkapacitet vid underkant markvattenzonen.

f = INFILTRATIONSKAPACITET



Något generaliserat kan detta ses på följande vis:

Volym vatten som infiltrerar under tiden

$$\begin{aligned}
 t = 0 \text{ till } t = t_c: V &= \int_{t=0}^{t=t_c} f(t) dt = (\text{med Hortons formel}) = \\
 &= \int_{t=0}^{t=t_c} (f_c + (f_0 - f_c)e^{-kt}) dt
 \end{aligned}$$

Denna volym kan anses motsvara porvolymen i markvattenzonen som vid regntillfällets början ej är vattenfylld.

Om vattenhalt (W) vid vissningsgränsen betecknas VG , vid fältkapacitet betecknas FC och vid vattenmättnad VM kan detta skrivas:

$$V = \int_{z=0}^{z=z_m} W(z) dz = (\text{i fig}) = \int_{z=0}^{z=z_m} \left[(VM-FC) + \left(\frac{FC-VG}{2} \right) \right] dz$$

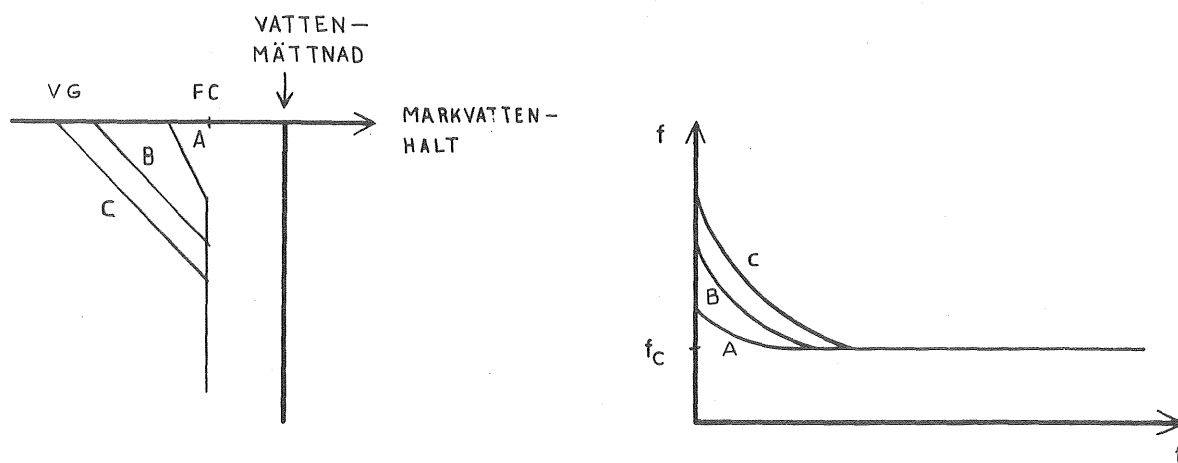
I figuren motsvaras volym A_1 [$= \int_{t=0}^{t=t_c} ((f_o - f_c) e^{-kt}) dt$] av volym

$$A_2 \left(= \int_{z=0}^{z=m} \left(\frac{FC-VG}{2} \right) dz \right), \text{ volym } B_1 \left(= \int_{t=0}^{t=t_c} f_c dt \right) \text{ av volym}$$

$$B_2 \left(= \int_{z=0}^{z=m} (VM - FC) dz \right) \text{ och kapaciteten } f_c (= C_1) \text{ av kapaciteten}$$

hos tillgängliga porer C_2 . Volymen B_1 bör ses som kapaciteten f_c multiplicerat med tiden t_c och volymen B_2 som kapaciteten hos tillgängliga porer B_2 multiplicerat med markvattenzonens mäktighet.

Synsättet ovan får ses principiellt då det är starkt generaliserat. Beroende på olika markvattenhalt vid start av infiltrationsförsök fås dock olika kurvor för infiltrationskapacitet.



- A: Hög markvattenhalt vid regnets början
- B: Måttlig markvattenhalt vid regnets början
- C: Låg markvattenhalt vid regnets början

Figur 59. Principer för relation mellan initieell markvattenhalt och infiltrationskurva.

En betraktelse av detta slag kan jämföras med Holtans hydrologiska infiltrationsmodell (avsnittet beräkningsmodeller).

Infiltration kan alltså anges:

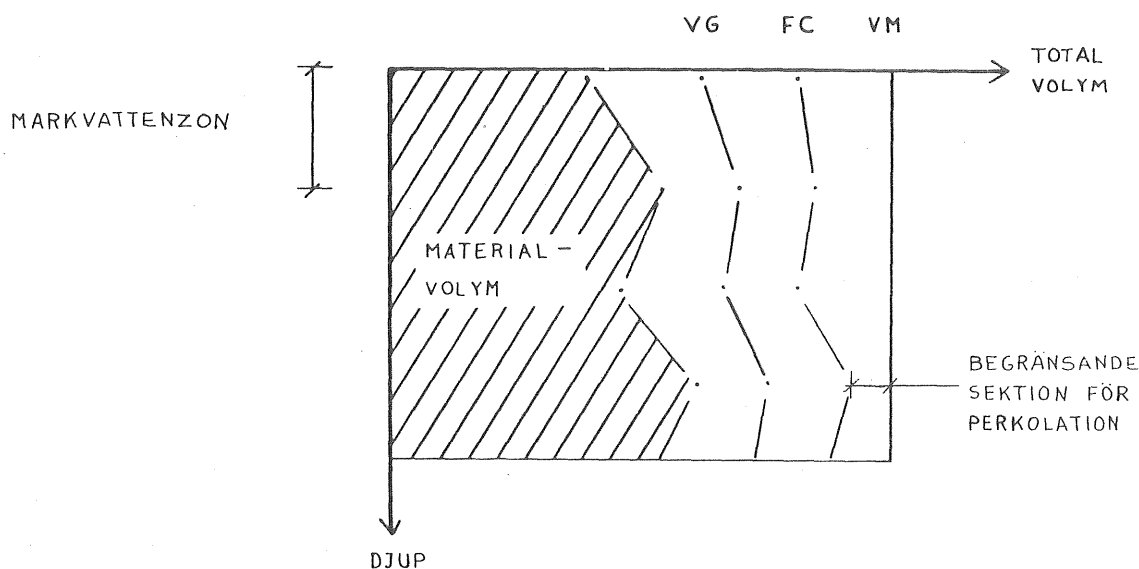
1. som en infiltrationskurva vars utseende beror på jordmaterialets genomsläpplighet, packningsgrad, vegetation, initiella markvattenhalt vid infiltrationens början etc. Kurvan kan beskrivas med Horton's ekvation

$$f = f_c + (f_o - f_c)e^{-kt}$$

2. med en konstant infiltrationskapacitet (f_c) och ett markvattenmagasin vars volym per ytenhet (skillnad mellan porvolym vid fältkapaciteten och porvolym vid vissningsgränsen) kan anges i mm eller m^3 .

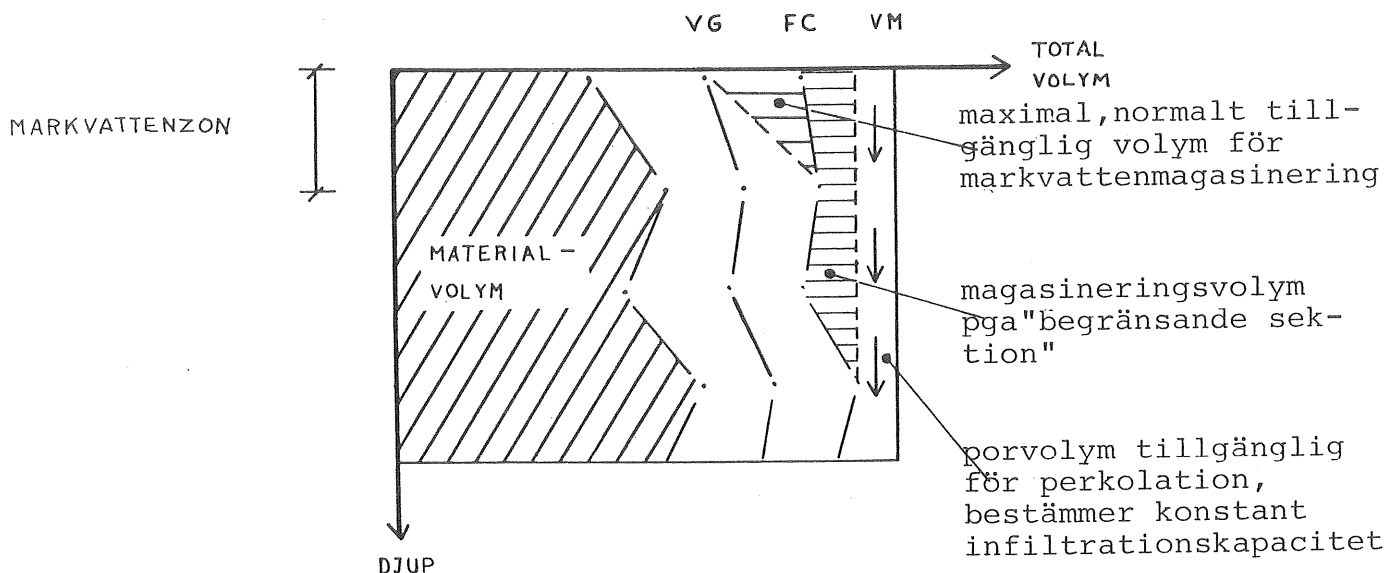
Vilket synsätt vi skall ha på infiltrationsförloppet beror på vilken marktyp och årstid vi betraktar.

Hittills har vi antagit homogen jordprofil. Om jordprofilen ej är homogen utan kornfördelningen varierar (och därmed porvolymen) kan "begränsande sektion" för perkolation finnas. Denna ligger då på den nivå där grovporsystemet är minst, dvs där materialet är som finkornigast.



I detta fall kommer en magasinering av vatten att ske utöver den magasinering som sker i tillgängligt magasineringsutrymme i markvattenmagasinet. Denna magasinering är dock

tillfällig och varar tills inget vatten längre infiltrerar, varefter tömning sker genom perkolation. Denna magasineringsvolym blir snart tillgänglig igen.



8.6 Markvattenmagasinerings och infiltrationens beroende av årstid och marktyp

Årstid

Årstidsberoendet är i stort följande:

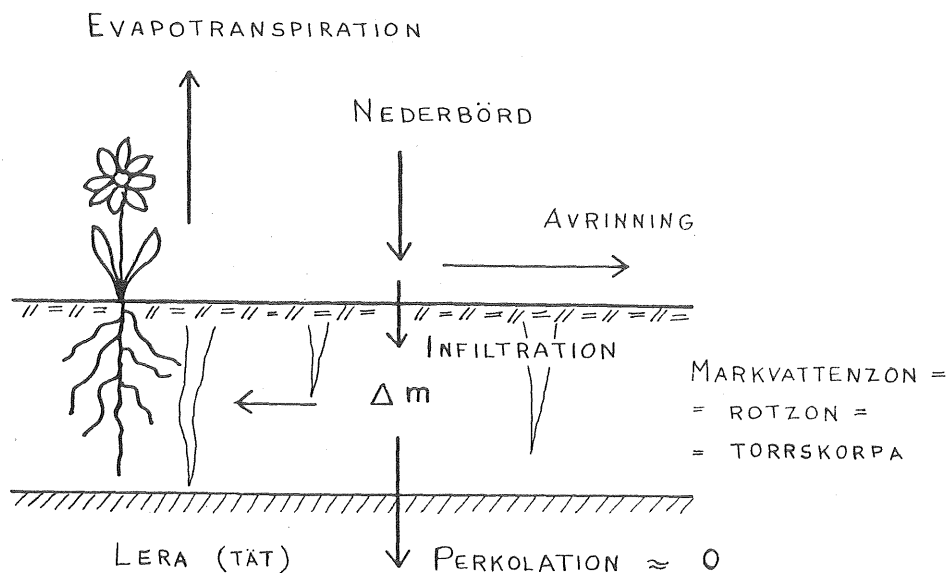
Vår	Snösmältning. Långvarig lågintensiv avrinning. Evapotranspiration försumbar, sätts = 0.
Sommar	Kortvariga högintensiva regn. Evapotranspiration > 0.
Höst	Långvariga lågintensiva regn. Evapotranspiration försumbar, sätts = 0.

Marktyper

Vi kan betrakta två huvudtyper av mark:

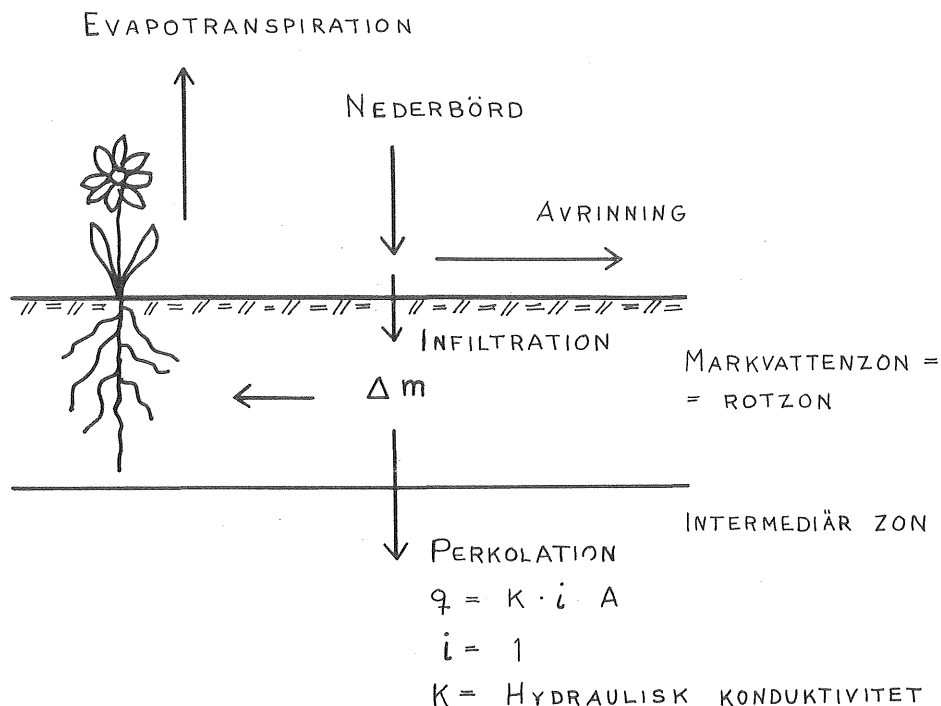
- I Lerområden (Perkolation ≈ 0)
- II Områden med friktionsmaterial (Perkolation > 0)

I Lerområden



- a) Vår och höst: Evapotranspirationen = 0. Markvattenmagasinet kan vara uppfyllt p g a snösmältning resp långvarig nederbörd $\Rightarrow$ avrinning.
- b) Sommar: Evapotranspirationen > 0 . Volym för magasinering av markvatten finns oftast tillgänglig. $\Rightarrow$ utjämning av nederbörd + ev avrinning.

II Områden med friktionsmaterial



- a) Vår och höst: Evapotranspirationen = 0. Markvattenmagasinet är uppfyllt p g a snösmältning resp långvarig nederbörd.
 $\Rightarrow$ konstant infiltrationskapacitet
 (= f_c i Hortonkurva) + ev avrinning.
- b) Sommar: Evapotranspirationen > 0. Volym för magasinering av markvatten finns oftast tillgänglig.
 $\Rightarrow$ infiltration ($f > f_c$) + ev avrinning

8.7 Modell för markvattenmagasinets beteende

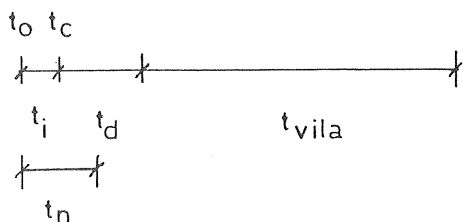
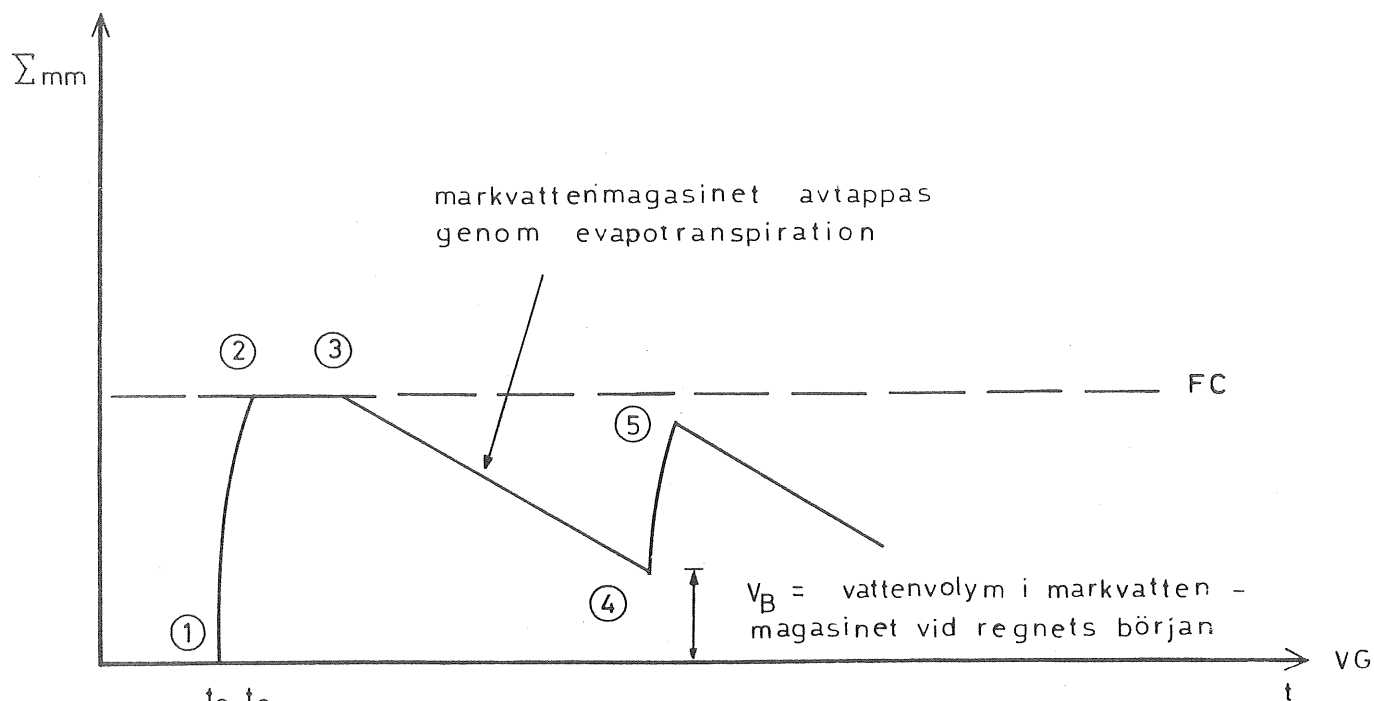
För beräkning av avrinningsförlopp är noggranna beräkningar med hjälp av verkliga regn önskvärt p g a de snabba förloppen.

Vid beräkning av markvattenmagasinets beteende kan blockregn samt mer överslagsmässiga beräkningar vara tillfyllest.

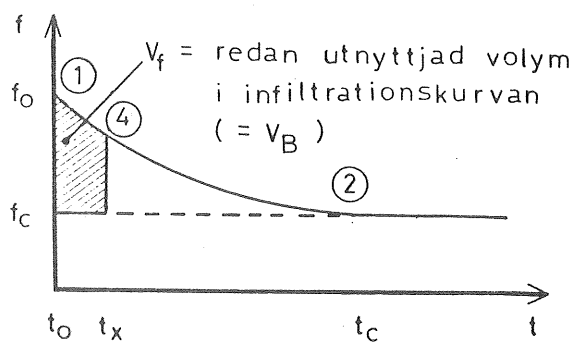
De antaganden som ligger till grund för denna modell är:

1. Markvattenmagasinet fylls upp genom infiltration vid nederbörd.
2. Om nederbörden > infiltrationskapacitet sker ytavrinning eller ytmagasinering. Vidare blir alla porer vattenfyllda, dvs vattenmättnad uppnås.
3. Efter nederbördstillfallets slut fortsätter ytmagasinerat vatten att infiltrera. Tiden det tar att dränera grovporerna i markvattenzonen (t_d) beror på porvattenundertryck och hydraulisk konduktivitet.
4. Grovporsystemets dräneringshastighet antas vara lika stor som tillförselhastigheten i och lika med f_c , varför ev magasinering häri kan försummas.
5. Den hydrauliska konduktiviteten varierar ej mellan fältkapacitet och vattenmättnad.
6. Inget vatten antas perkolera från markvattenzonen innan denna är uppfylld till fältkapacitet.
7. Markvattenmagasinet avtappas genom evapotranspiration och perkolation. Efter att vattenmättat material dränerats till fältkapacitet antas enbart evapotranspiration verka.
8. Evapotranspiration antas enbart verka mellan nederbördstillfällena.

I det följande skisseras hur ett markvattenmagasin antas fungera vid två nederbördstillfällen efter en längre tids torka.



$t_i (\approx t_c)$ = den tid som åtgår innan markvattenmagasinet är uppfyllt om nederbördsintensiteten är större än infiltrationskapaciteten



t_n = nederbördens varaktighet

t_d = tid från när markvattenmagasinet är uppfyllt tills grovporsystemet i markvattenzonen är dränerat efter regn

t_{vila} = tid mellan två nederbördstillfällen (efter dränering)

- 1 Markvattenmagasinet är tomt efter en längre tids torka varför infiltrationskapaciteten vid början av regnet är f_o .
- 2 Markvattenmagasinet är uppfyllt. Regnet fortsätter. Infiltrationskapaciteten är f_c . Ytmagasinerad och dagvattenavrinning.
- 3 Efter regnets upphörande har ytmagasinerad nederbörd infiltrerats. Grovporsystemet i markvattenzonen är dränerat. Evapotranspirationen börjar verka med konstant intensitet.

- 4 Nytt regn. Vattenvolymen i markvattenmagasinet vid regnets början är V_B . Infiltrationskapaciteten vid regnets början fås på så vis att man går in i Hortonkurvan vid $t = t_x$ där den integrerade volymen

$$V_F = \int_{t_0}^{t_x} (f_0 - f_c) e^{-kt} dt \text{ är lika med } V_B.$$

- 5 Regnet upphör. Eftersom markvattenhalten är mindre än fältkapacitet antas $t_d = 0$.

För kortvariga intensiva sommarregn gäller att nederbördstillfallets varaktighet och den tid det tar att dränera grovporsystemet $\ll$ tid mellan två nederbördstillfällen. Detta gör att vi ansätter $t_i + t_d = 0$. Hänsyn tas då bara till tid mellan nederbördstillfällen och magasinerad vattenmängd i markvattenmagasin.

Beräkningsexempel

Tillgänglig vattenmängd i markvattenmagasin 1,0 mm/cm rotzonsdjup (Jensen, 1978).

25 cm rotzonsdjup för vanliga grässorter (Jensen, 1978).

$$1,0 \text{ mm/cm} \times 25 \text{ cm} = 25 \text{ mm}$$

Evapotranspiration, gräs 3 mm/dygn (Jensen, 1978).

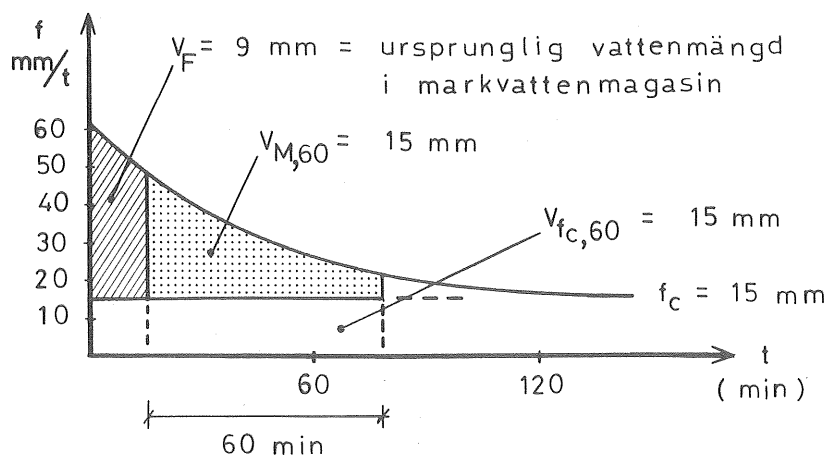
2-årsregn med 60 min varaktighet:

Blockregn 22,2 mm, det verkliga regnet ger totalt
30,4 mm

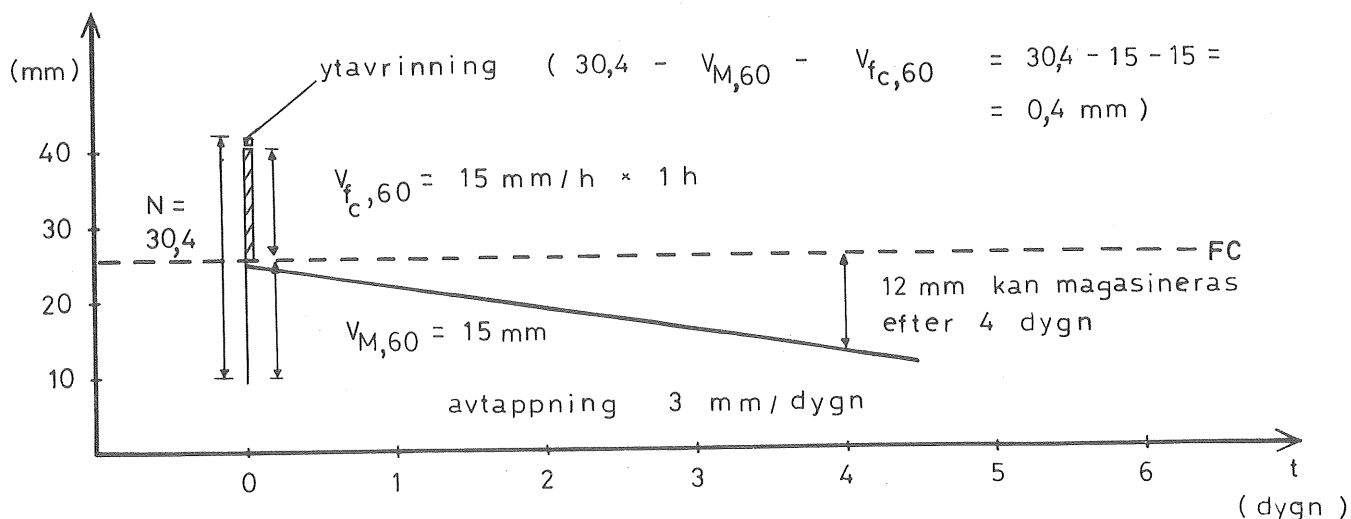
(Arnell, 1977)

Ursprunglig vattenmängd i markvattenmagasinet antas vara 9 mm.

Infiltrationskurvan (låg infiltrationskapacitet) har följande utseende:



Markvattenmagasinering under 60 min ($V_{M,60}$) är 15 mm, dvs markvattenmagasinet fylls nästan upp ($9 + 15 = 24$ mm).



Det bör observeras att beräkningarna i detta exempel har gjorts för en vegetationsyta som enbart belastas med egen nederbörd.

8.8 Dimensionering av grönytor för dagvatteninfiltration

8.8.1 Inledning

Dimensioneringen går så till att storleken på hårdgjord yta (som avleds till grönyta) och grönyta balanseras mot varandra utgående från den mängd vatten som grönytan kan omhänderta per ytenhet.

Avsikten och målsättningen kan vara att

- I Omhänderta allt vatten upp till dimensionerade regn med hjälp av dagvatteninfiltration på grönytan, eller att
- II Utjämna och minska dagvattenmängden till konventionellt dagvattensystem.

Vid fall I får dimensioneringen utgå från kapaciteter som marken kan omhänderta. Vår- och höstförhållanden blir dimensionerande p g a låga infiltrationskapaciteter vid långvariga regn.

Vid fall II blir volym som kan magasineras vid ett nederbördstillfälle dimensionerande både för områden med lera och friktionsmaterial. I det senare fallet är även konstant infiltrationskapacitet av stor betydelse.

Utgående från fältundersökning bestäms om markvattenmagasineringsvolym, konstant infiltrationskapacitet eller kombination av dessa (åskådliggörs i form av infiltrationskurva av Hortontyp) kan utnyttjas.

Dimensionerande regn väljes. Olika regn för sommar och höst kan komma ifråga.

Dimensionering av grönytor för dagvatteninfiltration kan ske på olika sätt med skiftande noggrannhet.

- A. Överslagsmässigt kan, beroende på marktyp och årstid, markvattenmagasinsvolym och/eller konstant infiltrationskapacitet ansättas varvid dessa värden subtraheras från nederbörden.
- B. Översiktligt kan modifierad regnvelope-metod användas. Denna metod beskrivs senare i detta avsnitt. Genom detta förfarande fås en bättre överblick över samverkande faktorer såsom intensitet, varaktighet, återkomstintervall för regnet och infiltrationskapacitet ansatt på olika sätt för marken. Härvid används blockregn.

C. Mer exakt beräkning med verkliga regn, Hortonkurva för infiltrationskapacitet, och markvattenmodell enligt tidigare avsnitt. Detta kräver datorberäkning. Detta sker lämpligen i vald avrinnings/dagvattenmodell.

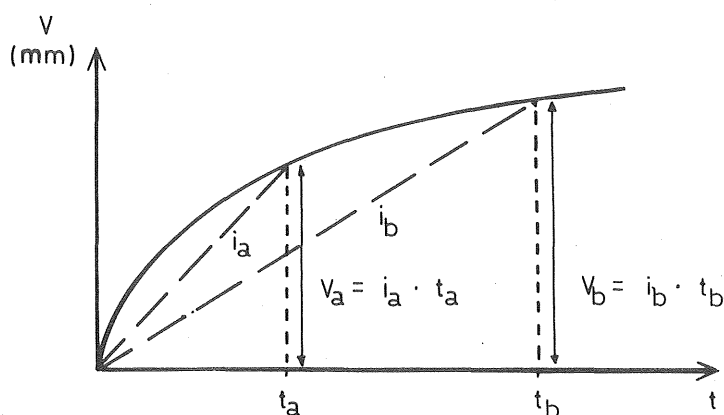
8.8.2 Översiktlig beräkning av dagvatteninfiltration på grönytor (regnenvelopemetod)

Här beskrivs en översiktlig metod för:

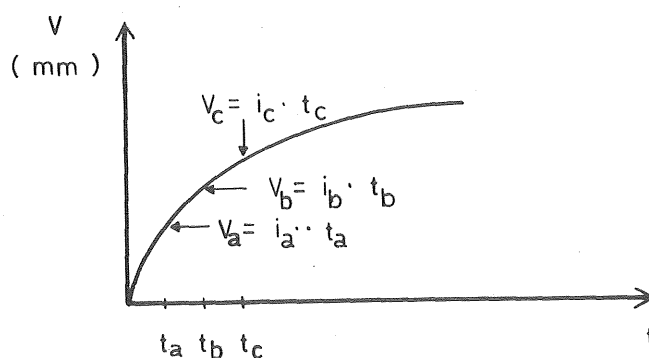
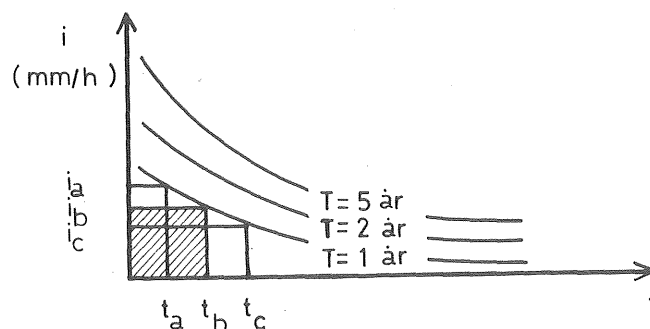
- A. Bedömning av kritiska intensiteter, varaktigheter, återkomstintervall för regn vid en grönyta med en viss dagvatten- och nederbördsbelastning.
- B. Dimensionering av förhållande mellan hårdgjord yta och grönyta under kända eller antagna förutsättningar.

Den metod det är frågan om är en för grönytor modifierad form av "regnenvelopemetoden" beskriven bl a i Holmstrand, Lindvall (1979).

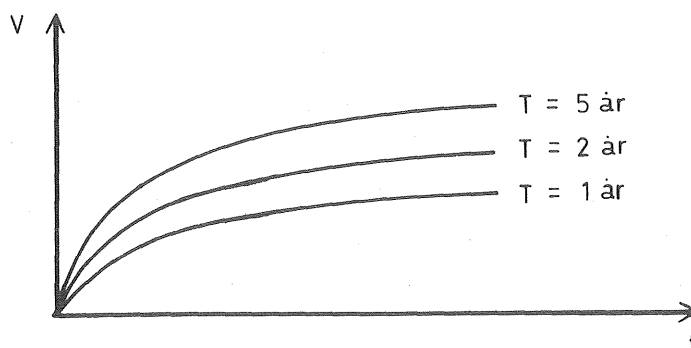
Metoden utgår från en s k "regnenvelope", vilken ger ett blockregns totala volym som funktion av varaktigheten.



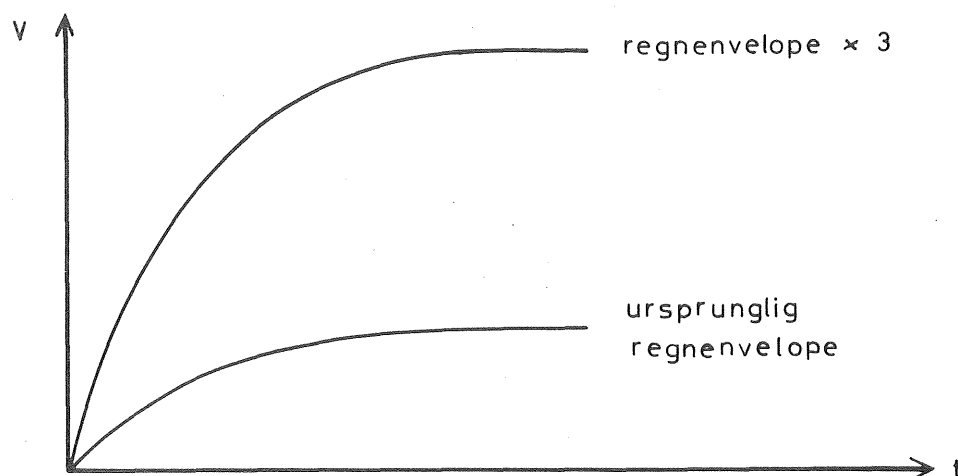
Regnenvelopen tas fram ur intensitets-varaktighetsdiagram:



Olika återkomstintervall ger olika regnenvelopekurvor:

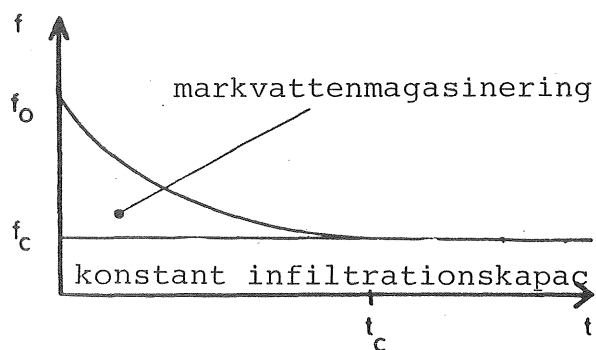


Om vi leder vatten från en hårdgjord yta till grönytan, och den hårdgjorda ytan är 2 x grönytan belastas grönytan med 3 x normal nederbörd (2+1). Den ekvivalenta nederbördsbelastningen är 3. Regnenvelopen för grönytan ändras. Vid samma tidpunkt fås 3 ggr större volym (om rinntider försummas).

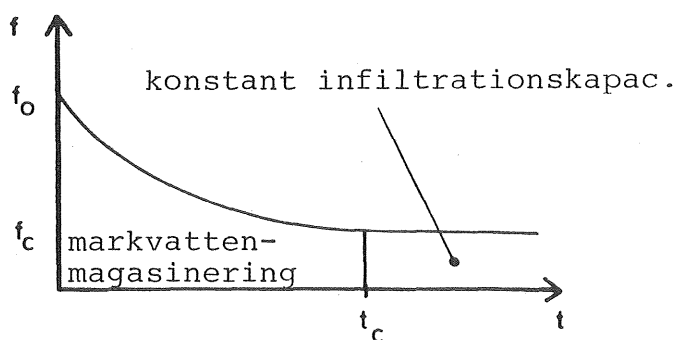


Infiltrationsförloppet såsom beskrivet med Hortonkurva kan delas upp i en konstant infiltrationskapacitet och en markvattenmagasinering enligt a) eller b) nedan:

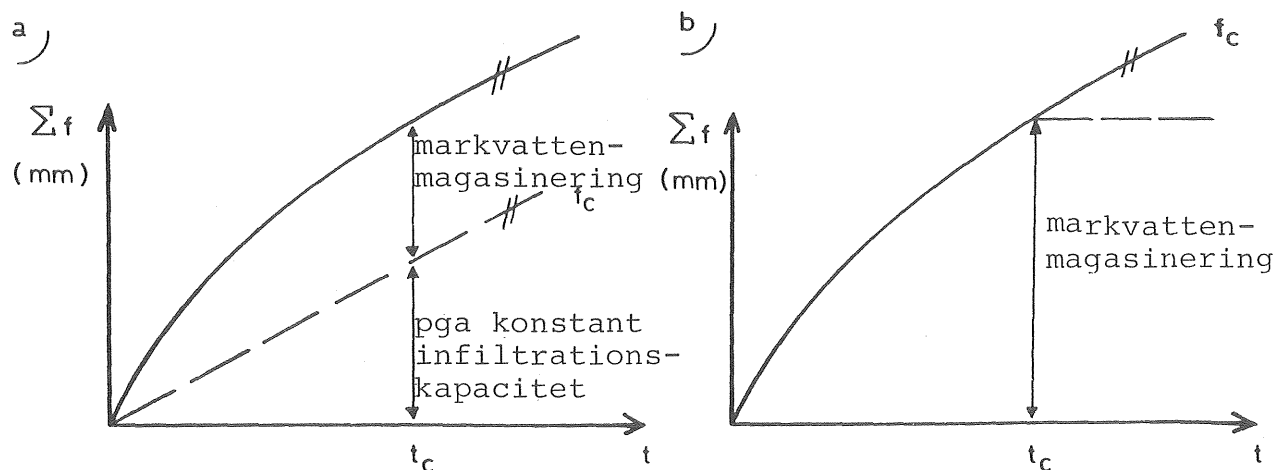
a)



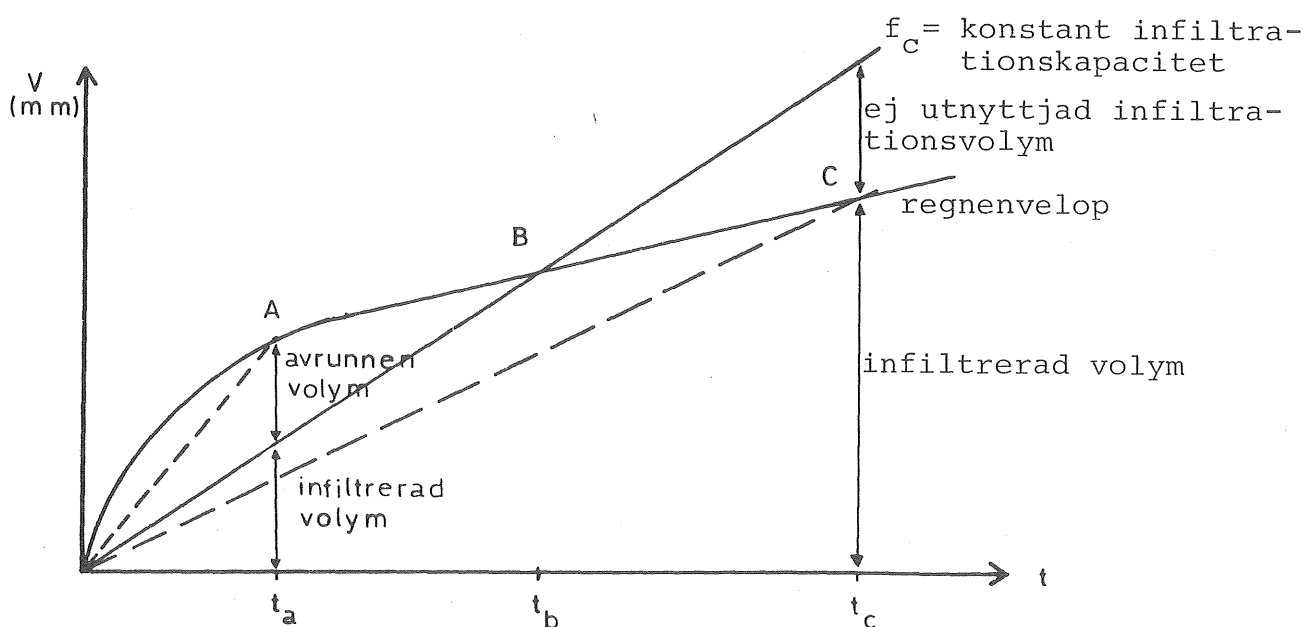
b)



I ett diagram med summa-infiltrationskapacitet som funktion av tiden blir detta:



Genom att sammanställa regnenvelop och summa-infiltrationskurvan kan vi bedömma vilka regn en grönyta kan omhänderta. Om vi först beaktar enbart konstant infiltrationskapacitet (höstförhållanden) fås:

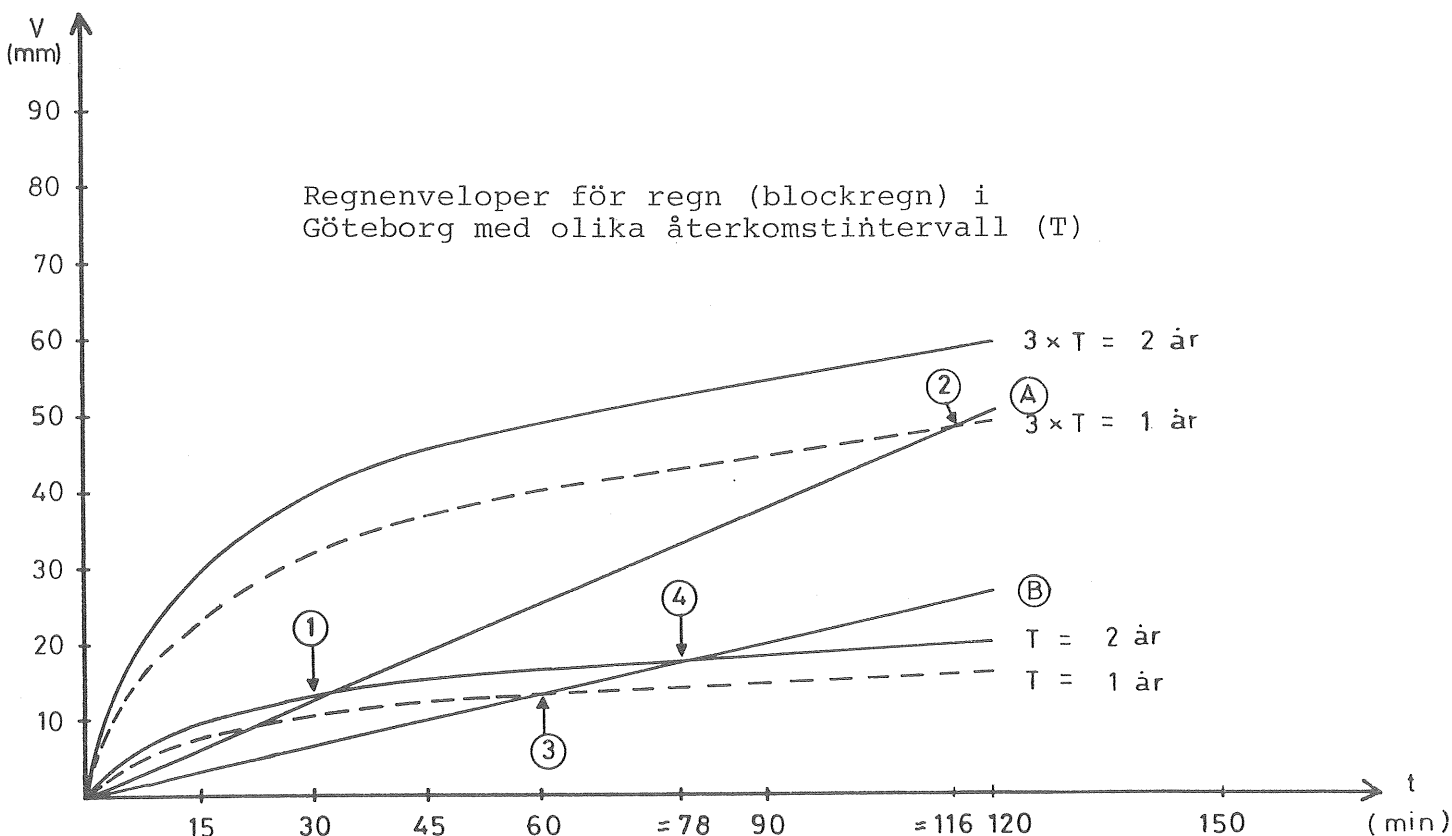


För ett blockregn med varaktigheten t_a är konstant infiltrationskapacitet mindre än regnintensiteten. En del av regnvolymer kan infiltreras, och en del av volymer avrinner.

För ett regn med varaktigheten t_b är regnintensiteten lika stor som konstant infiltrationskapacitet.

För regn med varaktigheten $> t_b$ är konstant infiltrationskapacitet större än regnintensitet varför all nederbörd kan omhändertas av grönytan.

Om vi betraktar verkliga regn och grönytor får vi:



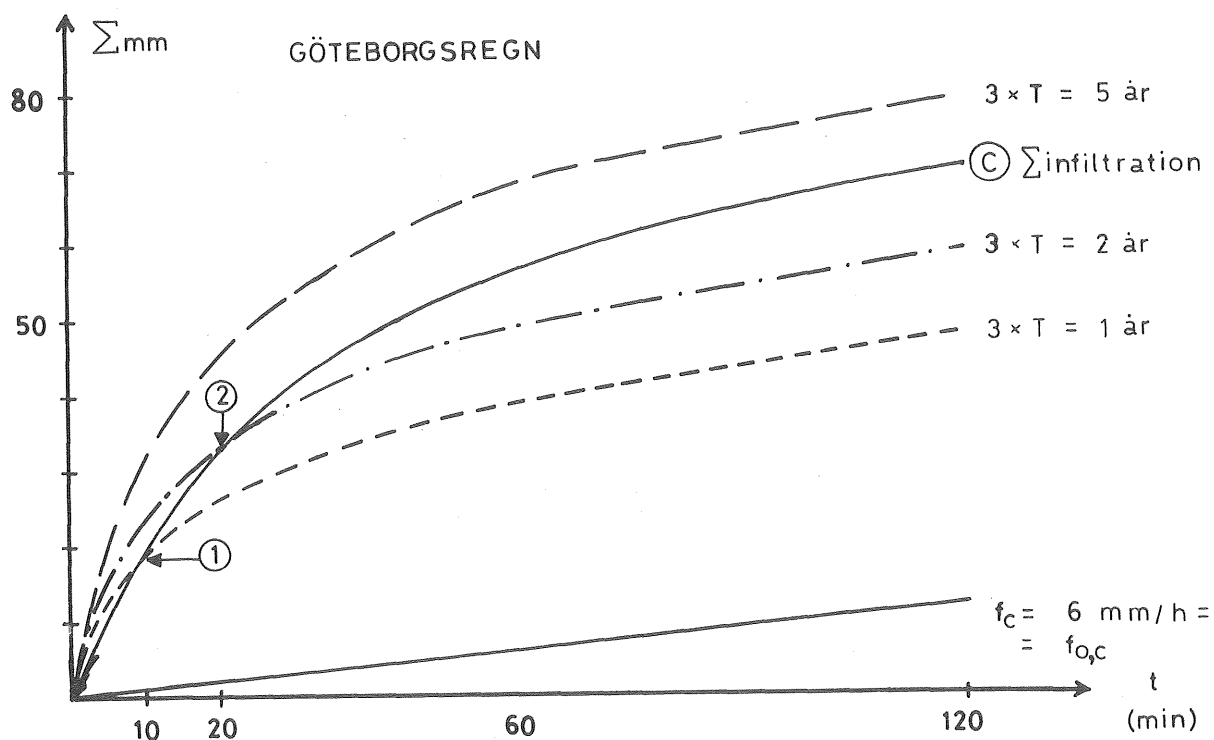
A Hög infiltrationskapacitet $f_c = 25 \text{ mm/h}$
 B Moderat " " $f_c = 13 \text{ mm/h}$

Mark med hög infiltrationskapacitet (= A) kan omhänderta 2-årsregn med varaktighet > 30 min om enbart normal nederbörd belastar ytan (= 1). Belastas grönytan med dubbla hårdgjorda ytan kan 1-årsregn med varaktighet $> \approx 116$ min helt omhändertas (= 2) med hjälp av konstant infiltrationskapacitet.

Om marken har moderat infiltrationskapacitet (= B) kan 1-årsregn med varaktighet > 60 min (= 3) och 2-årsregn med varaktighet $> \approx 80$ min omhändertas om enbart normal nederbörd belastar.

Utgjämningen kan synas liten, men konstant infiltrationskapacitet kan alltid dras ifrån nederbördens momentanvärden och infiltrationskapaciteten är oftast större än konstant infiltrationskapacitet.

Vi tar nu även i beaktande maximal initiell infiltrationskapacitet (dvs markvattenmagasineringskapacitet = sommarförhållanden). Detta ger:



C Låg infiltrationskapacitet $f_c = 6 \text{ mm/h}$

Mark med låg infiltrationskapacitet kan vid belastning av dubbla hårdgjorda ytan helt omhänderta 1-årsregnet med varaktighet $> 10 \text{ min}$ ($= 1$) och 2-årsregnet med varaktighet $> 20 \text{ min}$ genom infiltration och markvattenmagasineringskapacitet. Detta om markvattenmagasinet från början är tomt.

Nackdelen med denna beräkningsmetod är att vi använder oss av blockregn. För kortvariga regn ger dessa regn dåliga approximationer och felaktiga volymer. Ju längre varaktigheter på regnen desto bättre överensstämmer blockregnen med verkligheten. Giltighetsområde för intensitets-varaktighetsdiagram (Bergström, 1976) är $5 < t < 70 \text{ min}$.

Dahlström (1979) redovisar en metod där intensitets-varaktighetssamband bestäms med en speciellt framtagna formel. Metoden ger blockregn vilka visar god överensstämmelse med uppmätta data för varaktigheter upp till två dygn. Metoden torde kunna vara till god nytta i detta sammanhang.

9 VAL AV BERÄKNINGSMODELL

9.1 Kriterier för val av beräkningsmodell

Vid val av beräkningsmodell för dagvatteninfiltration på grönytor utgår vi från följande kriterier:

1. Modellen bör ej vara mer komplicerad än nödvändigt.
2. Indata till modellen måste enkelt kunna mätas eller uppskattas med tillräcklig noggrannhet.
3. Modellen måste i forskningsprojektet kunna användas för att verifiera eller falsifiera gjorda antaganden om hur en grönyta för dagvatteninfiltration fungerar.
4. Modellen bör kunna användas vid dimensionering av grönyta för dagvatteninfiltration.
5. Modellen måste kunna ge ytavrinning från en grönyta som resultat (utdata).

Kriterierna (speciellt 1, 4 och 5) antyder att en avrinnings/dagvattenmodell är den typ av beräkningsmodell som är lämpligast för detta forskningsprojekt.

Ytterligare två kriterier kan härvid ställas upp:

6. Infiltrationskapacitet bör i modellen beskrivas med Hortons ekvation.
7. Modellen bör ta hänsyn till markfuktighetsförhållanden för bestämmande av initiell infiltrationskapacitet vid början av ett nederbördstillfälle.

Om det ej finns någon befintlig modell som uppfyller alla uppställda kriterier finns alternativen att modifiera befintlig modell eller att konstruera en ny modell. Avvägningen mellan dessa alternativ är en bedömningsfråga när arbetsinsatsen för att konstruera en ny modell understiger arbetsinsatsen för att modifiera en befintlig modell.

Att konstruera en ny modell innebär att man har stor frihet att kombinera ihop olika delprocesser på ett sådant

sätt att den totala modellen helt är avpassad för dagvatteninfiltration på grönytor. Arbetet med att konstruera en ny modell är stort och kostnaden hög.

9.2 Bedömning av beräkningsmodeller

De avrinnings/dagvattenmodeller för dimensionering som bäst uppfyller kriterierna är CTH-modellen, ILLUDAS, NIVA-modellen och Maryland Highway Drainage Study.

ILLUDAS är den modell som är mest lättillgänglig. Även CTH-modellen och NIVA-modellen har god tillgänglighet.

Infiltrationsförloppen beskrivs i alla modellerna enligt Horton. Valfri Hortonkurva finns hos CTH-modellen och "Maryland". ILLUDAS och "Maryland" har typkurvor (Hortonkurvor).

Markvattenhalten tas hänsyn till i ILLUDAS med fyra olika markfuktighetsindex. CTH-modellen föreslås bli kompletterad med API-värde (Antecedent precipitation index).

Rutin för perkolationsmagasin kommer att tillföras ILLUDAS vid nästa revidering av modellen.

ILLUDAS har beräkningsrutin för beräkning av indirekt ansluten hårdgjord yta, dvs hårdgjord yta som ansluts till konventionellt dagvattensystem via permeabel yta, dvs dagvatteninfiltration på grönyta.

9.3 Val av modell

Av föregående avsnitt (9.2) framgår att ILLUDAS är den beräkningsmodell som för närvarande är bäst lämpad att beräkna dagvatteninfiltration på grönytor. Denna modell väljs för beräkningar inom forskningsprojektet.

9.4 Beskrivning av vald modell

Beskrivning av vald modell finns i kapitlet "Beräkningsmodeller" under ILLUDAS (7.2) samt mer utförligt i Bilaga "Vald modell".

9.5 Behov av förändringar i beräkningsmodellen

1. I dag används i ILLUDAS en av fyra olika marktyper A-D som indata varigenom en viss kurva för infiltrationskapacitet erhålls.

Som alternativ till detta bör man även kunna använda värdena f_o , f_c och k , vilka definierar Hortonkurvan, när dessa bestämts genom infiltrationsförsök.

2. För att bestämma vilken initiell infiltrationskapacitet som kan utnyttjas vid ett visst nederbördstillfälle (dvs var på Hortonkurvan man börjar) används fuktindex (IMC) som i dag är generaliserad till fyra klasser. Detta bör ersättas med ett kontinuerligt index som är kopplat till markvattenhalt där markvattnet mellan nederbördstillfällena minskas med evapotranspiration (se kapitel 8.7).

10 TEKNISKA LÖSNINGAR

10.1 Allmänt

System för dagvatteninfiltration på grönytor avser att avleda nederbörd på hårdgjorda ytor till grönytor, där infiltration kan ske. Avvattnings sker antingen direkt, dvs dagvattnet bräddar över en vägkant etc till omgivande grönyta, eller transporteras efter flödeskoncentration via dagvattenledningar till en utströmningsplats på grönytan.

Utformningen av system för dagvatteninfiltration på grönytor beror av en mängd olika faktorer. De faktorer som inverkar är områdets topografi, geologi, hydrologi, nederbörd, dagvattnets föroreningsgrad, slag och mängd av bebyggelse, utnyttjandeform av aktuella grönytor, erosions- och igensättningsrisker, ekonomiska förhållanden m m. För att optimera ett infiltrationssystem är det därför viktigt att olika faktorerers inverkan på systemet beaktas vid planering och bebyggelse av ett område.

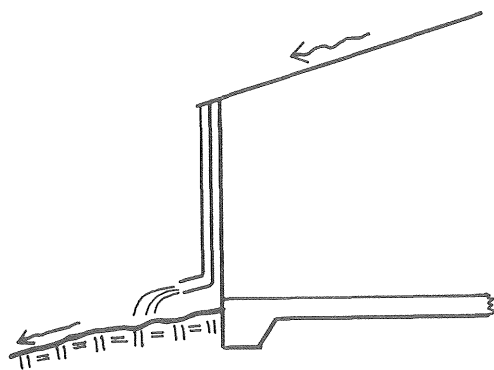
Grönyteinfiltration har under lång tid utnyttjats för att omhänderta dagvatten och då vanligtvis för friliggande, mindre bostadshus. En vanlig lösning har varit att t ex takvatten fritt fått strömma ut på en markyta via stuprör eller utkastare. Här har man inte haft behov av speciella system för grönyteinfiltration, med de möjligheter till optimering av systemet som en analys av de ovannämnda förutsättningarna möjliggör.

Under senare år har grönyteinfiltration även använts i kombination med andra anläggningar för infiltration av dagvatten i mark, t ex perkolationsmagasin. I dessa fall är perkolationsmagasinen så utformade, att de bräddar till omgivande grönytor. Man kan även tänka sig grönytor som bräddar till perkolationsmagasin.

10.2 Avvattning av takytor

Avrinning sker vanligen från hårdgjorda, ofta kraftigt lutande, takytor, vilket innebär ett snabbt avrinningsförlopp med koncentrerade flöden och höga flödes hastigheter.

Om närbelägna grönytor finns, lämpade för infiltration, kan vattnet enkelt ledas ut på dessa med hjälp av stuprör och utkastare, se figur 60. Enligt Andersson (1977) bör utsläpp från stuprör med utkastare generellt kunna utföras för anslutna takytor mindre än 50 m². För takytor mindre än 10 m²



Figur 60. Avvattning av takyta via stuprör och utkastare.

är det dåligt kapitalutnyttjande att ansluta så små ytor till ledning eller särskilt magasin, utan dessa bör alltid förses med utkastare.

Vid denna typ av avvattning är det viktigt att själva utströmningsplatsen skyddas mot vattenerosion, speciellt under grönytans etableringsperiod.

Erosionsbeständiga grönytor kan vara av olika slag. Man kan använda "gamla" grönytor, dvs sådana ytor där växtligheten är väl etablerad. Utnyttjandet av denna typ av ytor kräver att ytorna skyddas mot slitage under anläggningsarbeten vid närbelägna byggnader och vägar.

Man kan anlägga grönytan i ett tidigt skede av byggnadstiden, så att markytan är erosionsbeständig vid det tillfälle dagvatteninfiltration skall börja. Även här måste markytan skyddas.

Man kan använda sig av speciell såddteknik, beskriven i kapitel 4.1.1.4 för att fixera frö och växtnäring på dess plats.

Man kan lägga ut grästorv, varigenom man genast erhåller ett gott erosionsskydd. Detta kan vara en fördelaktig lösning om möjligheterna att avsätta skyddade grönytor vid anläggningsarbeten är begränsade, eftersom utläggning av grästorv kan göras även i ett sent skede.

Olika former av stenbeklädnad, t ex storsten, kan även användas som energiupptagare. Om det under stenbeklädnaden finns erosionsbenäget material, kan ett filter utföras mellan stenen och detta material. Filtret kan byggas upp av sand, grus, sten eller kombinationer därav, beroende på strömningssastigheter och underlagrande material.

Även naturgrus, sten eller makadam kan användas och utformning kan då ske enligt modell makadamfylld grop eller dike.

Efter utströmningssplatsen måste markytan luta från byggnaden, så att fall erhålles för vattnet över grönytan. Vattensamlingar intill huskroppen kan orsaka fuktskador.

Om utkastaren mynnar ovan erosionskänslig markyta i slänt kan enligt Andersson (1977) betongplattor utläggas fram till flack markyta. Vidare bör utkastaren mynna nära markyta för att undvika stänk på sockel eller fasad.

Möjlighet finns även att låta vattnet flöda ut över en hårdgjord yta, det kan vara en asfalterad gångväg eller liknande, varefter det fritt får brädda över vägens kant till en grönyta, se även kapitel 10.3.

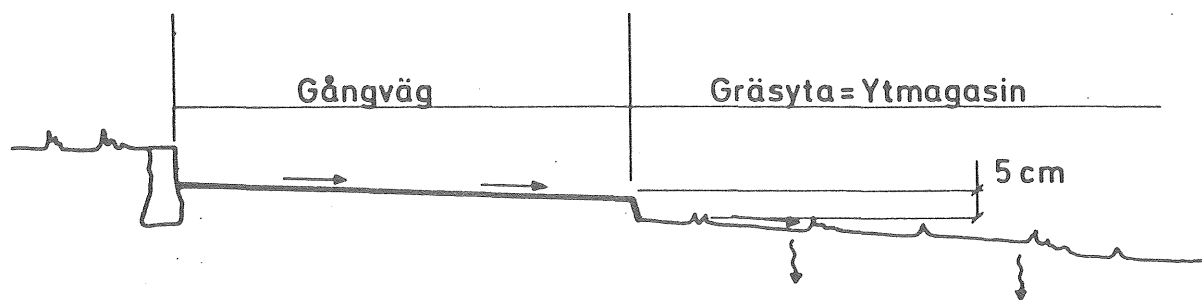
Vid alla former av infiltrationsanläggningar försöker man avlägsna organiskt material och andra partiklar från dagvattnet, i syfte att undvika igensättning av infiltrationsytan. I detta fall, med avvattning via stuprör, kan ett filter eller galler med renslucka placeras på röret, så att löv, barr m m kan avlägsnas. Dock måste rensning ske kontinuerligt, så att risk för igensättning av gallret och en därmed eventuell vattenuppfyllnad av röret undviks.

Om närbelägna grönytor saknas och därmed möjligheten att använda utkastare, kan dagvattnet ledas över till längre bort belägna infiltrationsytor. Detta kan ske via rörledningar, öppna diken eller diken fyllda med högpermeabelt material, se kapitel 10.5.

10.3 Avvattning av vägar, P-platser, gångstigar m m

Dagvatten från vägar m m kan endera tillåtas infiltrera direkt på intilliggande grönytor eller koncentreras och avledas till längre bort belägna, lämpliga infiltrationsytor.

En direkt infiltration kan uppnås, om man undviker att använda kantstenar och andra avvattningsbegränsande anordningar, se figur 61. Dagvattnet kan då fritt brädda över



Figur 61. Avvattning av vägyta, efter Andersson (1977).

vägens kant, ut över grönytan där det fördelas och/eller infiltrerar. Enligt Andersson (1977) rekommenderas en minsta nivåskillnad av 5 cm mellan hårdgjord yta och grönyta för att kompensera rottillväxt i gräsytan och uppfrysning av hårt packad jord. Nivåskillnaden bidrar även till en effektiv avvattning, vilket kan vara viktigt ur trafiksäkerhetssynpunkt.

Vid motlutande mark kan flacka dikesanvisningar under matjorden utföras.

Var och hur bräddning sker beror på vägens utformning och den omgivande markens topografi, men det är troligt att avrinningen i allmänhet kan fördelas över ett så stort område att erosionsgenererande flöden kan undvikas, liksom vattensamlingar.

I de fall möjlighet saknas att avleda dagvatten direkt till omgivande grönytor, kan avrinning överföras via dagvattenledningar till lämpliga infiltrationsytor. Vid koncentration och avledning av dagvatten via ledningar till en infiltrationsyta, bör man dock observera risken för igensättning, speciellt inom utströmningsområdet. Jämfört med takytor, kan vägars ytskikt innehålla stora mängder föroreningar och partiklar, vilka kan lösgöras och transporteras med dagvattnet. Detta gäller speciellt vid regn med hög intensitet och påföljande snabb avrinning.

10.4 Dagvattenledningar

Om möjlighet saknas att direkt sprida dagvattnet via utkastare eller direkt bräddning, måste det ledas över till infiltrationsytor. Detta kan ske i rörledningar, öppna diken eller diken fyllda med högpermeabelt material.

Rörledningar

I allmänhet kan sägas, att vattnets hastighet alltid ökar vid passage av en kulvert. Därför måste markytan på utströmningssidan skyddas från vattenföringens eroderande inverkan.

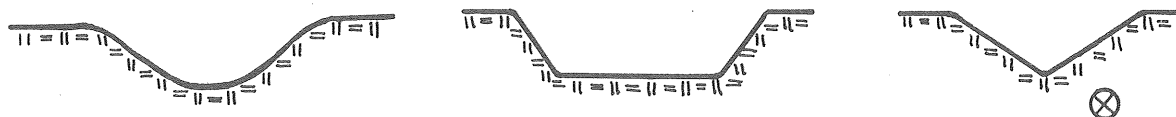
Öppna diken

Hydrologiskt sett ger diken en viss fördröjning och utjämning av avrinningsförloppet och dessutom medför de en viss reningseffekt på dagvattnet. Därför kan det vara fördelaktigt att använda denna ledningstyp, speciellt vid områden där man ej i så hög grad behöver se till sociala och estetiska aspekter.

Vegetationsklädda dikesbankar minskar risken för erosion, dels genom att avrinningen utjämnas och energin reduceras, dels genom att vegetationen binder jordpartiklarna samtidigt som vegetationen främjar infiltration i dikessidorna.

Gräskanaler kräver dock underhåll och skötsel för att de skall fungera tillfredsställande. Eftersom underhållet i praktiken sällan kan utföras så som önskas, skall vegetationsklädda kanaler ej dimensioneras för maximal flödes-hastighet.

En kanal kan utformas på flera sätt vad avser tvärsektionens utseende, se figur 62. De kan ha parabolisk form, vilket är



Figur 62. Olika utformningar av kanalers tvärprofiler, efter Tourbier and Westmacott (1974).

vanligt förekommande i naturen. Den kan ha trapetsformad eller V-formad profil. Trapetsformade kanaler antar med tiden ofta en parabolisk form. För slänterna gäller, enligt samma referens, att de ej bör överstiga lutningen 3:1, vilket beror på tillgänglighet för gräsklippning.

Storlek och lokalisering av gräskanaler beror på avrinningsgradienten och jordens eroderbarhet.

I tabell 15 redovisas en undersökning av tillåtna flödes-hastigheter vid olika grästyper.

Grass Varieties and Permissible Velocities for Varying Situation			
Cover Type	Slope %	Permissible Velocity fps	
		Resistant Soil	Erodible Soil
Bermuda Grass	0-5	8	6
	5-10	7	5
	Over 10	6	4
Bahia			
Buffalo			
Kentucky blue grass	0-5	7	5
Smooth brome	5-10	6	4
Blue grama	Over 10	5	3
Tall fescue			
Grass mixtures	0-5	5	4
Reed canarygrass	5-10	4	3
Lespedeza sericea			
Weeping lovegrass			
Yellow bluestem	0-5	3.5	2.5
Redtop			
Alfalfa			
Red fescue			
Common lespedeza	0-5	3.5	2.5
Sudangrass			

Tabell 15. Tillåtna flödes-hastigheter för olika grässorter enligt Tourbier and Westmacott (1974).

Vegetationsklädda kanaler får ej utsättas för kontinuerliga flöden eller hållas ständigt fuktiga, eftersom detta försämrar vegetationens levnadsbetingelser. En dräneringsledning under diket kan dock lösa detta problem, se figur 62. Den får dock ej placeras så att risk för förlust av jordmaterial genom dränering kan bli aktuell.

På samma sätt som för övriga gräsytor finns risk för erosion under sådd och tillväxtperiod. Åtgärder motverkande denna risk kan vara att avleda vattnet eller att anbringa grästorv.

Diken fyllda med högpermeabelt material

Fördröjning och utjämning av avrinningsförloppet blir givetvis effektivare om diket fylls med naturgrus, sten, makadam eller annat högpermeabelt material. Erosionsrisken kommer härigenom även att minska. Dock kan underlagrande material, t ex siltiga jordar, vara av sådan beskaffenhet att det kan erodera även för låga flödes-hastigheter. Möjlighet finns då att utföra uppfyllnad enligt filterprin-

cipen, dvs lager med olika kornstorlek vilka förhindrar bortspolning.

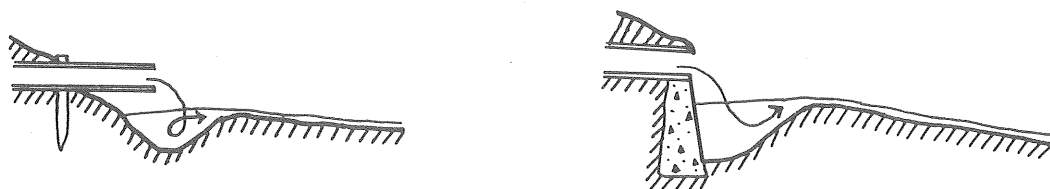
Ett uppfyllt dike kan vara fördelaktigt ur social och estetisk synvinkel, jämfört med ett öppet.

Det finns risk för igensättning, om dagvattnet innehåller höga halter av suspenderat material.

10.5 Avbördning och utströmning

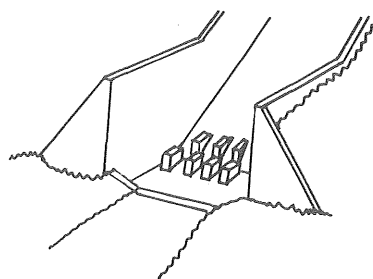
För att minska erosionsriskerna på utströmningsområdet och samtidigt erhålla en god spridning och fördelning av dagvattnet, krävs att vissa förhållanden beaktas. Dagvattnet får, speciellt vid transport i rörledningar, genom ökad flödes hastighet ett energitillskott, vilket medför risk för erosion vid utströmningen på grönytan.

Erosionen kan medföra risk för uppkomst av s k sprängdamm, se figur 63. Utbildningen av damm medför att en del av energin kommer att upptas på grund av vattenlagrets djup, men får den utvecklas fritt finns risk att erosionen "vandrar" uppströms och orsakar underminering samtidigt som igensättning kan ske nedströms. Om den trots allt är acceptabel ur såväl teknisk som estetisk synpunkt, kan den utformas enligt figur 63. I figur 63, till vänster, har en rörsektion skjutits ut och hålls på plats med trä- eller betongstöd. I figur 63, till höger, har en avskärande vägg anlagts, vars utsträckning överstiger den förmodade maximala erosionen och förhindrar därmed underminering.



Figur 63. Utbildning av sprängdamm samt erosionsbegränsande utformningar, efter Tourbier and Westmacott (1974).

Om sprängdammen ej accepteras, kan en skyddande beklädnad utföras. Denna kan utgöras av stenfyllning, handsatta stenar eller stenfyllda korgar. Stenfyllning är ofta att föredra, då dess råa struktur effektivt minskar vattnets energiinnehåll och därmed erosionsriskerna. Stenfyllda korgar tillåter att betydligt finare stenar används, vilket kan vara att föredra ur estetisk synpunkt. En annan möjlighet är att använda betongkonstruktioner vid utströmningsplatsen, se figur 64, i syfte att nedbringa rörelseenergin. Risk föreligger dock alltid att erosion uppträder, alldeles i skarven mellan konstruktion och efterföljande markyta.

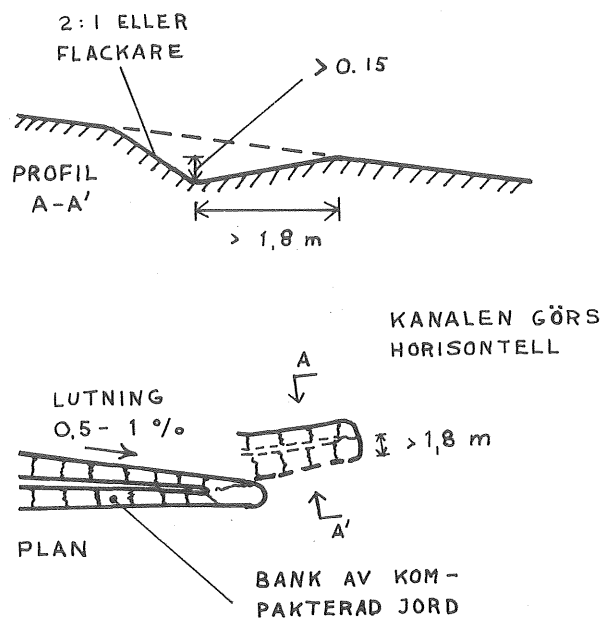


Figur 64. Energidämpare av betong, efter Tourbier and Westmacott (1974).

Om flödet slutligen är av sådan storlek att användande av stenfyllning m m begränsas, kan en "lugnande" bassäng anläggas, med funktion liknande den tidigare beskrivna sprängdammens.

Grönytan kan på utströmningsområdet utföras på samma sätt som vid avvattning av takytor, se kapitel 10.2, dvs användning av gamla grönytor, anlägga grönytor för kritiska områden tidigare än övriga, använda stabiliserande såddteknik eller anbringa "färdig" gräsmatta, grästorv.

Några system för distribution och fördelning av dagvatten på grönytor används för närvarande inte, förutom de tidigare beskrivna varianter som innefattar avledning via stuprör eller direkt bräddning från hårdgjorda ytor. Enligt Tourbier och Westmacott (1974) har dock vissa anläggningar utförts med avsikt att systematiskt sprida och fördela avrinningen på grönytan, se figur 65, varigenom koncentrerad avrinning omvandlas till "sheet flow" (se 4.1.1.2). Anläggningen ska utföras på opåverkad mark, vilken varken bör vara för dåligt dränerad eller för lätt eroderbar. Det är nödvändigt att känna tillflödet, vilket sedan ger "spridarens



Figur 65. Fördelningsanläggning enligt Tourbier and Westmacott (1974).

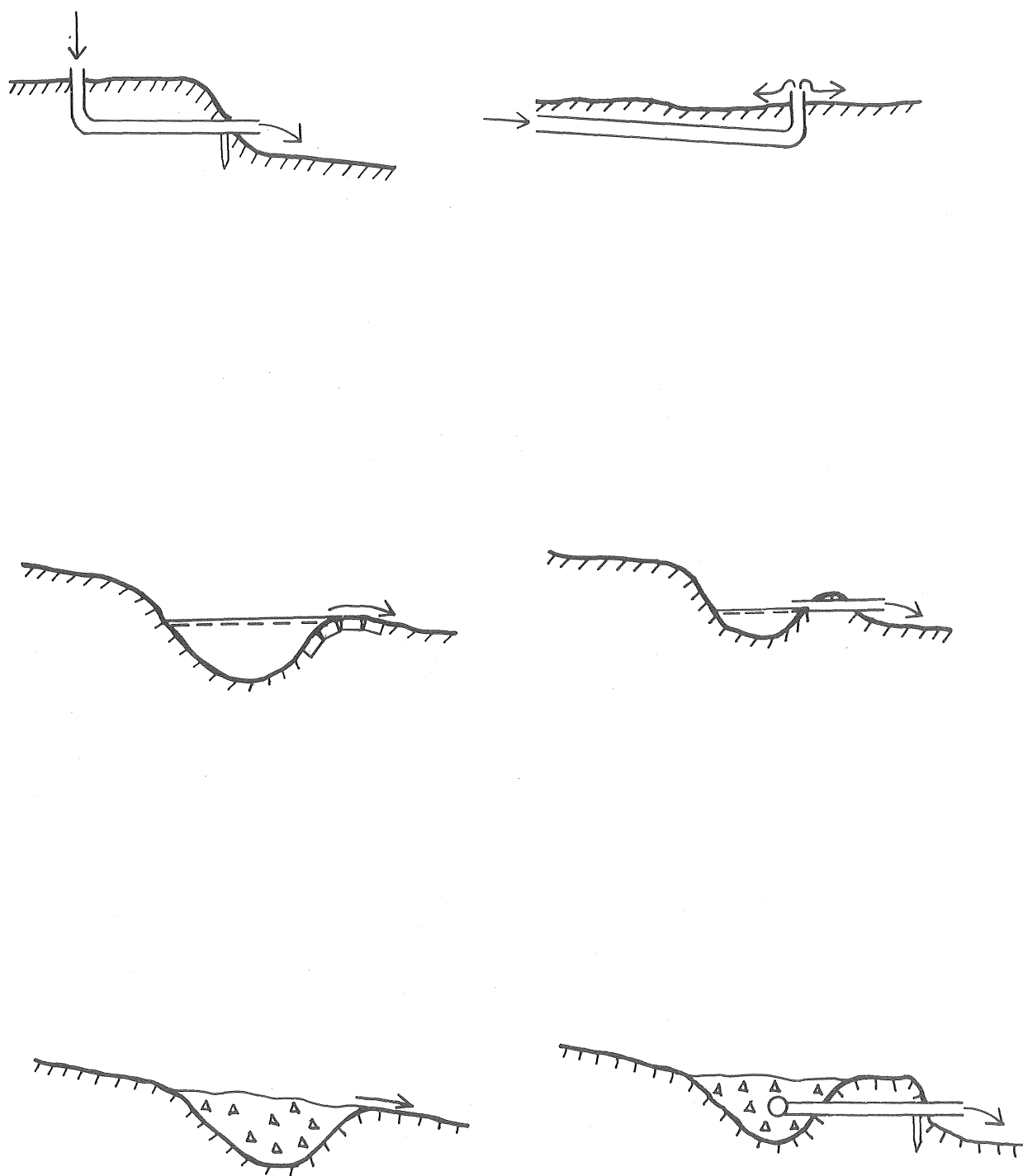
längd". Periodiska inspektioner och underhåll anses som viktiga.

Nedan följer några skisser på hur avbördningsanläggningar skulle kunna utformas, se figur 66.

10.6 Grönytor

En systematisk avledning av dagvatten till gräsytor, som t ex vid grönyteinfiltration medför att sprick- och grundvattennivåer påverkas.

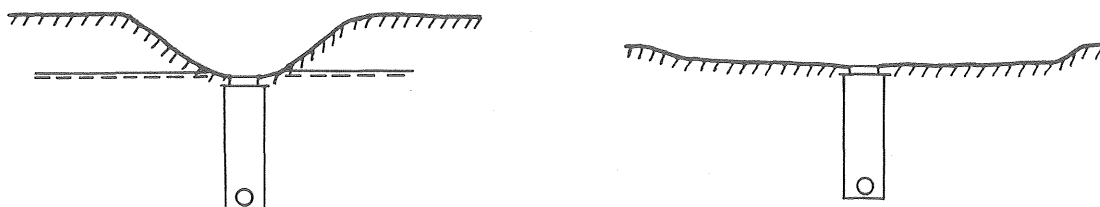
I finkorniga jordar, som silt, med hög grundvattenyta uppstår lätt ytuppmjukning om överskottsvatten blir stående. Det finns även risk för att vegetationens levnadsbetingelser begränsas genom väta. I dylika jordar måste därför, om möjligt, gräsytan ges en sådan lutning att överskottsvatten avrinner. Stor risk för liknande påverkan fås även i de lågpunkter i terrängen, där överskottsvatten samlas. Detta måste ledas bort i dike eller ledning, framför allt vid siltiga jordar med hög grundvattenyta.



Figur 66. Förslag till olika lednings- och avbördningsanläggningar vid grönyteinfiltration.

Dräneringsåtgärder kan enligt Andersson (1977) även bli erforderliga om naturmark avschaktas till en nivå nära grundvattenytan och inom "våta" områden, där överskottsvatten kan uppträda med korta mellanrum vid stor nederbörd höst och vår.

Ytuppmjukning kan inträffa punktvis på grönytor, när vatten infiltreras på och magasineras i mark. I figur 67 redovisas utformning av lågpunkt i en vegetationsyta enligt Andersson



Figur 67. Utformning av lågpunkt vid grönyteinfiltration, enligt Andersson (1977).

(1977). Till vänster i figuren redovisas en vanlig utformning, med en fördjupning kring själva brunnen. Detta kan enligt Andersson (1977) resultera i ytuppmjukning och dålig växtlighet, eftersom fördjupningens sidor utsätts för långvarig vattentillförsel från omgivande plana markyta. Att använda stenbeklädnad blir relativt dyrt. I stället skall utformningen göras som till höger, figur 67, vid en stor plan yta och med ett brunnsgaller i samma nivå som markytan.

Vad gäller metoder att anlägga en grönyta med avsikt att minska erosionsrisker, öka infiltration m m hänvisas till kapitel 4.1.1.4 och de däri angivna åtgärderna.

Utsläpp på lutande grönytor med öppen jord som vid buskytor bör ske i ränna som läggs till gräsyta.

10.7 Exemplifiering av områden, där dagvatteninfiltration på grönytor har tillämpats

I detta kapitel ges några exempel på områden, där dagvatteninfiltration på grönytor eller naturmark har utnyttjats. Någon systematisk genomgång för att belysa omfattningen av dagvatteninfiltration på grönytor har ej genomförts, utan här redovisas endast några få utvalda exempel.

Sammanfattningsvis kan sägas, att omfattningen och ambitionen varierar stort med avseende på dagvatteninfiltration på grönytor från ett område till ett annat. Kombinationslösningar är vanliga. Allmänt förekommer grönyteinfiltration i kombination med perkolationsmagasin. I figur 1 och 2, se kapitel 2, redovisas de två huvudprinciperna. Antingen låter man överskottsvattnet från grönytor brädda till ett perkolationsmagasin, dike, ledning eller också får perkolationsmagasinet överskottsvatten brädda till en grönyta. Hittills genomförda studier visar, att inget större bostadsområde har projekterats, där dagvattenavledningen enbart har lösts med ytinfiltration.

10.7.1 Nacka kommun, Östra Orminge

Förutsättningar

Östra Orminge är ett kuperat skogsområde (ca 45 ha) inom Nacka kommun, öster om Stockholm centrum. Området domineras av berg i dagen eller berg täckt av tunna jordlager. I dalgångarna mellan bergspartierna påträffas huvudsakligen morän och i de nordöstra delarna finns leriga finsediment.

Grundvattnets trycknivå i jordlagren ligger mestadels nära markytan och uppvisar stora säsongsmässiga variationer.

Vid planeringen av Östra Orminge har huvudmålsättningen varit att bevara befintlig terräng och vegetation. Den föreslagna låghusbebyggelsen har koncentrerats till gårdar. Varje gård omges av lägre liggande orörd naturmark, där

ingrepp ej har fått ske utöver vad som krävs för de tekniska försörjningssystemen.

Dagvattenhantering

Ca 95 % av bebyggelseområdets yta avvattnas till utsläpp i terrängen och i marken inom området. De återstående dagvattenmängderna leds till recipient efter rening.

De takytor som lutar mot orörd naturmark avvattnas till stuprör med utkastare. Vattnet rinner således fritt ut över tomtmarken och ut i terrängen. Till naturmark avleds även regnvatten från vägtrummor, diken och från takytor på garagehus och kvartershus. Den gemensamma ledningsgraven för vatten- och sekundärvärmeledningar som är förlagd på tomtmark framför varje hus utnyttjas som fördröjningsmagasin för takvatten, som avrinner mot gårdssidan. I magasinets nedströmsände sker bräddning till närmaste nedstigningsbrunn och dagvattenledning. Dagvattenledningen är ansluten till en infiltrationsanläggning. Till denna infiltrationsanläggning ansluts även ledningar från garagehus. I infiltrationsanläggningarna sker infiltration till omgivande jordlager och ytsprickigt berg. Vidare transporteras dagvattnet ut genom ett trumöga av naturstensfyllnad. Ett erosionsskydd av grov- och finmakadam utgör övergångszon innan dagvattnet når infiltrationsytan.

Dräneringsvatten från husgrunder leds till något mindre infiltrationsanläggningar. Dessa anläggningar fungerar på motsvarande vis.

10.7.2 Huddinge kommun, Östra Skogås

Förutsättningar

Östra Skogås är ett kuperat skogsområde sydost om Stockholms centrum. Vegetationen är blandad inom området.

Topografiskt domineras Östra Skogås av bergryggar med mellanliggande lerfyllda dalgångar. Mindre förekomster av morän finns. En omfattande markbehandlingsplan har utarbetats med inriktning på att spara vegetation och anlägga parkmark.

Vid detaljprojekteringen av dagvattennätet har konsulten anmodats att i så stor utsträckning som möjligt beakta förutsättningarna till lokalt omhändertagande av dagvatten. Utbyggnaden har skett etappvis och när fem etapper detaljprojekterats, beslutade kommunen att en total plan skulle göras över förutsättningarna att inom hela området infiltrera dagvatten.

Dagvattenhantering

Projekteringen följer principerna om en successiv utjämning och lokalt omhändertagande av dagvatten. För varje hus och tomt utreds dagvattenhanteringen noggrant. Intentionen är att utnyttja den sluttande terrängen för att sprida och infiltrera dagvattnet. Större värdefulla trädbestånd har lagts in på arbetsritningen.

Fördelningsanordningarna liknar de som projekterats för Östra Orminge. Det vill säga möjligheter ges till både perkolation från fördelningsbrunnarna samt bräddning och infiltration över angränsande grönyta. Om gräsytan helt översilas av vatten, uppsamlas det nedströms i ett dike som i sin tur bräddar till en klenare dagvattenledning.

Dagvattennätet har även försetts med större fördröjningsmagasin, vilka har en bräddningsmöjlighet över angränsande grönyta. Från magasinet utgår även ett bottenutlopp, vilket tills vidare tätats. Detta bottenutlopp tas i drift när den normala bräddningsfunktionen har satts igen. Bottenutloppet mynnar i grönytan.

10.7.3 Huddinge kommun, Snättringe

Dagvatten infiltreras från en trafikled (Utsäljeleden). Den hårdgjorda ytan har en areal av 280 m². Infiltrationsytan utgörs av en grässlänt på 120 m². Jordarten inom området utgörs av fyllning på lera som underlagras av morän. Inom området studeras föroreningsseffekten på grundvattnet.

10.7.4 Tullinge gård, Flottbrovägen

Dagvatten infiltreras från en väg och en parkeringsplats. Vattnet avleds till en höglänt med dike mellan vägen och parkeringsplatsen. Dessa ytor har asfalterats. Asfaltytan har en areal av 2170 m². Infiltrationsytan har en areal på 650 m² och ansluter mot asfaltytorna. Jordarten inom området utgörs av lera, som underlagras av finsand. Inom området studeras föroreningsseffekter på grundvattnet.

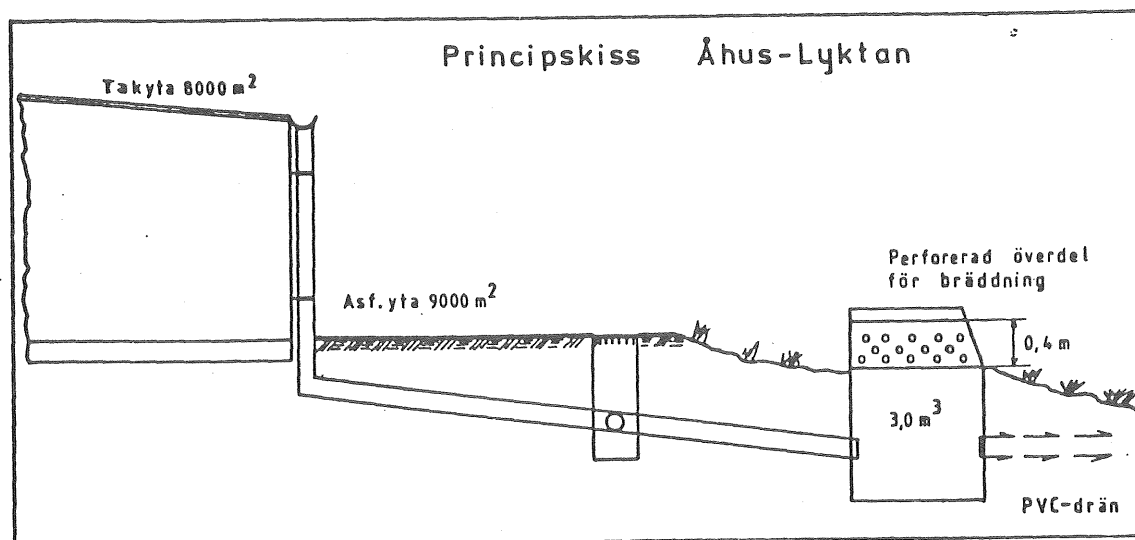
10.7.5 Ronneby flygplats

Vid utbyggnaden av uppställningsplattan, Ronneby flygplats, har klent dimensionerade dagvattenledningar anlagts (Ø 150 mm). Avsikten är att avleda det första mest förorenade dagvattnet vid varje regntillfälle. När ledningens kapacitet överskrids, får överskottsvattnet infiltrera i grässlänter utanför uppställningsplattan.

Flygplatsen är anlagd på Bredåkradeltats yttre del. Jordarten utgörs i huvudsak av grusig till moig sand. Inslaget av finmaterial är väsentligt högre i markytan. Infiltrationskapaciteten har uppmätts till ca 6-7 mm/tim på den nysådda markytan utanför plattan.

10.7.6 Åhus, Lyktan

Regnvatten avleds från takytor och asfaltytor till uppsamlingsbrunnar. Brunnarna har lokaliserats till grönytor och har bräddningsmöjlighet till omgivande naturmark, se figur 68.



Figur 68. Perkulationsmagasin med bräddning till grönyta. (Efter Lindvall, Eriksson, 1978).

10.7.7 Gävle, Andersberg

Vatten leds från tak via stuprörsutkastare antingen direkt ut på mark eller till perkulationsmagasin. Magasinen har bräddningsmöjlighet till omgivande mark.

10.7.8 Sollentuna, Rotebro

Vatten från takytor inom området (ca 400 lägenheter) leds via utkastare till gräsytor samt till magasin i mark. Magasinen har bräddningsmöjlighet till omgivande mark.

10.7.9 Sollentuna, Tegelhagen

Vatten leds från lågtrafikerade hårdgjorda ytor till vegetationsbeksädda partier inom området. Bebyggelsen utgörs av flerfamiljshus, ca 200 lägenheter. Infiltrationsytorna följs upp av BPA och ORRJE med anslag från BFR.

10.7.10 Eskilstuna, Glömsta

Inom Glömstaområdet (192 friliggande småhus) leds vatten från asfalterade ytor till vegetationsbeksädda markytor.

Infiltration av dagvatten på grönytor medför omfördelning av kostnaderna för ett byggnadsprojekt. Dels omfördelas kostnaderna för anläggandet, dels omfördelas kostnaderna mellan anläggnings- och bruksskedet. Stora besparingar kan således göras genom minskning av dagvattenledningar i ett område, tabell 16 (VA-verket, Göteborg, internt kalkylunderlag). Ytterligare exempel på omfördelning och besparingar vid alternativ dagvattenhantering redovisas för perkolationens anläggningar av Paus et al (R 23:1974). Någon relevant jämförelse mellan ett område med konventionellt utformat VA-system och ett där dagvattnet infiltreras på grönytor kan inte göras utan att en långtgående projektering genomförs. Sistnämnda alternativ förutsätter ofta en terränganpassning av bebyggelsen som inte är nödvändig med konventionellt system. Härigenom kan en del av besparingarna ätas upp av att större markområde tas i anspråk och att kostnaderna för gator och övriga ledningar kan öka.

Lokal infiltration av dagvatten (LOD) kan medföra en lägre anläggningskostnad jämfört med konventionella ledningssystem. Generellt sett blir kostnadsminskningen liten inom enskild mark (tomtmark) och stor inom allmän mark. Enligt Andersson (1979) uppgår kostnadsbesparingarna till 10% av kostnaden för ett konventionellt ledningssystem för enskilda hus med enkel lösning. För enskilda hus med komplicerad lösning kan kostnadsbesparingarna vara större.

Enligt Andersson (1979) kan anläggningskostnaden för ett LOD-system (perkulationsmagasin kombinerade med infiltration på grönytor) minskas genom:

- minskad dimension på dagvattenledningar
- mindre ledningsmängd och antal brunnar
- samförlagda ledningsgravar
- låga kostnader för utloppsanordning i recipient
- mindre marksättningar, inga ledningsbrott under garantitiden.
- mindre torkskador på både befintlig och nyplanterad vegetation
- vägars belagda ytor bör dimensioneras för trafik och ej för snö, vilket nu ofta är vanligt.

Kostnader för va-ledningar

Ledningar förutsätts ligga enligt normal sektion med V, S och D i samma schakt. Nyexploatering

Vatten

Mark-variation	Kostnader i kr/m Dim				
	100	150	200	300	400
Bra mark	540	600	670	1130	1200
Dålig mark	830	860	900	1400	1500
Berg	750	770	840	1350	1400

Dagvatten

Mark-variation	Kostnader i kr/m Dim						
	225	300	400	500	600	800	1000
Bra mark	530	550	610	790	880	1130	1240
Dålig mark	830	860	970	1180	1330	1580	1650
Berg	850	870	900	1120	1200	1450	1600

Spillvatten

Mark-variation	Kostnader i kr/m Dim				
	225	300	400		
Bra mark	610	790	970		
Dålig mark	1080	1400	1800		
Berg	1000	1180	1560		

Tabell 16. Internt kalkylunderlag, ledningskostnader i olika typer av mark, (VA-verket, Göteborg, kostnadsläge 1978-01-01).

Kostnadsjämförelser har även gjorts mellan projekterade konventionella dagvattensystem och system, där dagvattnet infiltreras lokalt. Nedan redovisas en jämförelse för fyra olika områden, kostnader i tkr, (Andersson 1979, Paus, Andersson, Carlstedt 1974).

	Konventionellt ledningssystem	LOD	Kostnadsbespar- ing i % av kon- ventionellt led- ningssystem
Järfälla, Viksjö	4962	3585	28%
Ronneby, Hulta	2495	1580	37%
Finspång	1180	465	60%
Tegelhagen	309	267	14%

För Hulta- och Viksjöområdet har jämförelser gjorts mellan LOD-system och konventionellt duplikatsystem. I Hultaområdet utfördes LOD-system och i Viksjöområdet konventionellt duplikatsystem. Kostnadsjämförelsen har i båda fall utförts med likvärdigt kalkylunderlag.

Parkområden och mindre grönytor måste anläggas med tanke på att tjäna som magasin och områden för grundvattenbildning. Florgård (1978) redovisar kostnader för olika parkelement, tabell 17 som också ingår i anläggningskostnaden.

Under rubriken "Naturmarkens ekonomi - kostnader men mest vinster" varur nedanstående tabell 17 är hämtad diskuterar också Florgård fördelarna med att bevara naturmark. Naturmarken är särskilt intressant genom att infiltrationskapaciteten där ofta är hög och årskostnaden för anläggning och skötsel är låg. Av nämnda artikel framgår, att byggandet kan fördyras om naturmarken skall bevaras, eftersom arbetsplatsens markyta inte kan disponeras fritt. Beträffande enstaka småhus medför detta en uppskattad kostnad av ca 1% av saluvärdet. För bostadsområden anger Florgård, att besparingar på 8-14 kr/m² våningsyta i vissa fall skall vara möjliga genom bevarande av befintlig växtlighet. I ett exempel kan gränsen vid vilken det är lönsamt att bevara befintlig växt-

lighet uppskattas ligga vid storleksordningen 40 kr/m². Infiltration av dagvatten på grönytor, parkelement eller naturmark kan då vara en möjlighet att kompensera för den förskjutning av den hydrologiska balansen som byggandet oftast innebär. Den naturliga vegetationen kan därigenom eventuellt bibehållas.

Parkelement	Anläggn.kostn kr/enhet	Skötselkostn /enhet (inkl underhåll)	Avskriv- ningstid	Årskostn/enhet (anläggning + skötsel)
Gräs - ängstyp (inkl jord)	5-10 kr/m ²	0:67 kr/m ²	40 år	2:18 kr/m ²
Gräs - vanlig gräsmatta (inkl jord)	12-24 kr/m ²			
Buskage (inkl jord)	30-55 kr/m ²	5:85 kr/m ²	40 år	9:37 kr/m ²
Träd (12-14 cm stam- omkrets)	350 kr/st	133:00 kr/st	50 år	175:90 kr/st
Träd inkl trädgaller	700 kr/st			
Perenna växter	120 kr/m ²	20:70 kr/m ²	5 år	50:75 kr/m ²
Annuella växter	120 kr/m ²	174:00 kr/m ²	1 år	174:00 kr/m ²
Rosor	120 kr/m ²	18:40 kr/m ²	5 år	48:45 kr/m ²
Parkvägar, grus och asfalt bredd 3 m, inkl belysn	400- 450 kr/m ²	0:77 kr/m ²	40 år	13:33 kr/m ²
Skogs- och naturmark	4 kr/m ²	0:09 kr/m ²	50 år	0:16 kr/m ²

Tabell 17. Kostnader för olika parkelement i 1976 års prisnivå, Flor-
gård 1978, (efter Henriksson, 1976).

Skötselkostnaderna för olika slag av grönytor varierar stort. Kostnaderna påverkas främst av

- ytornas storlek och utseende
- krav på skötselinsatser

De totala kostnaderna påverkas framför allt av arealen gräsytor och planteringar i mycket liten omfattning av blomsterarrangemang o dyl. Nedan redovisas kostnadsrelationer för skötsel av grönytor 1978 i samma entreprenad (Bucht 1978):

naturmark, grässlottar	0:10 kr/m ²
vanlig kortklippt gräsyta	0:70 kr/m ²
fin gräsyta, liten areal	7:00 kr/m ²

Skötselkostnaden för optimerade infiltrationsytor torde, med stöd från ovan angivna kostnadsrelationer vara väsentligt högre än för konventionella grönytor. De högre skötselkostnaderna för optimerade infiltrationsytor skall dock ställas i relation till de besparingar, som kan göras genom minskade kostnader på dagvattenledningssidan, reningsverk och eventuella miljömässiga vinster.

En bättre planering, noggrannare genomförd markbyggnad, där större hänsyn tas till biologiska och ekologiska faktorer förväntas medföra, att grönområdenas standard och livslängd ökar samtidigt som skötselkostnaderna minskar. En anpassning av markbyggnaden till de anvisningar, som nu håller på att utarbetas och till de idéer som framläggs inom olika projektgrupper (t ex RA-78, Planera & Plantera, Movium, Vegetationens inverkan på det hydrologiska förloppet inom urbana områden, m fl) kan medföra, att de konventionella grönytorna blir avsevärt effektivare med avseende på dagvatteninfiltration till i stort sett samma kostnad.

Anläggandet av grönytor eller bibehållandet av naturmark lämpad för infiltration kan således medföra minskade totala kostnader. Kostnadsjämförelsen torde dock ytterligare tala till förmån för infiltration på grönytor om man räknar in besparingar i brukarskedet. Utanför kostnadsjämförelsen faller då fortfarande besparingar på grund av:

- minskade skador på byggnader genom sättning
- minskade skador på ledningar och belagda ytor

Till detta kommer icke kalkylerbara vinster som minskade skador på recipienter och att grönytor förhöjer trivselen i området.

12. REFERENSER

- Andersson O, et al, 1979. Planera & Plantera. Konzept.
- Andersson R, 1977. Kompendium. Regnvattenavledning i byggd miljö. BPA Produktion AB, Stockholm.
- Andersson R, 1979. Föredrag vid seminariet "Infiltrera dagvatten". Chalmers tekniska högskola, 20 april 1979.
- Andersson R, Carlstedt B, Paus K, 1979. Dagvattenavledning genom infiltration, magasinering och perkolation. Rapport 1979-07.
- Andersson S, 1964. Undersökningar av tjälbildning, tjäldjup och tjälavsmältning i olika åkermarker med och utan naturligt snötäcke. Grundförbättring 1964:3.
- Andersson S, 1969. Markfysikaliska undersökningar i odlad jord XVII. Om en ny och enkel evaporimeter. Grundförbättring, 22, 1969:3, sid 59-66.
- Andersson S, Wiklert P, 1972. Markfysikaliska undersökningar i odlad jord XXIII. Om de vattenhållande egenskaperna hos svenska jordarter. Grundförbättring 72. Volym 25.
- Arnell V, Lyngfelt S, 1975. Interimrapport. Beräkningsmodell för simulering av dagvattenflöde inom bebyggda områden. Geohydrologiska forskningsgruppen, CTH. Meddelande nr 12, Göteborg.
- Arnell V, 1977. Nederbördsdata vid dimensionering av dagvattensystem med hjälp av detaljerade beräkningsmodeller. En inledande studie. Geohydrologiska forskningsgruppen, CTH. Meddelande nr 23. Göteborg.
- Ateshian J K N, 1974. Estimation of Rainfall Erosion Index. Journal of the Irrigation and Drainage Division, September 1974, pp 293-307.

- Balek J, 1977. Hydrology and Water Resources in Tropical Africa. Developements in Water Science; 8.
- Berglund G, 1979. Problemjordar. Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala.
- Bergström T, 1976. VAV Publikation P31, mars 1976.
- Bergström T, 1976. Svenska Vatten- och Avloppsverksföreningen, 1976. Anvisningar för beräkning av allmänna avloppsledningar. Publikation VAV P28, Stockholm.
- Beskow G, 1929. Dräneringens betydelse för vägarnas tjälförhållanden. Svenska Vägintitutet, Stockholm. Meddelande nr 5.
- Beskow G, 1930. Om jordarternas kapillaritet. SGU Ser C, No 356, Stockholm.
- Beskow G, 1935. Tjälbildningen och tjällyftningen med särskild hänsyn till vägar och järnvägar. Statens Vägintitut. Meddelande nr 48, Stockholm.
- Bhutani J, Holberger R, Spewak P, Jacobsen W E, Truett B J, 1975. Impact of Hydrology Modifications on Water Quality. EPA-600/2-75007, April 1975.
- Bostadsstyrelsen - Statens Planverk, 1978. Planekonomiska utredningar - planutformning och ekonomi. Statens Planverk, Rapport 45. Stockholm.
- Bruce-Okine E, Lal R, 1975. Soil Erodibility as Determined by Raindrop Technique. Soil Science, 119 (2), pp 149-157.
- Bucht E, 1978. PM inför temadag om Åttiotallets rekreativmiljö, Sveriges lantbruksuniversitet, Alnarp. Projekt MOVIUM - för samarbete och information om mark och vegetation i urban miljö.

- Burt T P, Williams P J, 1977. Hydraulic Conductivity in Frozen Soils. Earth Surface Processes, Vol 1.
- Bäckman L, Knutsson G, Rühling Å, 1978. Vägars inverkan på omgivande natur - 1. Vegetation, mark och grundvatten. Statens Naturvårdsverk PM 1068.
- Cederwall K, Eriksson A, 1977. Dimensionering av infiltrationsmagasin enligt regnenvelopemetoden. Väg- och vattenbyggaren, nr 4-1977.
- Cederwall K, Sjöberg A, 1969. Hydraulik. Chalmers tekniska högskola, inst f vattenbyggnad, intern skrift nr 6, 1969.
- Dahlström B, 1979. Regional fördelning av nederbördsintensitet - en klimatologisk analys. Byggforskningen, Rapport R18:1979. Stockholm.
- Danfors E, 1975. Soil Water Distribution - A State of the Art Report. Nordic IHD Report No 9, Oslo.
- Danfors B, 1979. Komprimerad jord - Orsak och verkan. Utemiljö nr 1/79.
- Dawdy D R, O'Donnel T, 1965. Mathematical Models of Catchment Behavior. J Hydr Div Amer Soc Civil Engr 91 (HY 4), pp 123-139.
- Dredge H E, 1976. Soils of Arid Regions. Pp 206-218. Elsevier, Amsterdam.
- Engdahl M, 1975. Bestämning av infiltrationskapacitet i främst lerjordar inom Angered, Göteborg. Publ B 49. Geologiska institutionen, Chalmers tekniska högskola, Göteborg.
- Ellenberg H, 1963. Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen. (E Ulmer, Stuttgart). Einführung in die Thytobogie, bb. IV, Teil 2. utg: H Walter. 943 s.

- Ericsson L O, 1978. Infiltrationsprocessen i en dagvattenmodell. CTH, Geohydrologiska forskningsgruppen, Meddelande nr 30. Göteborg.
- Ericsson L O, Holmstrand O, 1978. Vattnets rörelse i den omättade zonen, mätmetoder - litteraturgenomgång. Byggforskningen, rapport R4:1978. Stockholm.
- Ericsson L-O, Hård S, 1978. Infiltrationsmätningar i stadsdelen Ryd, Linköping. Geohydrologiska forskningsgruppen, Chalmers tekniska högskola. Meddelande nr 32. Göteborg
- Eriksson A, Lindvall P, 1978. Lokalt omhändertagande av dagvatten. Resultatredovisning av enkät rörande drift och konstruktion av perkolationsanläggningar. CTH, Geohydrologiska forskningsgruppen, Meddelande nr 27. Göteborg.
- Eriksson J, 1975/76. Influence of Extremely Heavy Traffic on Clay Soil. Grundförbättring nr 1, 1975/76.
- Fellenius B, Rengmark F, 1959. Köldmängdkarta över Sverige. Statens Väginstitut, meddelande nr 91. Stockholm.
- Florgård C, 1978. Natur i stad. Statens råd för byggnadsforskning. Stockholm, T25:1978.
- Florgård C, Andersson R, Ledin S, Nord M, Rosén B, 1977. Naturmark och byggande. Byggforskningen, rapport R73:1977.
- Florgård C, Palm R, 1979. Vegetationen i dagvattenhanteringen, Statens Naturvårdsverk. Rapport, koncept.
- Foster G R, Wischmeier W H, 1974. Evaluating Irregular Slopes for Soil Loss Prediction. Transaction of the ASAE, 17 (2), pp 305-309.

- Gardner W R, 1960. Dynamic Aspects of Water Availability to Plants. Soil Science 89:63-73
- Golver A O, Schneider W, 1973. Belastung des Bodens und des Unterirdischen Wasser durch Strassenverkehr. Das Gas und Wasserfach, 114, 1973, nr 4, pp 154-165.
- Granholm H, 1971. Om frostens nedträngande i marken med särskild hänsyn till möjligheter att förhindra tjälskador. Chalmers tekniska högskolas Handlingar N332. (Avd Väg- och vattenbyggnad. Byggnadsteknik 60) 1971.
- Green W H and Ampt G A, 1911. Studies on Soil Physics: I. Flow of Air and Water through Soils. Journal of Agricultural Science 4, pp 1-24.
- Hagan R M, Haise H R, Edminster T W, 1967. Irrigation of Agricultural Land. Agronomy No 11, American Society of Agronomy.
- Heinemann H G, Piest R F, 1975. Soil Erosion - Sediment Yield Research in Progress. Transactions of American Geophysical Union. 1975, 56 (3), pp 149-159.
- Hills R C, 1971. The Influence of Land Management and Soil Characteristics on Infiltration and the Occurrence of Overland Flow. Journal of Hydrology, 13 (1971), pp 163-181.
- Hjulström F, 1935. Studies of the Morphological Activity of Rivers as Illustrated by the River Fyris. Bulletin of the Geological Institution of the University of Upsala, 1934-1935, pp 221-527.
- Hoekstra P, 1966. Moisture Movements in Soils under Temperature Gradients, with the Coldside Temperature below Freezing. Water Resources Research, 2, pp 241-250.

- Holmstrand O, Wedel P, 1976. Markvattenundersökningar i ett urbant område. Geohydrologiska forskningsgruppen, Chalmers tekniska högskola. Meddelande nr 17. Göteborg.
- Holmstrand O, Lindvall P, 1979. Infiltrera dagvatten, planering och metoder. Naturvårdsverket. Byggeforskningen. Statens Naturvårdsverks rapporter.
- Horton R E, 1919. Rainfall Interception. Mon. Wea. Rev. 47: p 603-623.
- Hård S, 1978. Hur påverkas grundvattnet kvalitativt vid dagvatteninfiltration - litteraturstudie. Koncept - Delrapport 1978-12-01. CTH, Geohydrologiska forskningsgruppen, Göteborg.
- Hård S, Wedel P, 1977. Miljömässiga aspekter på dagvatteninfiltration - analys av forskningsområde och programskrivning. CTH, Geohydrologiska forskningsgruppen, Göteborg 1977.
- Hällgren J, 1979. Föredrag vid seminariet "Infiltrera dagvatten". Chalmers tekniska högskola, 20 april 1979. Göteborg.
- International Institute for Land Reclamation and Improvement, 1974. Drainage Principles and Applications. Publication 16, Vol III.
- Jansson L-E, 1968. Tjälldjupet i Sverige. Information från Statens Naturvårdsverk, V4, 1968.
- Jensen K, 1978. Vedligeholdelse af bolldbaner. Landskap nr 4.
- Johansen Ø, 1977. Frost Penetration and Ice Accumulation in Soils. FROST Actions in Soils, International Symposium, University of Luleå, Sweden, February 16-18, 1977. Proc, Vol 1.

- Johansson L, 1974. Kravspecifikationer för skötsel och underhåll av mark. Byggforskningen, R61:1974. Stockholm.
- Knutsson G, Bäckman L, Hedgren S, Rühling Å, Tyler G, 1974. Vägars inverkan på omgivande natur. Litteraturoversikt. Statens Naturvårdsverk PM 994, 1974.
- Koopmans R W R, Miller R D, 1966. Soil Freezing and Soil Water Characteristic Curves. Soil Science Society of Am Proceedings, Vol 30, No 6, Nov-Dec 1966, pp 680-685.
- Langvad B, 1971. Våra grönytor - anläggning och skötsel. LTS förlag, Borås 1971.
- Linsley, R K, Kohler M A, Paulhus J L H, 1949. Applied Hydrology, New York.
- Linsley R K, Kohler M A, Paulhus J L H, 1958. Hydrology for Engineers, New York.
- Linsley R K, Kohler M A, Paulhus J L H, 1975. Hydrology for Engineers, Mc Graw-Hill, New York.
- Lundberg A, 1974. Infiltration och perkolation i det översta markskiktet. En sammanställning av utförda undersökningar i Norden. International Hydrological Decade, Statens Naturvetenskapliga Forskningsråd. Rapport nr 35.
- Malmquist P-A, Svensson G, 1978. Dagvattnets sammansättning och variation. Byggforskningen S30:1978.
- Mark-AMA-72, AB Svensk byggtjänst 1972.
- Mark-AMA-72, Råd och anvisningar, AB Svensk byggtjänst 1972.

- Mech S J, Smith D D, 1967. Irrigation of Agricultural Lands - Water Erosion under Irrigation. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin, USA, 1967.
- Merriam R A, 1960. A Note on the Interception Loss Equation. JGR, 65: p 3850-3851.
- Meyer L D, Wischmeier W H, Daniel W H, 1971. Erosion, Runoff and Revegetation of Denuded Construction Sites. Trans Amer Soc Agr Engr 14, pp 138-141.
- Miller R D, 1970. Ice Sandwich: Functional Semi-permeable Membrane, Science 169; p 584-585.
- Miller, A C, Daily D A, 1977. Soil Taxonomy and Soil Properties - Rainfall Factors that Affect Erosion. Transportation Research Record 642, pp 57-61.
- Molz F J, 1971. Interaction of Water Uptake and Root Distribution. Agron. J 63, pp 608-610.
- Molz F J, Remson I, 1970. Extraction - Term Models of Soil Moisture Use of Transpiring Plants. Water Resources Res 6, pp 1346-1356.
- Molz F J, Remson I, 1971. Application of an Extraction - Term Model to the Study of the Moisture Flow to Plant Roots. Agron. J 63, pp 72-77.
- Nazarov G V, 1974. Permeability of the Soil as an Indicator of its Resistance to Erosion. Soviet Soil Science, 6 (3), pp 336-339.
- Niemczynowicz J, 1977. Fysikalisk modell av urbaniseringspåverkat avrinningsområde. Lunds tekniska högskola, Lunds universitet, inst. för teknisk vattenresurslära, rapport nr 3010.
- Nimah och Hanks, 1973. Model for Estimating Soil Water, Plant and Atmospheric Interrelations. I. Description and sensitivity

- Odén S, 1957. Förslag till klassifikation av markens porer. Kungl skogs- och lantbruksakademiens tidskrift, årg. 96.
- Orrje & Co Ingenjörsfirma AB, 1979. Dagvattenavledning genom infiltration, magasinering och perkolation, koncept - 1979.
- Overton D E, 1964. Mathematical Refinement of an Infiltration Equation for Watershed Engineering. USDA-Aes, pp 41-99.
- Overton and Meadows, 1976. Stormwater Modelling. Academic Press.
- Paus K, Andersson R & Carlstedt B, 1974. Regnvattenavledning genom magasin och perkolation. Statens råd för byggnadsforskning, rapport R23:1974. ISBN 91-540-2372-6, Stockholm.
- Pecher R, 1970. Die zeitliche Abhängigkeit des Abflusswertes von der Regendauer und der Regenintensität. Gwf-wasser/abwasser 111, H8.
- Pedersen J K, 1976. Jordpackning. Landskap 2/76.
- Penmar H L, 1956. Evaporation: An Introductory Survey. Neth. J. Agric. Sci. 4: p 9-29.
- Penner E, 1957. Soil Moisture Tension and Ice Segregation. Highway Res. Board, Wash. D.C. Bulletin 168. p 50-64.
- Penner E, 1958. Pressures Developed in a Porous Granular System as a Result of Ice Segregation. Highway Res. Board, Wash. D.C. Spec-report, 40, p 191-199.

- Pfeiff S, 1971. Meterologische, topographische und bautechnische Einflüss auf den Regenabfluss in Kanalisationsnetzen. Wasser und Abwasser in Forschung und Praxis 3, Erich Schmidt Verlag, Bielefeld.
- Philip J R, 1957. The Physical Principles of Soil Water Movement during the Irrigation Cycle. Int Cong on Irrigation Drainage, Proc 3rd, 8:125-154.
- Petersen M, 1974. Jordsammensætning till sportspladser. Landskap 7/74.
- Pettersson O, 1976. Tungmetaller i mark och växter - En litteraturöversikt. SNV PM 761. Statens Naturvårdsverk, Stockholm.
- Påhlsson L, 1972. Översiktlig vegetationskartering. Statens Naturvårdsverk, Solna.
- Reinius E, 1963. Hydrologi och vattenreglering, Stockholm
- Robinson G D, Spieker M, 1978. Nature to be Commanded. Earth-Science Maps Applied to Land and Water Management. Geological Survey Professional Paper 950.
- Rowlison D L, Martin G L, 1971. Rational Model Describing Slope Erosion. Journal of the Irrigation and Drainage Division, March 1971, pp 39-50.
- Ruckli R, 1950. Der Frost im Baugrund. Wien.
- Selim, Hammond, Mansell, 1977. Soil Water Movement and Uptake by Plants During Water Infiltration and Redistribution. Soil and Crop Science Society of Florida, Proceedings Vol 36.

- Sjöberg A, Lundgren J, 1979. Manual för ILLUDAS. Ingår i: Datorberäkningar av dagvattensystem. Kurs vid CTH 1979. (CTH, Geohydrologiska forskningsgruppen.) Göteborg.
- Smith D D, Wischmeier W H, 1962. Rainfall Erosion. Advance Agron 14:109-148.
- Smith R M, Stamey W L, 1965. Determining the Range of Tolerable Erosion. Soil Science, 100 (6), pp 149-157.
- Statens vattenfallsverk, 1958. Anvisningar för utförande och kontroll av jorddammar. Andra omarbetade upplagan 1958.
- Statens Vägverk, 1976. Byggnadstekniska anvisningar. Kap 374, Slänter, koner, väggrenar m m.
- Statens Vägverk: Byggnadstekniska anvisningar. Stockholm.
- Street W D, Ragan R M, 1974. Maryland Highway Drainage Stude Volyne IV. Overland Flow on Areas Subjected to Infiltration Losses. Maryland University, June 1974.
- Stålfelt M G, 1963. Grönområdenas ekologi (KTH, Institutionen för stadsbyggnad). Stensil.
- Terstriep M & Stall J B, 1974. The Illinois Urban Drainage Area Simulator (ILLUDAS). Illinois State Water Survey, Bulletin 58. Urbana, Illinois.
- Tourbier J, Westmacott R, 1974. Water Resources Measures in Land Development - A Handbook. Water Resources Center, University of Delaware, 1974.
- Troedsson T, Nykvist N, 1973. Marklära och markvård, Uppsala.
- US Dept of Agriculture and the US Dept of Housing and Urban Development, Washington D C, 1967. Soil Water and Suburbia Conference, June 15 and 16, 1967.

- VA-verket, Göteborg 1978. Internt kalkylunderlag.
- Veihmeyer F J, 1938. Evaporation from Soils and Evapotranspiration. Trans. AGU, 19:612-615.
- VIAK AB, 1976. PM angående regnvattenavledning. Nacka kommun, Östra Orminge. 1979-09-15. Stockholm, 1976.
- VIAK AB, 1977. PM angående kompletterande åtgärder för dagvattenavledning inom Östra Orminge. 1977-05-17. Stockholm, 1977.
- Ward R C, 1975. Principles of Hydrology. Mc Graw-Hill, Maidenhead.
- Weeks L E, Colter W G, 1952. Effect of Synthetic Soil Conditioners on Erosion Control. Soil Science, Vol. 73, January to June 1952, pp 473-484.
- Westin L, 1977. Miljömässiga aspekter på dagvattenhantering - litteraturgenomgång. Byggforskningen, rapport R94: 1977.
- Widgren R, 1977. Urban växtlighet i ekologiskt perspektiv - problem, kunskaper, forskningsbehov. Statens institut för byggnadsforskning, meddelande M77:4.
- Wigham I M, 1970. Section IV in Gray, D M (Ed.). Handbook on the Principles of Hydrology, National Research Council of Canada, Ottawa.
- Williams PJ, 1967. Properties and Behavior of Freezing Soils. Norw. Geotechn. Inst. Oslo, Publ. 72.
- Williams P J, 1972. Measurements of Suction Pressures Developed on Freezing Soils. Abstract. Fifth Western Canadian Heat Transf. Conf. pp 56-59.
- Williams P J, Burt T P, 1974. Measurement of Hydraulic Conductivity of Frozen Soils. Can. Geotechn. I, II: 647-650.

Williams P J, 1977. Thermodynamic Conditions for Ice Accumulation in Freezing Soils. FROST Actions in Soils, International Symposium, University of Luleå, Sweden, February 16-18, 1977, Proc Vol 1.

Wischmeier W H, Mannering J V, 1969. Division S-6 - Soil and Water Management and Conservation. Relation of Soil Properties to its Erodibility. Soil Sci Soc Amer Proc, 1969, 33, pp 131-137.

13. BILAGOR

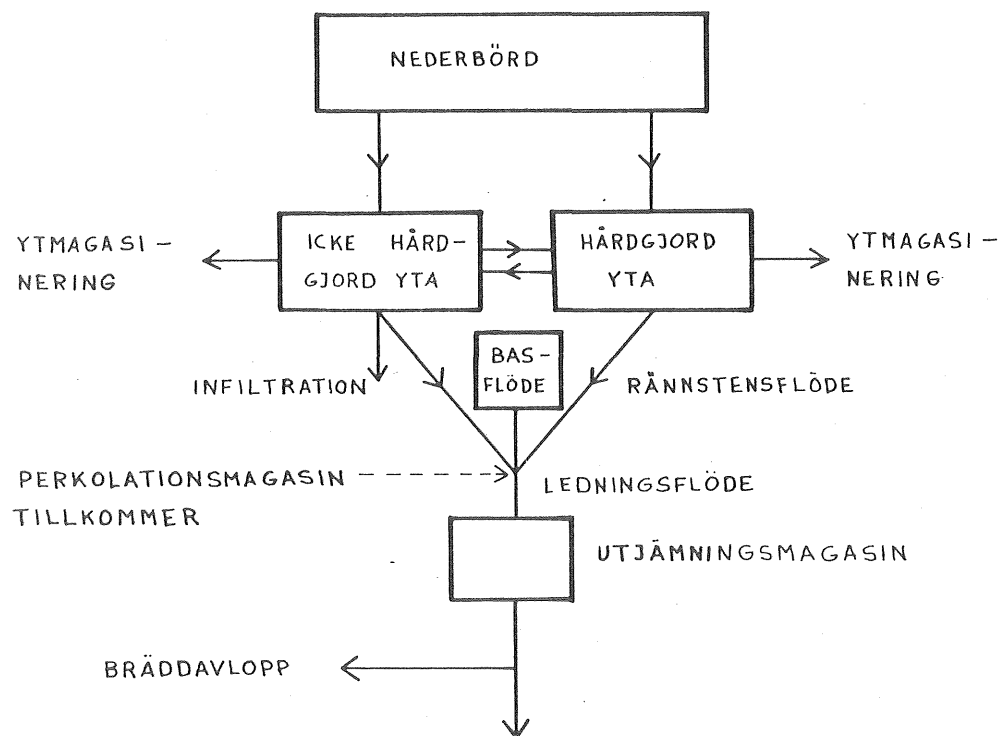
13.1 Vald modell

Utdrag ur manualen för ILLUDAS samt vissa kompletteringar

DATORPROGRAMMETS LOGISKA UPPBYGGNAD

Avrinningsförloppet beskrivs som sammansatt av olika delprocesser - avrinning från hårdgjorda (impermeabla) ytor och icke-hårdgjorda (permeabla) ytor, ledningsflöde, magasinering i utjämningsmagasin samt bräddning, figur 1.

Modellen beaktar enbart den direkta ytavrinningen och bortser helt från grundvattenavrinningen. Om ledningsnätet dränerar bort grundvatten kan detta beskrivas som ett basflöde.



Figur 1. Avrinningsförloppets delprocesser i ILLUDAS.

SIMULERING AV OLIKA DELPROCESSER I AVRINNINGSFÖRLOPPET

Dimensionerande regn

Allmänna synpunkter

Utvecklingen av mer detaljerade beräkningsmetoder för analys och dimensionering av dagvattensystem har medfört att nya typer av nederbördsindata behöver utvecklas. Man kan i princip särskilja två olika typer av indata:

- dimensionerande "typregn" härledda ur intensitets-varaktighetskurvor eller direkt ur regndata
- statistiskt genererade tidsserier av regn eller verkliga uppmätta tidsserier av regn.

Användningen av dimensionerande "typregn" innebär att man antager att beräknade flöden uppträder med samma frekvens som regnen.

Genom att använda sig av verkliga uppmätta regn kan man beräkna avrinningen för en grupp regn och utföra den statistiska analysen på de beräknade flödena. Detta är mer tilltalande ur statistisk synpunkt eftersom det är flödet som är den dimensionerande parametern. Eftersom volym och tidsförlopp varierar mycket mellan olika regn slipper man även att göra de tveksamma förenklingarna och antaganden som ligger inbakade i intensitets-varaktighetskurvorna.

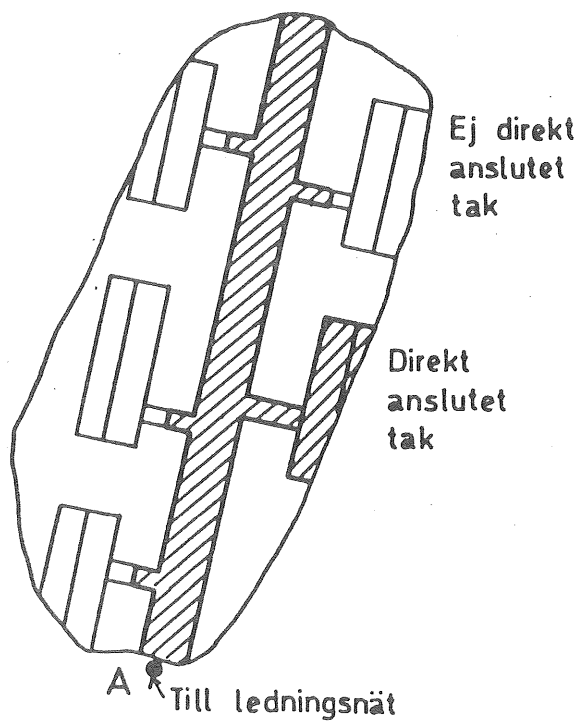
För en närmare diskussion av val av nederbördsindata hänvisas till Arnell (1977).

ILLUDAS tillåter utnyttjandet av regn med godtyckligt tidsförlopp. Dessutom har speciella beräkningsrutiner införts för underlättande av beräkningar med s k "blockregn" och "Sifalda-regn".

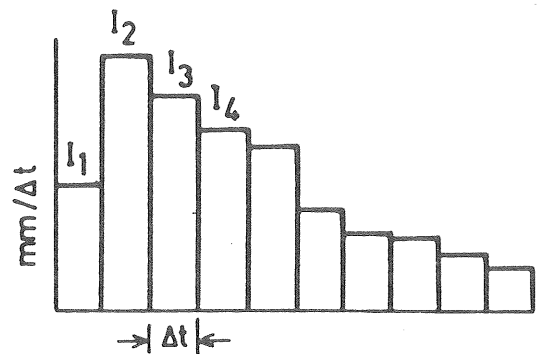
Avrinning från hårdgjord yta

För att kunna beräkna avrinningshydrografen i punkt A måste vi som indata ge regnets fördelning i tiden m h a en serie

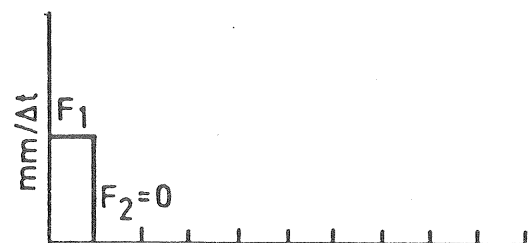
Delområde : Direkt
ansluten hårdgjord
yta är streckad



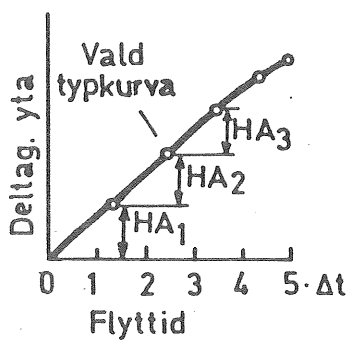
a) Regn (I)



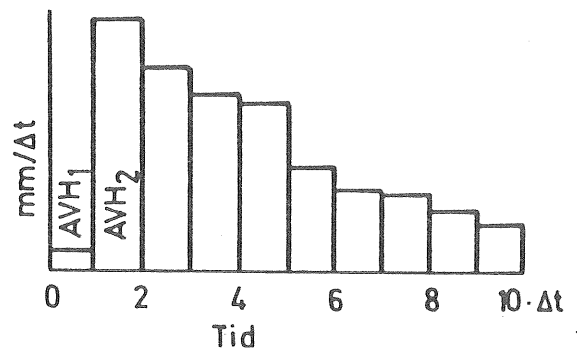
b) Ytmag. förlust (F)



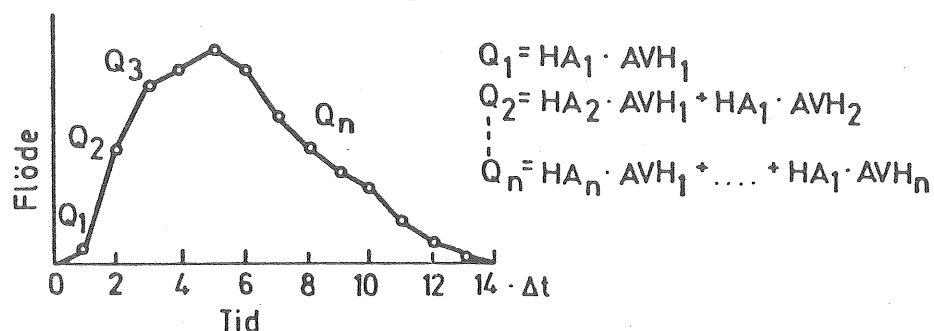
d) Tid-area samband



c) Nettoregn (AVH=I-F)



e) Avrinningshydrograf



Figur 2. Beräkning av avrinning från hårdgjord yta.

intensiteter (I), figur 2a. Intensiteterna utgör medelvärden för ett konstant tidsintervall, Δt , vilket utnyttjas genom hela beräkningen.

En del av regnet går åt för vätning av ytorna och för att fylla upp håligheter. Denna del av regnet, vilken ej kommer att rinna av, betecknas "ytmagasineringsförlust" (F) och behandlas som en initiell regnförlust. I figur 2b har totala ytmagasineringsförlusten (f) förutsatts vara mindre än nederbörden, I_1 , under det första tidsintervallet, varför förlusten inträffar helt under detta intervall. Om F är större än I_1 men mindre än $I_1 + I_2$ erhålls under första tidsintervallet förlusten $F_1 = I_1$ och under andra tidsintervallet förlusten $F_2 = F - I_1$.

För avrinning tillgänglig nederbörd, "nettoregn", (AVH) erhålls genom att tidsteg för tidsteg minska regnintensiteterna I_i med förlusterna F_i , figur 2c.

Den hastighet med vilken avrinningen sker från de deltagande ytorna kan beräknas med hjälp av mer eller mindre sofistikerade metoder. I ILLUDAS utnyttjas ett enkelt tid-area-samband baserat på en av programmet beräknad, alternativt en som indata specificerad flyttid (tillrinningstid, koncentrationstid). Med flyttid avses då den tid det tar för det regn som faller på den tidsmässigt längst bort liggande hårdgjorda punkten att nå punkt A.

Om programmet självt skall beräkna flyttiden sker detta under antagande av att avrinningen sker via en rännsten, figur 3, vars längd och lutning i flytriiktningen ges



Figur 3. Antagen tvärsektion hos rännsten.

som indata. Flythastigheten uppskattas m h a Mannings formel med utgångspunkt från det flöde som erhålls för nederbördstillfälllets medelintensitet på halva aktuella hårdgjorda ytan. Den totala flyttiden erhålles sedan enligt formeln

$$\text{Total flyttid} = \frac{\text{flyttlängd}}{\text{flythastighet}} + 1 \text{ min}; \quad (1)$$

där tidstillägget 1 min är ett schablontillägg representerande flyttiden fram till rännstenen.

Fördelningen av deltagande area på respektive tidssteg under den beräknade eller specificerade flyttiden sker sedan automatiskt i programmet med hjälp av en tid-area-kurva.

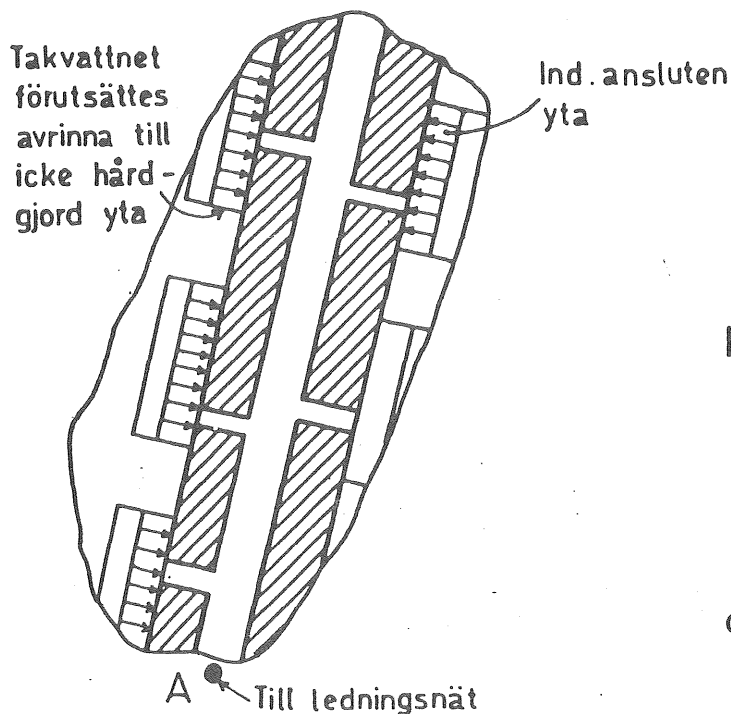
Avrinningshydrografen för delområdets hårdgjorda ytor kan nu beräknas enligt figur 2e. Denna hydrograf kombinerad med motsvarande hydrograf för icke-hårdgjorda ytor (permeabla ytor), utgör det totala tillflödet från delområdet till ledningsnätet i punkt A.

Avrinning från icke-hårdgjord yta

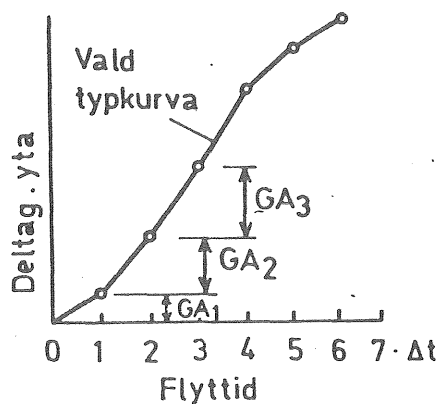
Avrinningen från delområdets deltagande icke-hårdgjorda ytor (gräsytor och andra permeabla ytor som tillåter infiltration av regnvatten) beräknas på motsvarande sätt som för de hårdgjorda ytorna, figur 4. Förutom den direkta nederbörden (I) förutsätts dock dessa ytor kunna tillföras vatten från t ex takytor via stuprörsutkast. Sådana hårdgjorda ytor, vars avrinning (T) tillföres icke-hårdgjorda ytor, benämnes "indirekt anslutna". Denna avrinning antas ske momentant och den fördelas likformigt över den icke-hårdgjorda ytan.

Förlusterna (F) utgörs för de icke-hårdgjorda ytorna av dels ytmagasineringsförluster, dels infiltrationsförluster, vilka behandlas i kapitel "Infiltration". Ytmagasineringsförlusten dras ifrån så snart nederbördsintensiteten överstiger infiltrationshastigheten.

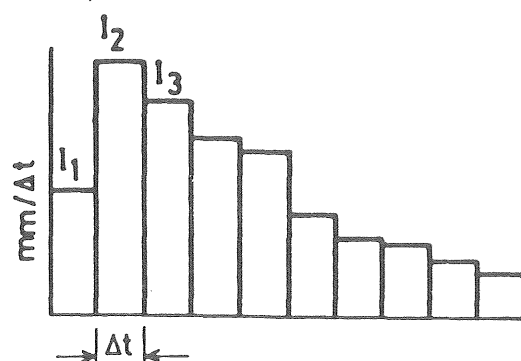
Delområde : Deltagande
icke - hårdgjord yta
är streckad



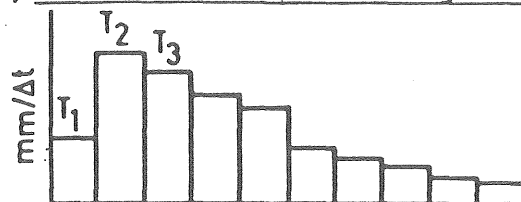
e) Tid - area samband



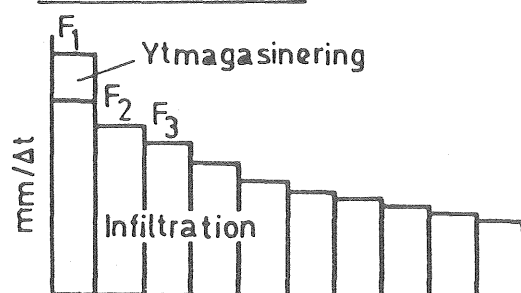
a) Regn (I)



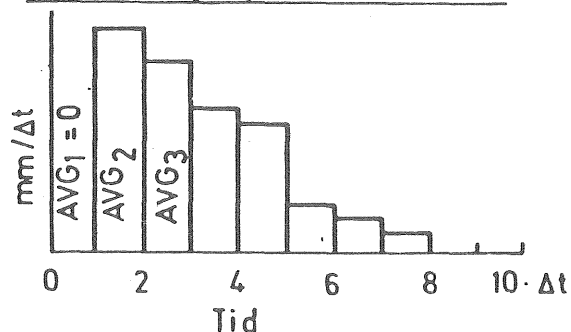
b) Avr. fr. ind. ansluten yta (T)



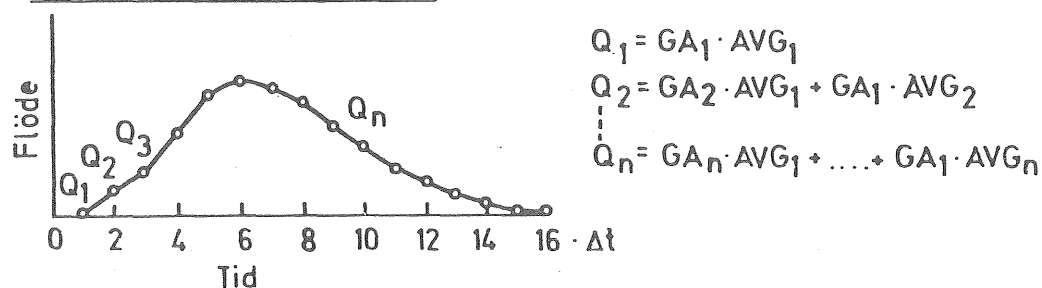
c) Förluster (F)



d) Nettoregn (AVG = I + T - F)



f) Avrinningshydrograf



Figur 4. Beräkning av avrinning från icke-hårdgjord yta och indirekt ansluten hårdgjord yta.

Den för avrinning tillgängliga nederbörden (AVG) erhålles genom att tidsteg för tidsteg minska summan av nederbörd-intensiteterna I_i och tillförseln T_i från indirekt anslutna ytor med förlusterna F_i .

Avrinningshydrografen i punkt A beräknas med hjälp av en tid-area kurva på samma sätt som för en hårdgjord yta. Den totala flyttiden kan antingen beräknas av programmet eller ges direkt som indata.

Om flyttiden beräknas av programmet sker detta enligt sambandet

$$\text{Total flyttid} = \text{flyttid på icke-hårdgjord yta} + \text{total flyttid på hårdgjord yta} \quad (2)$$

Flyttiden på hårdgjord yta är densamma som den som definieras av ekvation (1). Flyttiden på icke-hårdgjord yta beräknas enligt en av Izzard (1946) uppställd formel, se t ex Linsley, Kohler och Paulhus (1975).

Infiltration

I ILLUDAS baseras uppskattningen av infiltrationens storlek och fördelning i tiden på standardkurvor enligt Hortons ekvation, se t ex Chow (1964), Ericsson (1978):

$$f = (f_o - f_c) e^{-kt} + f_c \quad (3)$$

där

- f = infiltrationshastighet i mm/tim
- f_o = initiell infiltrationskapacitet (utan hänsyn till markens fuktighet) i mm/tim
- f_c = slutlig, konstant infiltrationshastighet i mm/tim
- e = naturliga logaritmbasen
- k = formfaktor vald till $k = 2$ (1/tim)
- t = tiden från regnets start i tim.

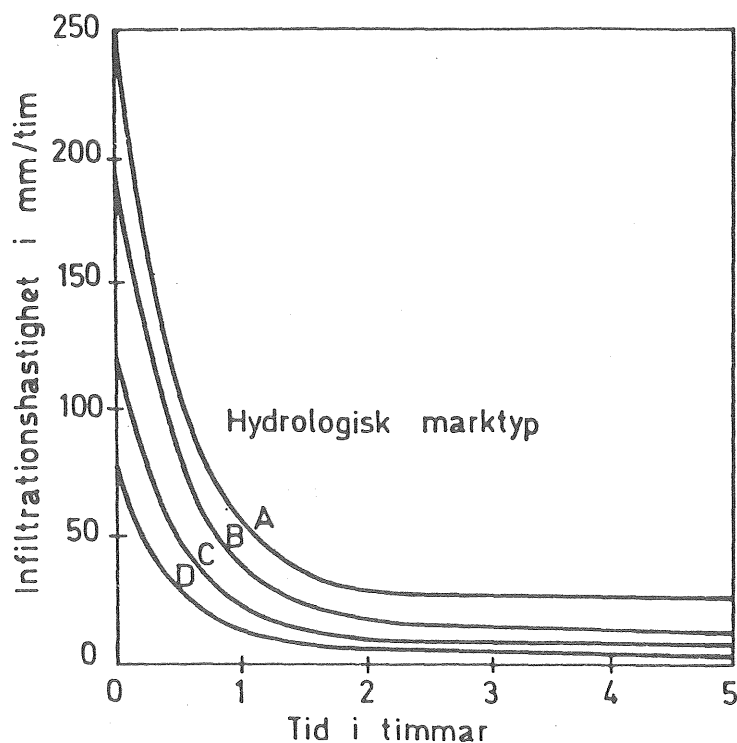
De för den aktuella ytan karakteristiska infiltrationshastigheter f_o och f_c beror av markens hydrologiska egenskaper, vilka i ILLUDAS klassificeras med hjälp av fyra hydrologiska marktyper definierade enligt nedan:

Typ A	Låg avrinningspotential, hög infiltrationshastighet (sand eller grus)
Typ B	Moderat infiltrationshastighet
Typ C	Låg infiltrationshastighet
Typ D	Hög avrinningspotential, låg infiltrationshastighet (lera med hög grundvattennivå och hög svällningspotential)

För varje sådan marktyp har valts de i tabell 1 angivna värdena på f_0 och f_c , vilka ger de i figur 5 redovisade standardinfiltrationskurvorna.

Tabell 1. I ILLUDAS utnyttjade karakteristiska infiltrationshastigheter, f_0 och f_c .

Hydrologisk marktyp	A	B	C	D
Initiell infiltrationskapacitet, f_0 , mm/tim	250	200	125	75
Slutlig, konstant infiltrationskapacitet, f_c , mm/tim	25	13	6	3



Figur 5. Standardkurvor utnyttjade i ILLUDAS för beräkning av infiltration på gräsyta.

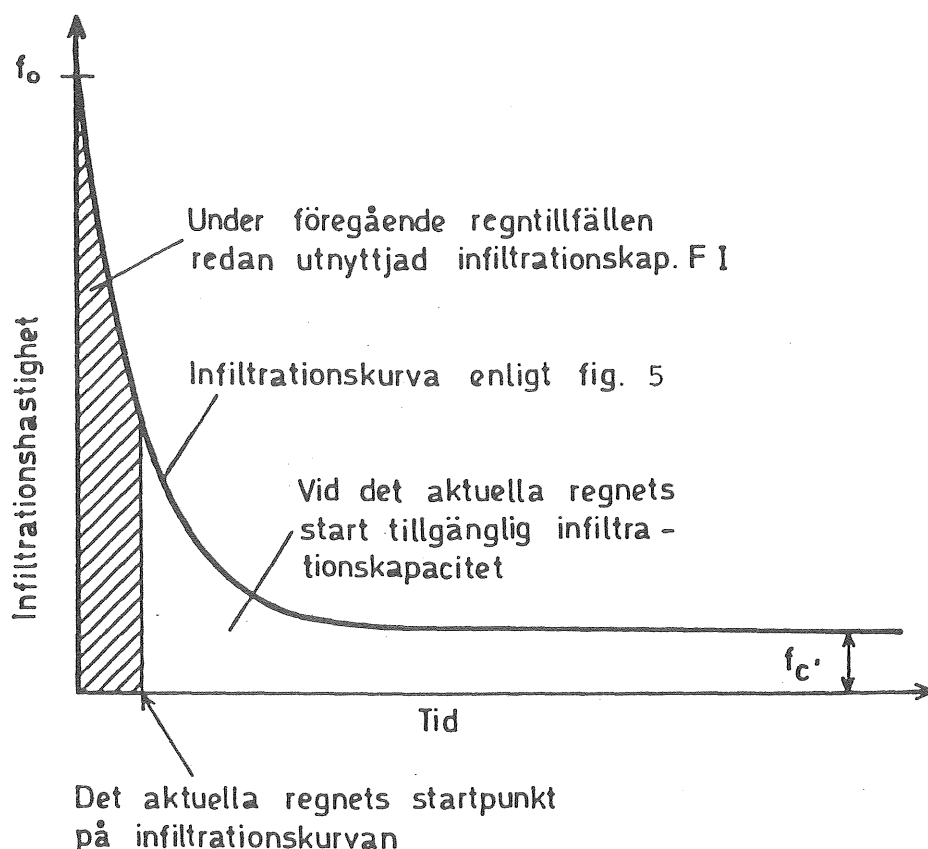
Tabell 2. I ILLUDAS utnyttjade markfuktighetsindex, IMC, och motsvarande vid regnets start redan utnyttjad infiltrationskapacitet, FI.

Hydrologisk marktyp	A	B	C	D
Vid regnets start redan utnyttjad infiltrationskapacitet, FI, i mm				
IMC = 1 (mycket torrt)	0	0	0	0
IMC = 2 (relativt torrt)	50	38	25	18
IMC = 3 (relativt fuktigt)	100	75	50	38
IMC = 4 (mättat)	150	100	75	50

Sambandet (3), Hortons ekvation, tar ej hänsyn till fuktighetsförhållandena i marken, vilket innebär att det endast beskriver infiltrationsförmågan när marken är helt torr. Om marken är fuktig vid regnets start har en del av infiltrationskapaciteten (markens förmåga att ta emot vatten) redan utnyttjats. För att i någon mån kunna beakta detta används i ILLUDAS ett markfuktighetsindex, IMC, definierande en redan utnyttjad infiltrationskapacitet, FI, se tabell 2. Det valda värdet på FI utnyttjas tillsammans med någon av standardkurvorna i figur 5 på det sätt som skisserats i figur 6. Med utgångspunkt från den så funna nya startpunkten på infiltrationskurvan beräknas infiltrationens storlek för varje tidsintervall Δt . Om infiltrationshastigheten under något tidsintervall överstiger regnintensiteten överförs resterande infiltrationskapacitet till nästföljande tidsintervall.

Som framgår av de i figur 5 givna kurvorna är infiltrationskapaciteten oftast mycket stor, varför avrinning från gräsytor beräkningsmässigt erhålles endast vid mycket häftiga regn och/eller om marken är mycket vattenmättad. Detta förhållande överensstämmer med de flesta praktiska erfarenheter. För en utförlig diskussion rörande mätning och beräkning av infiltration hänvisas till Ericsson (1978).

Vid dagvatteninfiltration på grönytor strävar vi att utnyttja infiltrationskapaciteten hos en grönyta maximalt. Be-



Figur 6. Bestämning av tillgänglig infiltrationskapacitet.

räkningarna i denna del av ILLUDAS blir centrala vid optimering av relation hårdgjord yta/grönyta utan ytavrinning.

Framtagande av indata

Tillvägagångssättet vid framtagande av indata för ILLUDAS-körningen kan naturligtvis variera från fall till fall och från person till person. Nedan beskrivs kortfattat en arbetsgång som visat sig rationell vid studier av avloppsnäten i några samhällen i Sverige.

1. Stilisera avloppsnätet i trädform. Indela ledningsnätet i delsträckor med hänsyn till anslutande ledningar, lutningar och eventuellt dimensioner. Ange beteckning på respektive delsträcka.
2. Fastställ avrinningsområde för varje delsträcka. Indela avrinningsområdet i direkt anslutna hårdgjorda ytor, direkt anslutna icke hårdgjorda ytor, indirekt anslutna

hårdgjorda ytor samt icke anslutna ytor. Mät upp respektive ytor, fastställ flyttider på mark alternativ marklutning och flyttlängd.

3. Fastställ längd, lutning, råhet och eventuellt dimension för varje delsträcka.
4. Fastställ data som avser området som helhet: initiella ytmagasineringsförluster, markslag, fukthalt, minimidimension m m.
5. Skriv och stansa indata.

Olika indatas betydelse

Känslighetsanalyser av olika indatas betydelse för slutresultatet (erforderliga ledningsdimensioner och magasinsvolymer) har visat att vissa indata har väsentligt större inverkan än andra, se exempelvis Brodén och Hongisto (1977). Det finns således anledning lägga ned särskilt mycket arbete på att få dessa parametrar korrekta.

- a) Andelen deltagande hårdgjorda ytor är den i särklass betydelsefullaste parameteren. Såväl maxflöde som avrunnen volym är så gott som proportionella mot hårdgjord yta.
- b) Den initiella förlusten är betydelsefull främst för avrunnen volym och i högre grad ju mindre regnvolymen är.
- c) Ledningsråheten påverkar maxflödena. Ju glattare ledningen är, desto högre blir maxflödet. Känsligheten är störst vid glatta ledningar.
- d) Flyttiden på delytorna fram till rännstensbrunn påverkar maxflödena. Ju kortare rinntiden är, desto större blir maxflödet.
- e) Infiltrationskapaciteten, dvs markslag och fukthalt, påverkar både maxflöde och avrunnen volym. Inverkan är emellertid relativt liten vid de markslag respektive regnintensiteter och regnmängder som är vanliga i Sverige.

Val av indatavärden

Dimensionerande regn

Dagvattensystem dimensioneras vanligen utgående från statistiskt härledda så kallade "blockregn". En nackdel med dessa regn är att de ej beskriver "typiska" regntillfällen. Det så kallade Sifalda-regnet beaktar för- och efterregn och beskriver således ett verkligt regn bättre.

Blockregnen är framtagna för att tjäna som indata vid dimensionering enligt rationella metoden. Då nu datormodeller, baserade på en korrektare beskrivning av avrinningsförloppetets olika delprocesser, introducerats för dimensioneringsberäkningar har förutsättningar skapats för en övergång till dimensionerande regn som stämmer bättre överens med de verkliga regnen.

Tidsteg

Tidsteget, Δt , bör väljas så kort som kvaliteten hos tillgängliga regndata tillåter, säg $\Delta t = 1$ à 2 minuter, såvida inte avrinningsområdets storlek eller nederbördstillfälllets tidsmässiga utsträckning motiverar utnyttjandet av ett längre tidsintervall. Maximalt antal beräkningssteg i modellen är 500.

Ytmagasineringsförlust

De förluster som hänförs till ytmagasin utgörs av vätning av ytor samt uppfyllning av ojämnheter i markytan.

Dessa förluster är för hårdgjorda ytor vanligtvis av storleksordningen 0,5-1,0 mm och för icke-hårdgjorda ytor av storleksordningen 1-5 mm.

Här redovisade värden för hårdgjorda ytor avser relativt nya och välsköta ytor medan äldre och nedslitna ytor ofta uppvisar större ytmagasinerings (~ 2 mm).

Flyttider

Flyttiden på hårdgjord respektive icke-hårdgjord yta bestäms av flyttlängd, flöde, råhet och lutning hos markytan. För praktiskt ändamål är det ofta enklast att uppskatta flyttiden utifrån en antagen flythastighet för respektive yta.

För hårdgjorda ytor kan användas 0,15-0,3 m/s vilket motsvarar vattendjupet 1,5-4,5 mm vid lutningen 20% och $M \approx 80$. För icke-hårdgjorda ytor kan användas 0,05-0,12 m/s, vilket motsvarar $M \approx 30$ under samma förutsättningar. För gräsytor bedöms dock M -värdet kunna bli så lågt som $M = 10$ eller lägre, vilket motsvarar flythastigheter i intervallet 0,01-0,04 m/s.

Infiltrationsparametrar

Infiltrationskapaciteten på den aktuella markytan anges såsom en av fyra marktyper enligt nedan:

- | | |
|-------|--|
| Typ A | Låg avrinningspotential; hög infiltrationshastighet (sand och grus) |
| Typ B | Moderat infiltrationshastighet |
| Typ C | Låg infiltrationshastighet |
| Typ D | Hög avrinningspotential; mycket låg infiltrationshastighet (lera med hög grundvattennivå och hög svällningspotential). |

För specificering av markens fuktighet vid beräkningsregnets början anges fuktindex, IMC, enligt följande:

- | | |
|---------|------------------|
| IMC = 1 | Mycket torrt |
| IMC = 2 | Relativt torrt |
| IMC = 3 | Relativt fuktigt |
| IMC = 4 | Mättat |

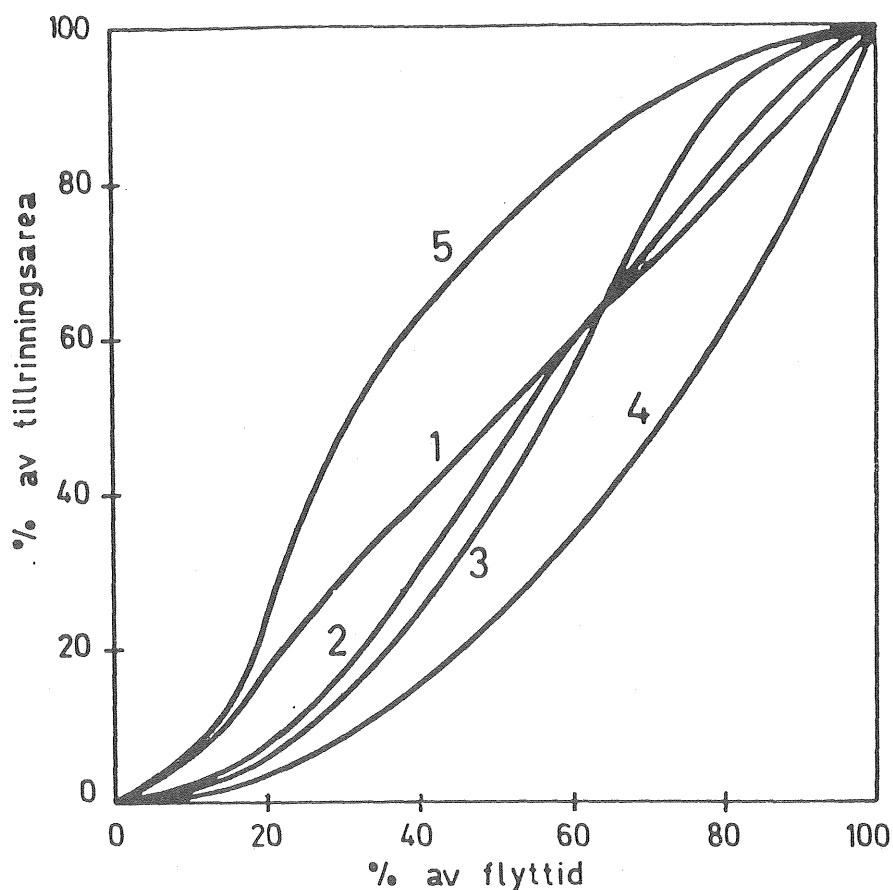
För att underlätta val av fuktindex anges av Terstriep och Stall (1974) riktvärden på nederbördsmängden under de närmast föregående 5 dygnet enligt följande:

Fuktindex	Nederbörds mängd, mm
IMC = 1	0
IMC = 2	0 - 12
IMC = 3	12 - 25
IMC = 4	mer än 25

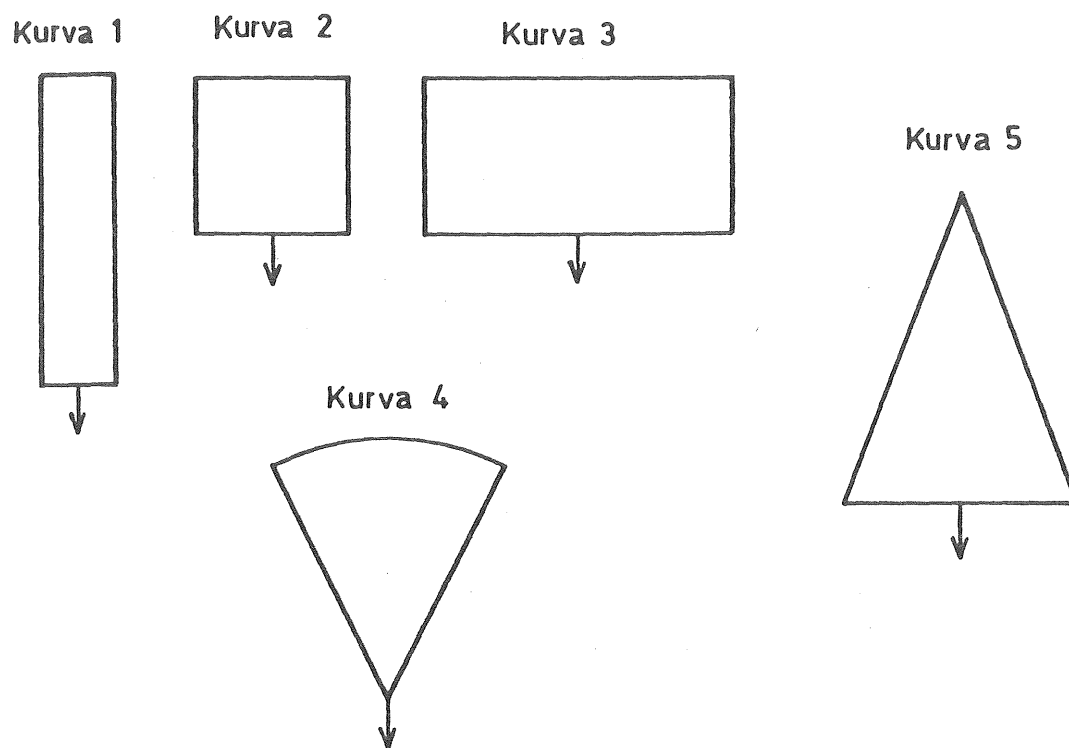
Tid-areasamband

Avrinningsförloppet från varje delområdes hårdgjorda respektive icke-hårdgjorda ytor anges genom att det av tid-areasambandet i figur 7 väljes som bäst bedömes motsvara det aktuella områdets form och egenskaper.

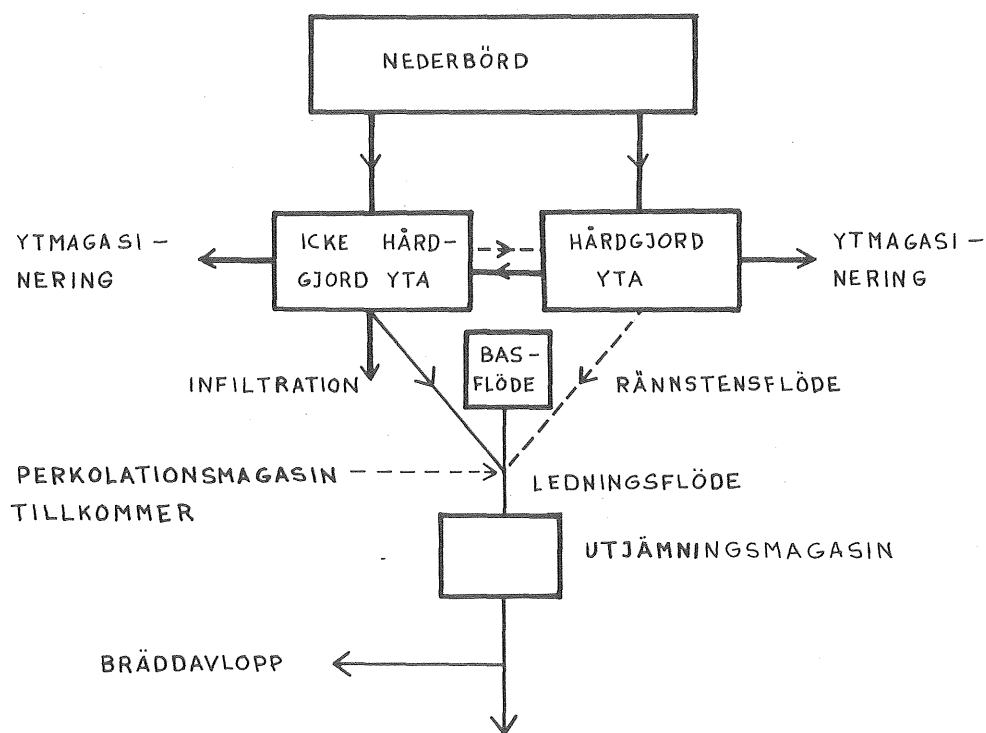
Förutom av delområdets form påverkas avrinningsförloppet av bland annat variationer i lutning, råhet och avrinningsriktningar inom området. Om man bortser från dessa faktorer och dessutom antar att flythastigheten är konstant över delområdet är det möjligt att konstruera formen på de ytor som motsvarar respektive tid-areasamband, se figur 8.



Figur 7. Tid-areasamband införda i ILLUDAS.



Figur 8. Typptor svarande mot i figur 7 angivna tid-areasamband.



- HUVUDSAKLIGT FLÖDE
- FLÖDE VID ENSTAKA TILFÄLLEN (BEROR PÅ DIMENSIONERINGSKRITERIER)
- ANVÄNDS EJ VID DAGVATTEN-INFILTRATION PÅ GRÖNYTOR

Figur 9. Avrinningsförloppet i ILLUDAS vid dagvatteninfiltration på grönytor.

Appendix A: PROGRAMSKRIVNING

Beteckning: ILLUDAS

Programmeringsspråk: Samtliga programdelar som ingår i programmet är skrivna i FORTRAN IV.

Utrymmesbehov: Programmet är i aktuell utformning avsett att helt rymmas inom kärnminnet. Erforderligt utrymme är för objektform ca 88 k och för lagring av datafält ca 44 k med dator av typ IBM 360/65.

Sammanfattning av programinnehåll som är av speciellt intresse för dagvatteninfiltration på grönytor.

MAIN	Huvudprogram. Administrerar hela programgenomloppet genom inkallande av underrutiner. Läser in alla erforderliga data, genomför vissa beräkningar och ger utskrifter.
BLRAIN	Subrutin. Beräknar regnmängd per tidsteg för givet blockregn.
CAPA	Subrutin. Beräknar kapaciteten för given lednings- eller kanalsektion.
GRENT	Subrutin. Beräknar flyttid på icke-hårdgjord yta m h a Izzards formel.
ROUTCL	Subrutin. Genomför beräkning av flödesförloppet i sluten ledningssektion eller kanalsektion. Om medeltillflödet under ett tidsteg överskrider ledningens eller kanalsektionens kapacitet magasineras överskottet. Storleken av erforderligt magasin beräknas.
SUPPLY	Subrutin. Beräknar nettoregn på icke-hårdgjord yta utifrån givna infiltrations- och fuktighetsförhållanden.
TRAPA	Subrutin. Beräknar samband magasin-utflöde för kanal med trapetsformad sektion.

13.2 Växter på grönytor för lokalt omhändertagande
av dagvatten.

Litteraturstudie utförd av Lars-Åke Andersson och Magnus
Svenningsson vid Botaniska institutionen, Göteborgs Uni-
versitet.

Göteborg maj 1979

Målet med denna litteraturundersökning är att ge förslag på växter lämpade att plantera på de speciella grönytor man planerar att anlägga för att lokalt omhänderta dagvatten. Från omgivande hustak, parkeringsplaster och andra hårdgjorda ytor leds vatten ut på dessa speciella ytor. På så sätt kommer dessa grönytor att få ta hand om minst den dubbla, ofta den tre- eller fyrdubbla mängden vatten vid nederbördstillfällena jämfört med en "vanlig" grönyta. Tanken är att växterna på dessa ytor ska ta upp vatten som infiltrerats i marken och avge det i transpirationen som vattenånga till atmosfären. Dessutom minskas mängden nederbörd som når markytan genom interception i växttäcket. Genom anläggandet av dessa specialytor hoppas man kunna minska ned behovet av kostsamma artificiella vattenavledare.

Den enklaste formen av specialyta skulle kunna utgöras av en gräsmatta anlagd på ett grundmaterial med hög infiltrationskapacitet. Vid nederbörd kommer förmodligen ytan att dränkas tillfälligt för att förhoppningsvis någon eller några timmar senare vara tillräckligt torr för att kunna användas för t ex fritidsaktivitet. Denna gräsmatta kan kompletteras med träd och buskar för att öka vattenomsättningen. Vissa växter med särskilt stor vattenomsättning kan dock lätt bli skadade av mänsklig aktivitet eller vara giftiga och bör därför skyddas med en zon av svärgenomträngliga buskar. På industriområden där andelen hårdgjord yta är stor kan avsevärda mängder vatten behöva omhändertas. Detta kan t ex ske i form av en damm med vattenväxter. Av säkerhetsskäl bör dammen förmodligen inhägnas. De aktuella växterna ska följaktligen uppfylla vissa speciella krav. Som en följd av den ökade vattenmängden lär det sällan eller aldrig uppstå några problem med uttorkning under torrare delar av året. Problemet blir istället att finna växter som tål och trivs i en fuktig miljö. Dessa arter bör ha en stor vattenomsättning. Detta innebär dels en hög transpirationsförmåga men även

en god vattenupptagningsförmåga. För att få största möjliga vattenupptagning bör arterna som kommer i fråga ha ett rotsystem som genomkorsar en stor del av rotvolymen. Detta kan lösas genom att planera antingen en art med vitt utbrett rotsystem eller två eller flera arter med kompletterande rotsystem. Förutom stor vattenmängd kan även mängden föroreningar som tillförs bli relativt stor, t ex koppar och zink, i jonform samt suspenderat material, olja och annat från gator och parkeringsplatser.

Idén bör helst vara tillämpbar i så stor del av Sverige som möjligt. Alltså måste man också ta hänsyn till vårt lands mycket varierande klimat. Detta kan göras genom att utnyttja de på platsen befintliga naturligt förekommande växterna. Ytterligare fördelar är att t ex träd och buskar har så stor biomassa att de tänkta egenskaperna dvs stor vattenomsättning redan är utvecklad. Detta i jämförelse med nyplantering av yngre icke-naturligt förekommande arter, som finns kommersiellt. Dessutom är naturliga grönytor ofta mer underhållsfria än planteringar.

Med utgångspunkt från kriterierna i inledningen inriktades undersökningen på följande punkter:

- A. Att växterna överlever och växer i den aktuella miljön är naturligtvis det primära kravet. Litteraturundersökningen koncentrerades därför i första hand på att finna arter som klarar sig bra i en fuktig miljö. Om hela idén ska vara praktiskt genomförbar ska arterna också antingen vara kommersiellt tillgängliga i svenska handelsträdgårdar eller finnas naturligt i regionen.
- B. Att på något sätt ange hur hårdiga de under A utvalda arterna är.
- C. Att försöka ange värden på transpirationen för dessa arter.
- D. Att försöka beskriva de aktuella arternas rotsystem.
- E. Att få fram uppgifter beträffande påverkan av föroreningar.

A. "FUKTIG MILJÖ"

Vid litteraturstudier visade det sig att konkreta uppgifter på hur mycket vatten en växt tål och klarar av att växa i är fåtaliga. Däremot finns listor i hortikulturell litteratur över växtarter som erfarenhetsmässigt visat sig trivas i en relativt fuktig miljö. Liknande listor återfinns också i s k växtguider från större inhemska och utländska plantskolor. Förteckningarna stämmer förhållandevis väl överens med varandra. Referenser till mer vetenskaplig litteratur saknas i så gott som samtliga fall.

B. HÄRDIGHET

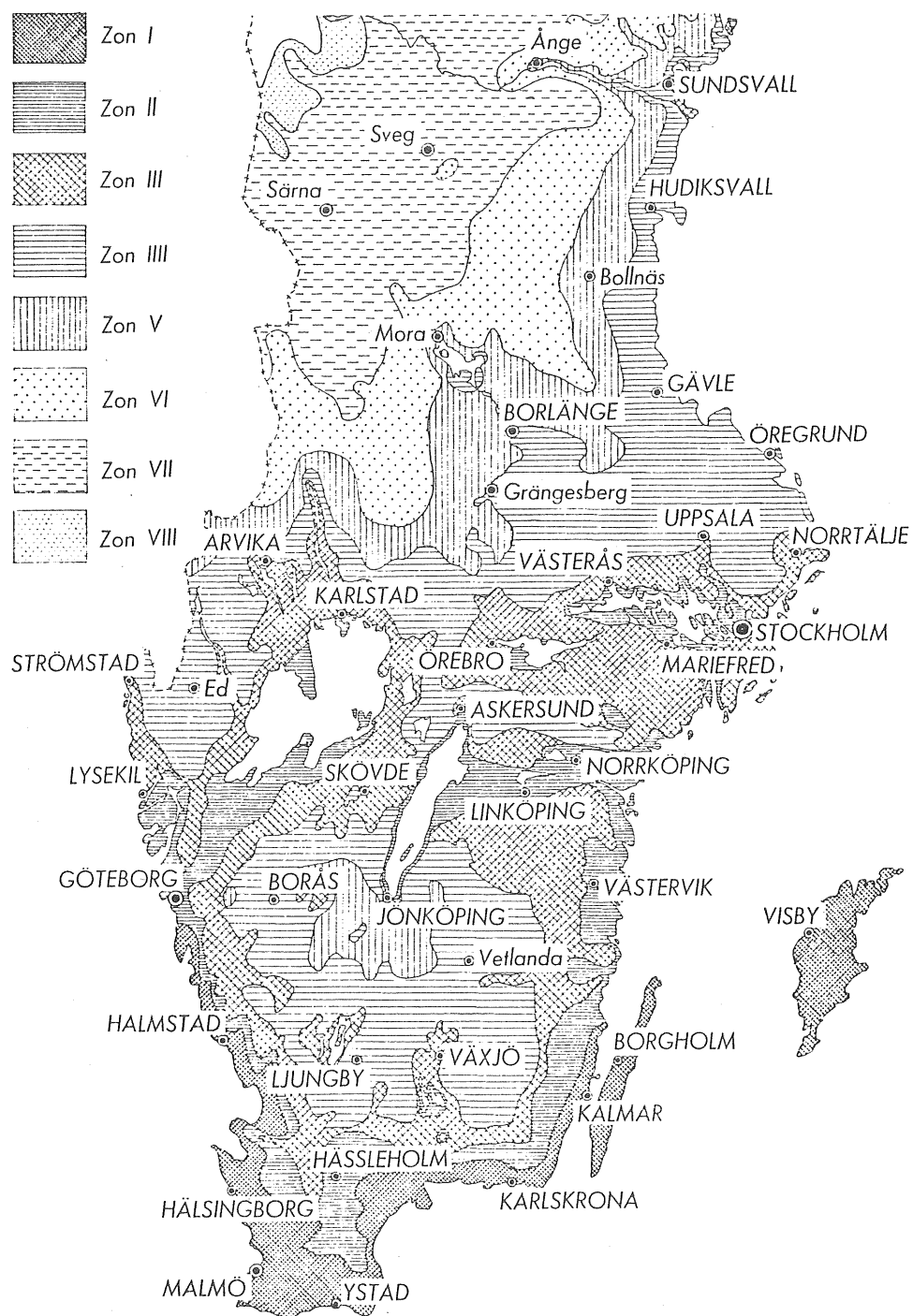
Klimatet spelar givetvis en avgörande roll huruvida en viss växt ska klara sig eller inte. I Sverige förekommer två huvudtyper av klimat. Dels ett maritimt klimat längs södra Sveriges kuster och dels ett mera kontinentalt på småländska höglandet, i inre delarna av Svealand och i Norrland. Vegetationsperioden varierar från ca 200 dagar i Skåne till ca 100 dagar i Norrlands inland. Skillnaden i snötäckets varighet mellan norra och södra Sverige kan vara upp mot 200 dagar.

Till detta kommer stora lokala variationer i klimatet. Närvaro av sjöar, vattendrag etc. verkar t ex temperaturutjämnande. Ytterligare en faktor som påverkar klimatet är höjden över havet. Man räknar med att vegetationsperioden avtar med 5-6 dagar för var hundra meters höjdskillnad.

För att ange träd och buskars härdighet används i Sverige Sveriges Pomologiska Förenings (SPF) växtatlas. I denna skrift är Sverige uppdelat i åtta växtzoner, I-VIII, där Zon I är den mest gynnsamma och zon VIII den minst gynnsamma. Göteborgsområdet tillhör zon II. Zonindelningen grundar sig dels på meteorologisk statistik och dels på erfarenhetsmässigt växtodlingskunnande.

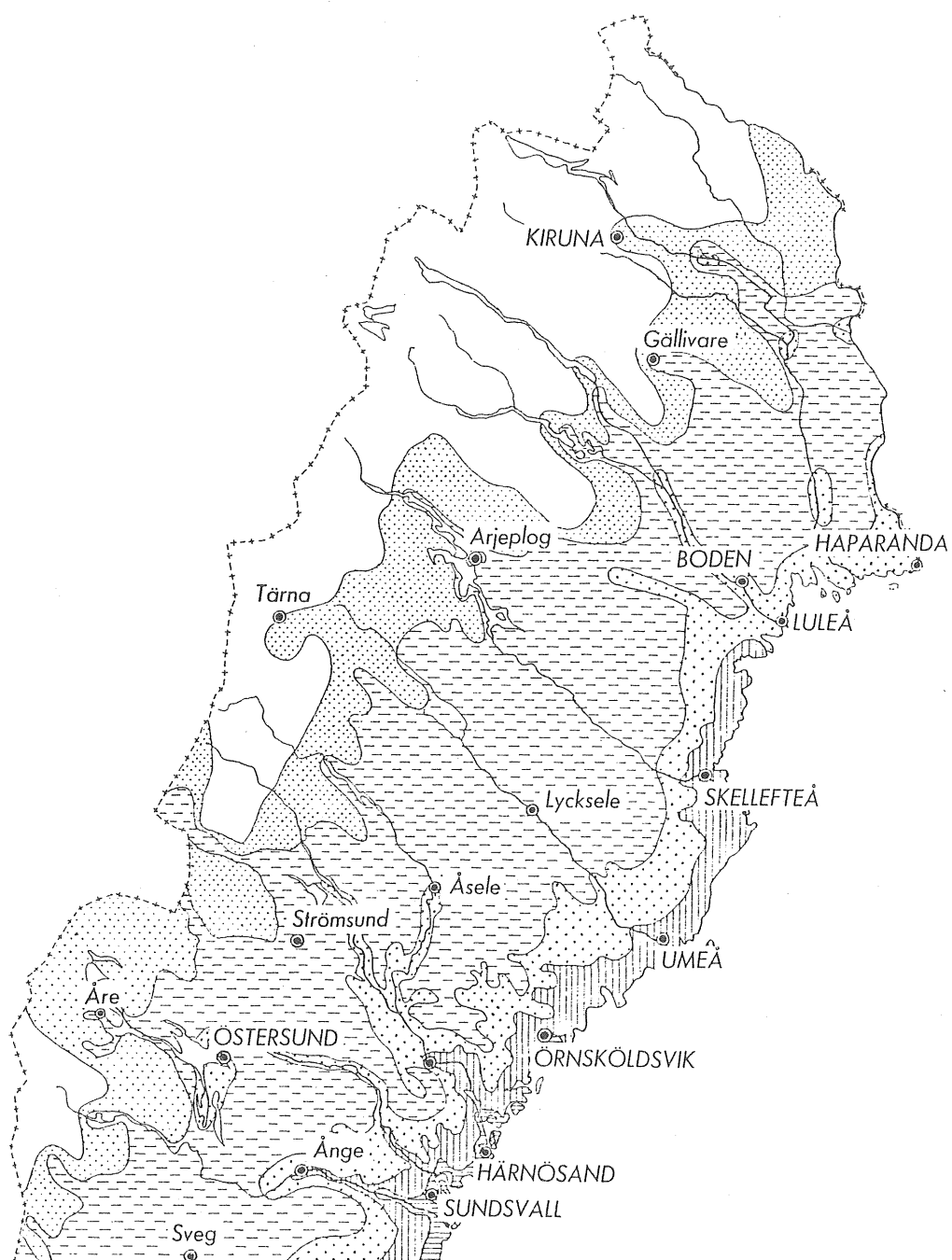
Sveriges Pomologiska Förenings zonkarta.

Södra och mellersta Sverige.



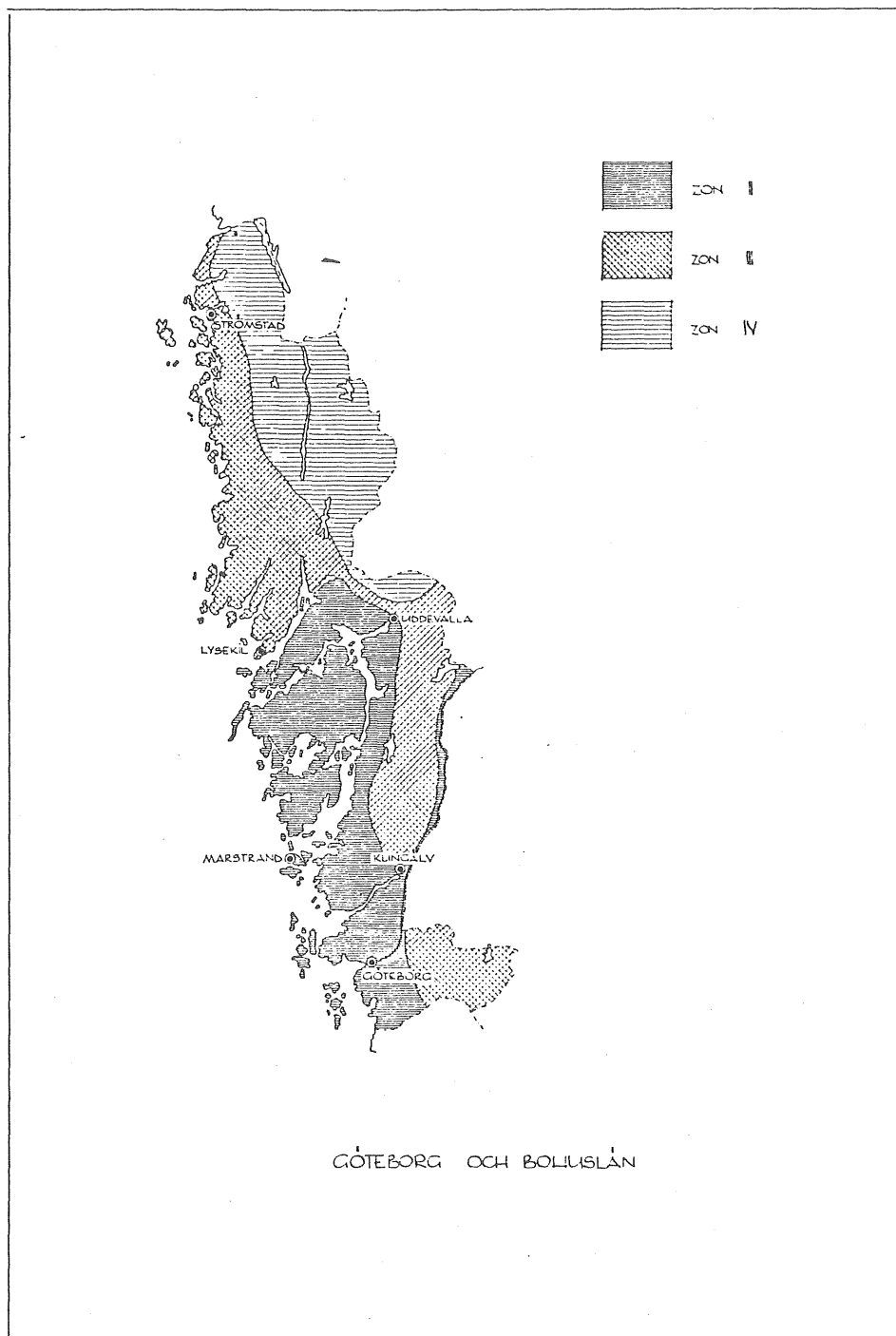
Sveriges Pomologiska Förenings zonkarta.

Norra Sverige.



Sveriges Pomologiska Förenings zonkarta.

Göteborg och Bohus län.



Följande tabeller är sammanställda av ett flertal listor från punkt A.
 I tabellerna anges dessutom i vilka växtzoner som resp. art är härdig enligt SPF:s växtatlas. En viss gallring av mindre härdiga och kommersiellt svårtillgängliga arter har skett.

Träd

<i>Acer campestre</i> Naverlönn	I-IV(V)
<i>negundo</i> Asklönn	I-IV(V)
<i>platanoides</i> Skogslönn	I-V(VI)
<i>pseudoplatanus</i> Sykomorlönn	I-IV(V)
<i>Aesculus hippocastanum</i> Hästkastanj	I-IV(V)
<i>Alnus glutinosa</i> Klibbal	I-VI
<i>incana</i> Gråal	I-VII(VIII)
<i>Betula verrucosa</i> Masurbjörk	I-VIII
<i>pubescens</i> Glasbjörk	I-VII
<i>Carpinus betulus</i> Avenbok	I-IV(V)
<i>Corylus avellana</i> Hassel	I-V
<i>Euonymus europaea</i> Benved	I-V(VI)
<i>Fagus silvatica</i> Bok	I-IV(V)
<i>Fraxinus excelsior</i> Ask	I-V
<i>Picea abies</i> Gran	I-VII(VIII)
<i>Pinus strobus</i> Weymouthstall	I-VI
<i>Populus nigra italica</i> Pyramidpoppel	I-IV
<i>tremula</i> Asp	I-VI
<i>Prunus avium</i> Fågelbär	
<i>padus</i> Hägg	I-VII
<i>serotina</i> Glanshägg	I-IV(V)
<i>virginiana</i> Virginiahägg	I-VI
<i>Quercus rubra</i> Rödek	I-V
<i>robur</i> Ek	I-V(VI)
<i>Sorbus aucuparia</i> Rönn	I-VIII
<i>Taxus baccata</i> Idegran	I-IV
<i>Thuja occidentalis</i> Tuja	I-IV
<i>Tilia cordata</i> Skogslind	I-V
<i>platyphylla</i> Bohuslind	I-V
<i>Tsuga canadensis</i> Hemlock	I-IV
<i>Ulmus carpinifolia</i> Alm	I-IV
<i>glabra</i> Skogsalm	I-V

Buskar

<i>Amelanchier canadensis</i> Häggmispel	I-VI
<i>Cornus alba</i> Konvaljbuske	I-VI
<i>sanguinea</i> Skogskornell	I-VI(VII)
<i>stolonifera</i> Gullkornell	I-VI
<i>Crataegus oxyacantha</i> Rundhagtorn	I-IV
<i>Elaeagnus commutata</i> Silverbuske	I-VII
<i>Erica Klockljang</i>	I-V
<i>Hippophae rhamnoides</i> Havtorn	I-VI
<i>Hydrangea paniculata grandiflora</i> Syrenhortensia	I-VI
<i>Lonicera xylosteum</i> Skogstry	I-VII
<i>Rhamnus frangula</i> Brakved	I-VI
<i>Ribes alpina</i> Måbär	I-VIII
<i>nigrum</i> Svarta vinbär	I-VI
<i>Rosa rugosa</i> Vresros	
<i>Rubus odoratus</i> Rosenhallon	I-V
<i>Salix</i> Vide, Pil	
<i>Sambucus nigra</i> Fläder	I-V(VI)
<i>racemosa</i> Druvfläder	I-VI
<i>Sorbaria sorbifolia</i> Rönnspirea	I-VII
<i>Spiraea billiardii</i> Spirea	I-VII
<i>vanhouttei</i> Bukettspirea	I-V(VI)
<i>Symphoricarpos rivularis</i> Snöbär	I-VI
<i>Viburnum lantana</i> Parkolvon	I-VII
<i>opulus roseum</i> Snöbollsbuske	I-V

Gräs och örter.

Agrostis stolonifera Krypven

Alisma plantago-aquatica Svalting

Aruncus silvestris Plymspirea

Butomus umbellatus Blomvass

Filipendula rubra venusta Am.älgört

ulmaria Älgört

Hemerocallis Daglilja

Iris

Phragmites communis Vass

Poa pratensis Ängsgröe

trivialis Kärrgröe

Typha angustifolia Smal-kaveldun

latifolia Bred-kaveldun

C. TRANSPIRATION

I litteraturen finns det åtskilliga uppgifter om transpirationen för gräs och örter. Likaså finns det gott om mätningar utförda på olika trädarter. Värden för buskar, och då speciellt prydnadsbuskar, är däremot mycket få.

Vid en jämförande utvärdering av transpirationsvärden uppstår en del svårigheter. Transpiration är beroende av många yttre faktorer, t ex temperatur, vindhastighet, luftfuktighet och vattentillgång. Då klimat- och markfysikaliska data sällan anges kan tolkningen av en del kraftigt varierande värden vara svår. I äldre mätningar beskrivs ofta de yttre omständigheterna med att vädret var "soligt och torrt" eller något liknande opreciserat. Senare mätningar är dock oftast utförda under mer väldefinierade förhållanden. Vidare är sorten för transpirationshastigheten mycket varierande. Några relaterar värdena till bladens torrsvikt, andra till bladens frisksvikt, ytterligare några till bladyta, markyta osv. Det lämpligaste sättet för det här ändamålet torde vara avgiven mängd vatten i mm på samma sätt som man anger nederbördens storlek, något som ej alltid kan uppfyllas.

	<u>A</u> *	<u>B</u> *	<u>C</u> *	<u>D</u> *	<u>E</u> *	<u>Träd</u>	<u>Transpiration.</u>
Acer negundo Asklönn	0,6						
Alnus glutinosa Klibbal		8					
Betula verrucosa Masurbjörk	2,3		{9,5		349		
sp. Björk		14,3	{8,1	4,7			
Corylus avellana Hassel			4,2		414		
Fagus silvatica Bok	1,37		{4,8	3,8	227-254		
sp. Bok		7,2	{2,5				
Fraxinus excelsior Ask	2,58	3,1					
Larix decidua Lärk			3,2		286-396		
sp. Lärk			3,2	4,7			
Picea abies Gran			1,42		250		
sp. Gran			1,4	4,3			
Pinus silvestris Tall			{1,9		320		
strobis Weymouthtall			{2,0		309		
Populus canadensis Kanadapoppel	3,3						
Pyrus malus Apel	1,72						
Quercus robur Ek		8,88	6,02		360		
rubra Rödek	0,8		7,6				

- *
A: gram avgivet vatten per dm² bladyta och timma
B: mg avgivet vatten per gram friskvikt blad och minut
C: gram avgivet vatten per gram friskvikt blad och dag
D: mm per dag
E: mm per år

Transpiration.Örter och gräs

	<u>A</u> [*]	<u>B</u> [*]
<i>Alisma plantago-aquatica</i> Svalting	2,7	
<i>Iris pseudacorus</i> Gul svärdsllilja		15
<i>Lolium multiflorum</i> Italienskt rajgräs		4,4
<i>Lolium perenne</i> Engelskt rajgräs		3,5
<i>Medicago sativa</i> Blålucern		5,3
<i>Pisum sativum</i> Ärt		4,0
<i>Potamogeton natans</i> Gäddnate	6,48	
<i>Taraxacum officinale</i> Maskros	1,55	
<i>Trifolium repens</i> Rödklöver	1,4	4,8
<i>Viola tricolor</i> Styvmorsviol	1,50	

* A: gram avgivet vatten per dm^2 bladyta och timma

B: gram avgivet vatten per gram friskvikt blad och dag

Transpiration hela beståndTräd

mm/år

Betula verrucosa Masurbjörk	349
Corylus avellana Hassel	414
Fagus silvatica Bok	227-254
Larix decidua Lärk	286-396
Picea abies Gran	250
Pinus silvestris Tall	309
Quercus robur Ek	360

Buskar

Hippophae rhamnoides Havtorn	133
------------------------------	-----

Gräs och örter

Phragmites communis Vass	940-1100
--------------------------	----------

Växtsamhället

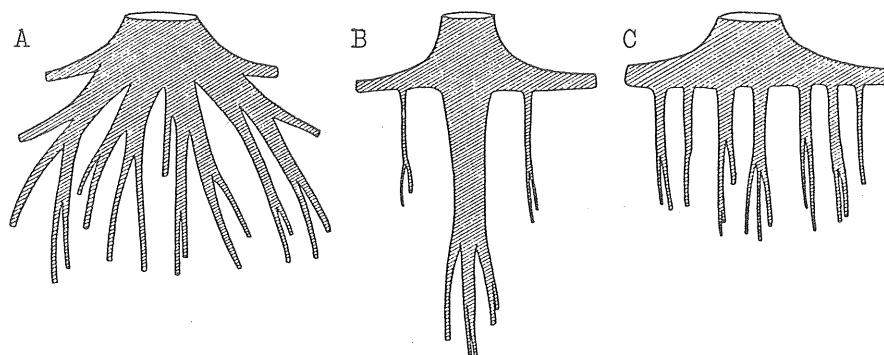
Mesofytisk äng med Alopecurus pratensis	800
Glyceria aquatica äng ¹	1588
Glyceria maxima äng	625
Phragmites communis association ²	1305
Våtäng ³	1165
Kortklippt gräsmatta	470
Ingående arter: 1 Glyceria aquatica Sparganium aquatica Nasturtium amphibium Alisma plantago Typha latifolia Polygonum natans m.fl. mindre frekventa	2 Phragmites communis + ett femtontal mindre frekventa 3 Chaerophyllum hirsutum-cicutaria Poa trivialis Petasites hybridus Caltha palustris m.fl. mindre frekventa

D. ROTUTBREDNING

När det gäller rotutbredning är gräs, örter och träd ganska väl beskrivna. Prydnadsbuskar är däremot dåligt undersökta.

Rotutbredning är svår att ange siffermässigt. I litteraturen anges ofta hur djupt och brett rötterna sträcker sig i centimeter och meter. Problemet blir då att man anger den längsta rotens längd, något som inte ger någon större uppfattning om hur rotsystemet ser ut.

Ett mer beskrivande sätt som används för träd är att ange den morfologiska grundtypen. Roten kan då vara av pålrots-, hjärtrots- eller sänkrotstyp. Pålroten består av en kraftig vertikal rot med mindre sidorötter. Sänkroten utgörs av en kraftig horisontell rot med sidorötter som "sänker" sig ned mot djupare delar. Hjärtroten intar en mellanställning. De tre olika typerna utgör idealfall. De flesta trädarterna intar mellanställningar. Rotsystemen varierar dessutom kraftigt med trädets ålder, jordens beskaffenhet och vattentillgång. Ytterligare ett problem med detta sätt att beskriva rötter är avsaknaden av siffervärden. För att få en så komplett förteckning som möjligt har här tagits med alla typer av beskrivningar som hittats.



Rotsystemens grundtyper: A Hjärtrotsystem

B Pålrotsystem

C Sänkrotsystem

Rotsystem

Träd

Acer campestre Naverlönn: Ganska intensivt förgrenat, oregelbundet rotsystem, låg rotenergi leder till förfleckning vid relativt lågt jordmotstånd, mindre rotvolym än ek, ask och barrträd.

Acer platanoides Skogslönn: se *A. campestre*.

Acer pseudoplatanus Sykomorlönn: se *A. campestre*.

Aesculus hippocastanum Hästkastanj: Flackt rotsystem, binder jorden bra.

Alnus glutinosa Klibbal: Mycket djupgående, stark vertikal tendens, saknar kraftiga rötter, endast finare sidorötter.

Alnus incana Gråal: Flackare än *A. glutinosa*, mycket anpassningsbart.

Betula verrucosa Masurbjörk: Relativt flackt, starkt förgrenat.

Carpinus betulus Avenbok: Strålformat, regelbundet, ganska tätt förgrenat.

Castanea sativa Äkta kastanj: Som ung kraftig pålrot, utbildar senare kraftiga sidorötter.

Corylus avellana Hassel: Vitt utbrett rotsystem.

Euonymus europaea Benved: Tunna rötter som bildar ett tätt rotsystem.

Fagus silvatica Bok: Intensiv rotbildare, relativt flackt, reagerar kraftigt på förändringar i jorden.

Fraxinus excelsior Ask: Kraftiga ytliga sidorötter från vilka grövre vertikala rötter utgår.

Juglans regia Valnöt: Lång, grov, men vek pålrot, senare gott om sidorötter.

Larix decidua Lärk: Hög rotintensitet, rötterna jämnt fördelade horisontellt-vertikalt, kräver god genomluftning av jorden.

Malus silvestris Apel: Flackt rotsystem.

Picea abies Gran: Flackt rotsystem, från ytliga grova rötter utgår det finare vertikalarötter, huvuddelen av rotmassan mycket ytligt.

Pinus silvestris Tall: Mycket anpassningsbart rotsystem, kraftig pålrot, förflackas vid grundvattenpåverkan.

Populus tremula Asp: Stark vertikaltendens, höjd grundvattenyta ger förflackning.

Prunus avium Fågelbär: Kraftigt och vitt utbrett rotsystem.

Prunus padus Hägg: Horisontellt utbrett rotsystem.

Quercus robur Ek: Hårda styva rötter med stor genomträngningsförmåga, yngre exemplar har en kraftig pålrot, ju äldre plantan blir ju mer tar sidorötterna över, kan utnyttja mycket djupt liggande vatten.

Sorbus aucuparia Rönn: Rotsystemet går djupt och är vitt utbrett, mycket anpassningsbart.

Taxus baccata Idegran: Mycket djupgående rotsystem.

Tilia cordata Skogslind: Utbildar tidigt en pålrot som emellertid tillbakabildas efter hand, intensivt med en stor andel finare rötter, dålig mekanisk motståndskraft.

Tilia platyphyllos Bohuslind: se *T. cordata*.

Ulmus glabra Alm: Från början pålrot som senare övergår
till ett mer hjärtrotsliknande rotsystem, mycket
vitt utbrett.

Buskar

Calluna vulgaris Ljung: Kraftigt rotsystem, bildar tjock rotfilt, de flesta (enl. fig ca 90%) i de övre 20 centimetrarna.

Cornus mas Körsbärskornell: Tjockt, trådigt rotsystem.

Crataegus monogyna Trubbhagtorn: Mycket djupgående.

Elaeagnus angustifolia Smalbladig silverbuske: Vitt utbrett.

Hippophæ rhamnoides Havtorn: Vitt utbrett rotsystem.

Lonicera xylosteum Skogstry: Flackt rotsystem.

Prunus spinosa Slån: Flackt rotsystem med god förmåga att binda jorden.

Salix alba Silverpil: Tätt, fint rotsystem.

Salix caprea Sälga: Vitt utbrett rotsystem.

Salix fragilis Knäckepil: Intensivt rotsystem.

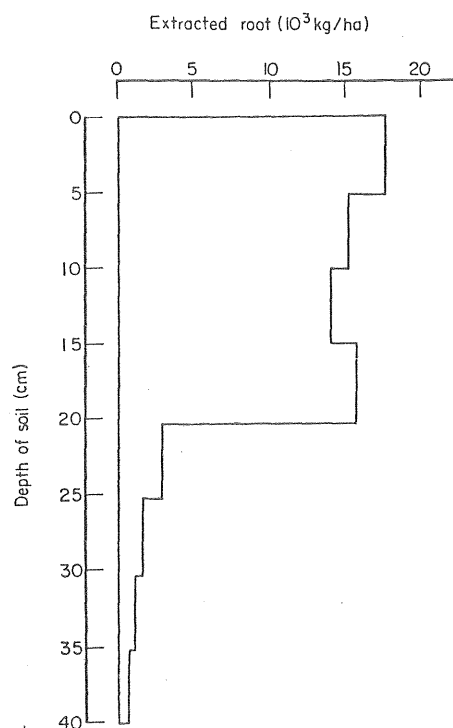
Sambucus nigra Fläder: Flackt rotsystem.

Sambucus racemosa Druvfläder: Vitt utbrett.

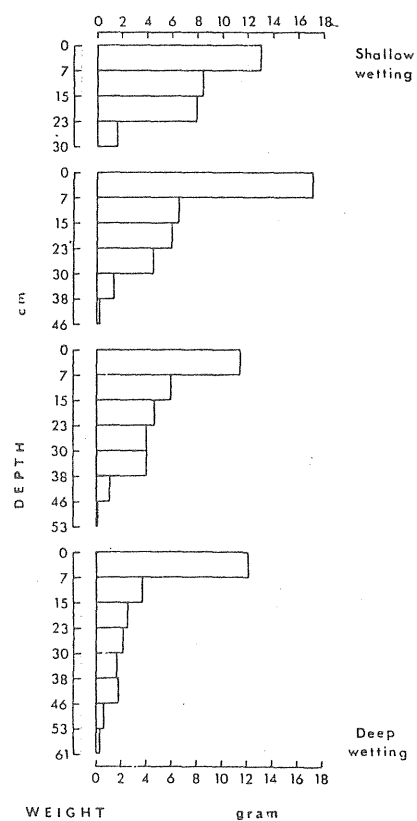
Symphoricarpus albus Snöbär: Intensivt rotsystem.

Syringa vulgaris Syren: Tätt, intensivt rotsystem.

Viburnum opulus Snöbollsbuske: Flackt, tätt och trådigt.



Rotdistribution *Calluna vulgaris* (Ljung)



Lolium perenne (Eng. Rajgräs)

Rotdistrubitionens beroende av vatten-
tillgång

Gräs och örter

Agrostis stolonifera Krypven: Ytligt rotsystem.

Lolium perenne Engelskt rajgräs: Flesta rötterna i de övre
25 centimetrarna (enl. fig ca 80% i genomsnitt)

Medicago sativa Lucern (Alfalfa): Mycket djupgående, liten
horisontell utbredning.

Phragmites communis Vass: Stor horisontell utbredning genom
utlöpare.

Poa pratensis Ängsgröe: Flertalet rötter i de övre 30 centi-
metrarna, bildar underjordiska utlöpare.

E. FÖRORENINGAR

De föroreningar i dagvatten som förekommer är framför allt metalljoner som bly, zink och koppar. Ökad användning av aluminium kan komma att öka dess halt i vattnet.

Låga pH-värden på grund av sur nederbörd är vanligt förekommande.

Flera studier tar upp toxiciteten hos just dessa metaller bl.a. aluminium, mangan, järn, zink, koppar, bly och nickel.

Det är främst en allmän tillväxthämmande aspekt som diskuteras.

Förutom akut toxicitet vid höga halter kan dessa metaller även åstadkomma en minskad tillgänglighet av de för växter nödvändiga makronäringsämnena. Vissa metallers t.ex. mangans toxicitet kan förstärkas vid övervämmning av vatten som kan antas förekomma på grönytor under vissa perioder.

Då en del växter är toleranta eller kan anpassa sig att tåla ökade halter av förorening är det ytterst svårt att ange några letaldoser för föroreningarna.

Förslag till grönytor

Den effektivaste typen av grönyta för detta speciella ändamål är med största sannolikhet en damm eller ett sumpigt område med vattenväxter. Från en sådan yta är evapotranspirationen betydligt större än nederbörden per ytenhet. En lämplig växt för ett sådant område är bl.a. vass (*Phragmites communis*). Nackdelen med denna mycket fuktiga yta är olycksrisker då framför allt för barn, men på exempelvis industriområden där andelen hårdgjord yta är stor och där inga eller ett fåtal barn vistas är en "sumphåla" ett mycket gott alternativ att ta hand om dagvatten. Givetvis får man överväga om man trots allt inte ska inhägnat området för att minimera de olyckstillbud som ändå kan uppstå.

I närheten av bostadsområden där man vill slippa en fri vattenyta är en tät plantering av lövträd, och då speciellt al, björk eller poppelarter, ett gott alternativ. Något lägre vegetation erhålls om man använder olika *Salix*-arter t.ex. sälg och vide. Dessa lövträd har flera fördelar. Förutom att de tål mycket vatten samt transpirerar mycket, har de den fördelen att de ofta finns på plats redan då man bebygger ett område. På så sätt sparar man pengar men framför allt mycket tid. Även om man behöver göra kompletterande planteringar av yngre plantor, har man omedelbart sparat in något eller några tiotal år om de befintliga träden sparas. De flesta poppel- och *Salix*-arter har dessutom den stora fördelen att vara mycket snabbväxande.

Gräsmattor som lämpar sig bra för omhändertagande av dagvatten är sådana med stort inslag av någon sort av ängsgröe, *Poa pratensis*.

De flesta ängsgröe-sorterna har mycket god övervintringsförmåga och sjukdomsresistens. Ängsgröe utgör huvudbeståndsdelen i gräsmattefröblandningar avsedda för ytor där särskilt hög slitstyrka eftersträvas, t.ex. sport- och lekplatser. Arten är alltså mycket lämplig i bostadsområden där slitaget är stort.

Alternativ 1 Växter för damm

Phragmites communis , vass
 Typha latifolia, bredbladig kavedun
 Typha angustifolia, smalbladig kavedun
 Nymphaea alba , vit näckros
 Nuphar lutea , gul näckros
 Butomus umbellatus , blomvass
 Alisma plantago-aquatica , svalting

Alternativ 2 Växter för " sumphåla ".Träd

Betula sp , björk-arter
 Populus sp , poppel-arter
 Alnus sp , al

Buskar

Salix sp , sälg-arter
 Rosa rugos , vresros
 Viburnum sp , olvon
 Rhamnus frangula , brakved
 Cornus sp , kornell-arter
 Hydrangea paniculata gradiflora , syrenhortensia

Alternativ 3 Gräsmatta

Ängsgröeblandning (Poa pratensis) med eventuellt busk - och trädinslag
 t.ex. enligt alternativ 2.

Referenser

- Adriani, M.J. 1956. Der Wasserhaushalt der Halophyten. -In Handbuch der Pflanzenphysiol. Bd III (W. Ruhland ed.), pp.902-914. Springer, Berlin, Göttingen, Heidelberg.
- Antonovics, J., Bradshaw, A.D. & Turner, R.G. 1971. Heavy metal tolerance in plants. -In Adv. in Ecol. Res. 7: 1-85.
- Aston, M.J. 1976. Variation of stomatal diffusive resistance with ambient humidity in sunflower (*Helianthus annuus*). -Aust.J.Bot. 3: 489-501.
- Atkinson, D. 1974. Some observations on the distribution of root activity in apple trees. -Plant Soil 40: 333-342.
- Baldwin, J.P. & Tinker, P.B. 1972. A method for estimating the lengths and spatial patterns of two interpenetrating root systems. -Plant Soil 37: 209-213.
- Tinker, P.B. & Nye, P.H. 1972. Uptake of solutes by multiple root systems from soil. II: The theoretical effects of rooting density and pattern on uptake of nutrients from soil. -Plant Soil 26: 693-708.
- Barrs, H.D. 1973. Controlled environment studies of the effects of variable atmospheric water stress on photosynthesis, transpiration and water status of *Zea mays* L. and other species. -In Plant response to climatic factors, pp.249-258. UNESCO.
- Baumgartner, A. 1956. Untersuchungen über den Wärme- und Wasserhaushalt eines jungen Waldes. -Ber. des Deutschen Wetterdienstes 5:28.
- Bengtsson, R. & Bucht, E. 1973. Inte bara Berberis. Statens institut för byggnadsforskning T 35.
- Bierhuizen, J.F. 1963. Growth and water use in lettuce in different seasons. In The Water Relations of Plants (A.J. Rutter and F.H. Whitehead, eds.), pp.254-256. Blackwell Scientific Publications, London.
- Black, C.C., Chen, T.M. & Brown, R.H. 1969. Biochemical basis for plant competition. -Weed Science 17: 338-344.
- Blaydes, G.W. 1927-28. A survey of rates of water loss from leaves. -The Ohio J. of Sci. 27-28: 99-118.
- Boggie, R. 1977. Water-table depth and oxygen content of deep peat in relation to root growth of *Pinus contorta*. -Plant Soil 48: 447-454.
- Bosian, G. 1933-34. Assimilations- und Transpirationsbestimmungen an Pflanzen des Zentralkaiserstuhls. -Z. Bot. 26: 209-284.
- Briggs, L.J. & Shantz, H.L. 1914-15. Relative water requirement of plants. -J. Agric. Res. 3: 1-63.

- Bucht, E. 1973. Vegetationen i tio bostadsområden. Byggeforskningens skrift T 11.
- & Widgren, R. 1973. Träd i bebyggelse. Byggeforskningens skrift T 27.
- Bäckman, L., Knutsson, G. & Rühling, A. 1978. Vägars inverkan på omgivande natur: I. Vegetation, mark och grundvatten. -SNV PM 1068.
- Camacho-B., S.E., Hall, A.E. & Kaufman, M.R. 1974. Efficiency and regulation of water transport in some woody and herbaceous species. -Plant Physiol. 54: 169-172.
- Chapman, S.B. 1970. The nutrient content of the soil and root system of a dry heath ecosystem. - J. Ecol. 58: 445-452.
- Christensen, S.A. 1974. Vand til det grønne miljø. - Landskap 55: 138-140.
- Clapp, G.L. 1908. A quantitative study of transpiration. -Bot. Gaz. 45: 254-267.
- Cox, L.M. & Boersma, L. 1967. Transpiration as a function of soil temperature. -Plant Soil 37: 345-352.
- Cullen, P.W., Turner, A.K. & Wilson, J.H. 1972. The effect of irrigation depth on root growth of some pasture species. -Plant Soil 37: 345-352.
- Dietrich, M. 1925-26. Die Transpiration der Schatten- und Sonnenpflanzen in ihren Beziehungen zum Standort. -Jahrb. f. wiss. Bot. 65: 98-194.
- Downes, R.W. 1969. Differences in transpiration rates between tropical and temperate grasses under controlled conditions. -Planta 88: 261-273.
- 1970. Effect of light intensity and leaf temperature on photosynthesis and transpiration in wheat and sorghum. -Aust. J. Bot. 23: 775-782.
- Ehlers, M. 1960. Baum und Strauch in der Gestaltung der Deutschen Landschaft. Verlag Paul Parey, Berlin & Hamburg.
- Eidman, F.E. 1943. Untersuchungen über der Wurzelatmung und Transpiration unserer Hauptholzarten. Schriftenreihe der Hermann-Göring-Akademie der Deutschen Forstwissenschaft Band 5.
- Ellis, F.B. & Barnes, B.T. 1968. Estimation of the distribution of plant roots in soil under field conditions. -Agric. Res. Council Letcombe Lab. 19: 24-26
- Ferry, J.F. & Ward, H.S. 1959. Fundamentals of plant physiology. MacMillan, New York.
- Firabs, F. 1931. Untersuchungen über den Wasserhaushalt der Hochmoorpflanzen. -Jahrb. wiss. bot. 74: 459-696.
- Florgård, C. 1976. Hydrologiska störningar på naturmark. -Landskap 2: 161-165.
- 1978. Natur i stad. Statens råd för byggnadsforskning T 25.
- Ford, B.J., Mitchell, K.J. & Edge, E.A. 1977. Effect of temperature, vapor pressure deficit and irradiance on transpiration rates of maize, paspalum, westerwolds and perennial ryegrass, peas, white clover and lucerne. -Aust. J. Plant Physiol. 4: 889-899.

- Foy, C.D., Chaney, R.L. & White, M.C. 1978. The physiology of metal toxicity in plants. -In Ann. Rev. Plant Physiol. 29: 511-566.
- Gardner, W.R. 1964. Relation of root distribution to water uptake and availability. -Agron.J. 56: 41-45.
- Gessner, F. 1956. Der Wasserhaushalt der Hydrophyten und Helophyten. - In Handbuch der Pflanzenphysiol. Bd III (W. Ruhland ed.), pp. 854-901. Springer Verlag, Berlin, Göttingen, Heidelberg.
- Giddings, L.A. 1914. Transpiration of *Silphium laciniatum* L. -Plant world 17: 309-328.
- Haise, H.R. 1958. Trends and problems in the great plains: VI Irrigation. -Adv. Agron. 10: 47-56.
- Hall, A.E., Camacho-B., S.E. & Kaufmann, M.R. 1975. Regulation of water loss by citrus leaves. -Physiol.Plant. 33: 62-65.
- & Kaufmann, M.R. 1975. Regulation of water transport in the soil-plant-atmosphere continuum. -In Ecological Studies 12: Perspectives of Biophysical Ecology (D.M. Gates & R.B. Schmerl, eds.), pp. 187-202. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York.
- Hammenhögs Frö AB 1972. Frökatalog. Eget förlag.
- Henderson, G.G. 1976. Principles of planting trees in lawns, streets and motorways. -Bull.Lincoln Coll. N.Z. Dept. Hort. 20: 76-80.
- Hilliers & Sons 1973. Hilliers' Manual of Trees and Shrubs. Eget förlag.
- Hodgkinson, K.C. 1974. Influence of partial defoliation on photosynthesis, photorespiration and transpiration by lucerne leaves of different ages. -Aust. J. Plant Physiol. 1: 561-578.
- Huber, B. 1927. Zur Methodik der Transpirationsbestimmung am Standort. -Ber. dtsh. bot. Ges. 45: 611-618.
- 1953. Was wissen wir vom Wasserverbrauch des Waldes? -Forstwiss. Centr. 72: 257-264.
- Hygen, G. 1951. Studies in plant transpiration I. -Physiol. Plant. 4: 57-183.
- Höfler, K., Migsch, H. & Rottenburg-Wien, W. 1941. Über die Austrocknungsresistenz landwirtschaftlicher Kulturpflanzen. -Der Forschungsdienst 12: 50-61.
- Jensen, C. 1945. Bogen om pil. Eget förlag, Köpenhamn.
- Jensen, V., Paludan, H.K. & Sørensen, C.Th. 1948. Buske og Traer. Emil Wines Bokförlag, Köpenhamn.
- Kiendl, J. 1953. Zum Wasserhaushalt des *Phragmitetum communis* und des *Glycerietum aquaticae*. -Ber. dtsh. bot. Ges. 66: 246-262.
- 1954. Zur Transpirationsmessung an Sumpf- und Wasserpflanzen. -Ber. dtsh. bot Ges. 67: 243-248.

- Kiesselbach, T.A. 1916. Transpiration as a factor in crop production.
-Bull. of the Agric. Exp. Station of Nebraska 6.
- Kisser, J.G. 1956. Wasserumsatz und Salzstoffwechsel. -In Handbuch der Pflanzenphysiol. Bd III (W. Ruhland ed.), pp. 669-684. Springer, Berlin Göttingen, Heidelberg.
- Kozlowski, T.T. 1968. Water deficits and plant growth I. Academic Press, New York, London.
- 1968. Water deficits and plant growth II. Academic Press, New York, London.
- Kramer, P.J. 1969. Plant and soil water relationships: A modern synthesis. MacGraw-Hill, New York.
- & Kozlowski, T.T. 1960. Physiology of trees. MacGraw-Hill, New York, Toronto, London.
- Kauphalt, G. 1927. Die Praxis der angewandten Dendrologie in Park und Garten. Verlag Paul Parey, Berlin.
- Köstler, J.N. 1956. Waldbauliche Beobachtungen an Wurzelstöcken sturm-geworfener Nadelbäume. -Forstwiss. Centralbl. 75: 65-91.
- Brückner, E. & Bibelreither, H. 1968. Die Wurzeln der Waldbäume. Verlag Paul Parey, Hamburg, Berlin.
- Ladefoged, K. 1963. Transpiration of forest trees in closed stands. - Physiol. Plant. 16: 378-414.
- Lancaster, R. 1976. Trädgårdens träd. LTs förlag, Stockholm.
- Langvad, B. Våra grönytor. LTs förlag, Stockholm.
- Leibundgut, H. & Dafis, Sp. 1964. Untersuchungen über das Wurzelwachstum verschiedener Baumarten. III: Waldföhre und Schwarzföhre. -Schweiz. Z. f. Forstwesen 115: 444-450.
- - & Richard, F. 1963. Untersuchungen über das Wurzelwachstum verschiedener Baumarten. II: Das Wurzelwachstum in einem Tonboden. -Schweiz. Z. f. Forstwesen 114: 621-646.
- Ley, Wilhelm - Baumschulen. Garten-Center Ratgeber. Eget förlag.
- Linde, S.H. 1945. Rätt växt på rätt plats. Allmän Svensk Trädgårdstidnings Handböcker. Nordisk Rotorgravyr, Stockholm.
- Linné, A. & Vaadia, Y. 1965. Stimulation of transpiration rate in barley leaves by kinetin and gibberellic acid. -Physiol. Plant. 18: 658-664.
- Lunt, O.R. & Seeley, J.G. 1967. Turfgrass. flowers and other ornamentals. -Agronomy 11: 753-766.

- Minckler, L.S. 1939. Transpiration of trees and forests. -J. Forest. 37: 336-339.
- Montheith, J.L. 1965. Evaporation and environment. -Symp. Soc. Exptl. Biol. 19: 205.
- Möller, I. 1978. Beplantning langs veje og stier. -Dansk Vejtidskrift 8a: 161-164.
- Nevins, D.J. & Loomis, R.S. 1970. A method for determining net photosynthesis and transpiration of plant leaves. -Crop Sci. 10: 3-6.
- Page, E.R. & Gerwitz, A. 1974. Mathematical models based on diffusion equations, to describe root systems of isolated plats, row crops and swards. -Plant Soil 41: 243-254.
- Pedersen, J.K.S. 1976. Jordpakning. -Landskap 2: 44-45.
- Penman, H.L. 1949. The dependence of transpiration on weather and soil conditions. -J. Soil Sci. 1: 74-89.
- Petersen, M. 1972. Gräsarter og -stammer til udsåning på vejskråninger og rabatter. -Dansk Vejtidskrift 8: 145-164.
- Pisek, A. 1956. Der Wasserhaushalt der Meso- und Hygrophyten. -In Handbuch der Pflanzenphysiol. Bd III (W. Ruhland ed.), pp. 825-853. Springer, Berlin, Göttingen, Heidelberg.
- & Berger, E. 1938. Kutikuläre Transpiration und Trockenresistenz isolierter Blätter und Sprosse. -Planta 28: 124-155.
 - & Cartellieri, E. 1941-42. Der Wasserverbrauch einiger Pflanzervereine. -Jahrb. f. wiss. Bot. 90: 277-291.
 - - 1939. Zur Kenntnis des Wasserhaushaltes des Pflanzen. IV: Bäume und Sträucher. -Jahrb. f. wiss. Bot. 88: 22-68.
- Rawson, H.M., Begg, J.E. & Woodward, R.G. 1977. The effect of atmospheric humidity on photosynthesis, transpiration and water use efficiency of leaves of several plant species. -Planta 134: 5-10.
- Reynolds, E.C.R. 1970. Root distribution and the cause of its spatial variability in *Pseudotsuga taxifolia* (Poir.) Britt. -Plant Soil 32: 501-517.
- Rider, N.E. & Robinson, G.D. 1951. A study of the transfer of heat and water vapour above a surface of short grass. -Quart. J. of the Royal Meteor. Soc. 77: 375-401.
- Ritchie, J.T. & Burnett, E. 1971. Dryland evaporative flux in a subhumid climate. II: Plant influences. -Agron. J. 63: 56-62.
- Roberts, J. 1976. A study of root distribution and growth in a *Pinus silvestris* plantation in east Anglia. -Plant Soil 44: 607-621.

- Rosenberg, O. 1900. Über die Transpiration mehrjähriger Blätter. -
Översikt af K. Vetenskapsakademiens förhandlingar 57:8: 85-98.
- Ruge, U. 1973. Döden truer våre bytraer. -Dansk Vejtidskrift 12:
210-211.
- Rychnovská, M., Kvet, J., Gloser, J. & Jakrlová, J. 1972. Plant water
relations in three zones of grasslands. -Acta Sc. Nat. Brno 6: 1-38.
- Römkens, M.J.M. & Miller, R.D. 1971. Predicting root size and frequency
from onedimensional consolidation data - A mathematical model. -Plant
Soil 35: 237-248.
- Safford, L.O. 1974. Effect of fertilization on biomass and nutrient content
of fine roots in a Beech-birch-maple stand. -Plant Soil 40: 349-363.
- Saltyer, R.O. 1970. Comparative photosynthesis, growth and transpiration
of two species of *Atriplex*. -Planta 93: 175-189.
- Smid, P. 1975. Evaporation from a reedswamp. -J. Ecol. 63: 299-309.
- Spector, W.S. (ed.) 1959. Handbook of Biological Data. W.B. Saunders,
Philadelphia, London.
- Steen, E. & Lenander, S-E. 1968. Grässorter för grönytor. -Aktuellt från
Lantbrukshögskolan 118, Mark-Växter 19 - Trädgård 5.
- Stocker, O. 1923. Die Transpiration und Wasserökologie nordwestdeutscher
Heide- und Moorpflanzen am Standort. -Z. Bot. 15: 1-41.
- 1956. Die Abhängigkeit der Transpiration von den Umweltfaktoren. -In
Handbuch der Pflanzenphysiol. Bd III (W. Ruhland ed.), pp.436-488.
Springer, Berlin, Göttingen, Heidelberg.
- Stälfelt, M.G. 1935. Die Transpiration und Kohlensäureassimilation bei
Blättern und Stroh des Hafers. -Angew. Bot. 17: 157-190.
- Sveriges Pomologiska Förening 1961. SPF:s Växtatlas. Eget förlag, Stockholm.
- Tuschl, P. 1970. Die Transpiration von *Phragmites communis* in geschlossenen
Bestand des Neusiedler Sees. -Wiss. Arb. Burgenld. 44: 126-186.
- Weibull, W. AB 1979. Trädgårdshandbok. Eget förlag, Landskrona.
- West, D.W. & Gaff, D.F. 1976. The effect of leaf water potential, leaf
temperature and light intensity on leaf diffusion resistance and the
transpiration of leaves of *Malus sylvestris*. -Physiol. Plant. 38: 98-104.
- Whiteman, P.C. & Koller, D. 1967. Species characteristics in whole plant
resistances to water vapour and CO₂ diffusion. -J. Appl. Ecol. 4: 363-377.
- Williams, J. 1976. Dependence of root water potential on root radius and
density. -J. Exp. Bot. 27: 121-124.
- Wuenschel, J.E. & Kozlowski, T.T. 1971. The response of transpiration
resistance to leaf temperature as a desiccation resistance mechanism in
tree seedlings. - Physiol. Plant. 24: 254-259.

Zelniker, J.L. 1968. Dürresistenz von Baumarten unter Steppenbedingungen.
-Deutchsh. Akademie der Landwirtschaftswissenschaften zu Berlin 100:
131-140.

GEOHYDROLOGISKA FORSKNINGSGRUPPEN

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Institutionerna för
Geologi
Geoteknik med grundläggning
Vattenbyggnad
Vattenförsörjnings- och avloppsteknik

Meddelande:

- nr 1 Urbaniseringsprocessens inverkan på ytvattenavrinning och grundvattenbildning. Lägesrapporter (1972-07-01 - 1973-03-01). 1973. 100 sidor. (Utgången)
- nr 2 Leif Carlsson: Grundvattenavsänkning Del 1. Evaluering av akviferers geohydrologiska data med hjälp av provpumpningsdata. 1973. 67 sidor.
- nr 3 Leif Carlsson: Grundvattenavsänkning Del 2. Evaluering av lågpermeabla lagers hydrauliska diffusivitet med hjälp av provpumpningsdata. 1973. 17 sidor.
- nr 4 Viktor Arnell: Nederbördsräknare. En sammanställning av några olika mätartyper. 1973. 39 sidor. (Utgången)
- nr 5 Viktor Arnell: Intensitets-varaktighetskurvor för häftiga regn i Göteborg under 45-årsperioden 1926-1971. 1974. 68 sidor.
- nr 6 Urbaniseringsprocessens inverkan på ytvattenavrinning och grundvattenbildning. Lägesrapporter (1973-03-01 - 1974-02-01). 1974. 167 sidor.
- nr 7 Olov Holmstrand, Per O Wedel: Ingenjörsgelogiska kartor - litteraturstudier. 1974. 55 sidor. (Utgången)
- nr 8 Anders Sjöberg: Interim Report. Mathematical Models for Gradually Varied Unsteady Free Flow. Development and Discussion of Basic Equations. Preliminary Studies of Methods for Flood Routing in Storm Drains. 1974. 74 sidor. (Utgången).
- nr 9 Olov Holmstrand (red.): Seminarium om ingenjörsgelogiska kartor. 1974. 38 sidor. (Utgången).
- nr 10 Viktor Arnell, Börje Sjölander: Mätning av nederbördsintensiteter i Göteborgsregionen. Stations-beskrivning. 1974. 53 sidor. (Utgången).
- nr 11 Per-Arne Malmquist, Gilbert Svensson: Dagvattnets beskaffenhet och egenskaper. Sammanställning av utförda dagvattenundersökningar i Stockholm och Göteborg 1969-1972. Engelsk sammanfattning. 1974. 46 sidor. (Utgången).
- nr 12 Viktor Arnell, Sven Lyngfelt: Interimrapport. Beräkningsmodell för simulering av dagvattenflöde inom bebyggda områden. Geohydrologiska forskningsgruppen i samarbete med VA-verket i Göteborg, meddelande nr 12, 1975. 50 sidor.
- nr 13 Viktor Arnell, Sven Lyngfelt: Nederbörds-avrinningsmätningar i Bergsjön, Göteborg 1973-1974. 1975. 92 sidor.
- nr 14 Per-Arne Malmquist, Gilbert Svensson: Delrapport. Dagvattnets sammansättning i Göteborg. Engelsk sammanfattning. 1975. 73 sidor.
- nr 15 Dagvatten. Uppsatser presenterade vid konferens om urban hydrologi i Sarpsborg 1975. 1976. 33 sidor. 15:-. Följande uppsatser ingår:
Arnell V. Beräkningsmetod för analys av dagvattenflödet inom ett urbant område.
Lyngfelt S. Nederbörds-avrinningsstudier i Bergsjön, Göteborg.
Sjöberg A. CTH-ledningsnätmodell DAGVL-A.
Svensson G. Dagvattnets sammansättning, inverkan av urbanisering. (Utgången).
- nr 16 Grundvatten. Uppsatser presenterade vid konferens om urban hydrologi i Sarpsborg 1975. 1976. 43 sidor. 15:-. Följande uppsatser ingår:
Andréasson L, Cederwall K. Rubbningar av grundvattenbalansen i urbana områden.
Carlsson L. Djupinfiltration i slutna akviferer.
Torstensson B-A. Följder av grundvattensänkning inom lerområden.
Wedel P. Exempel på dränering av jordlager på grund av tunnelbyggande. (Utgången).
- nr 17 Olov Holmstrand, Per Wedel: Markvattenundersökningar i ett urbant område. 1976. 127 sidor.
- nr 18 Göran Ejdeling: Beräkningsmodeller för prognos av grundvattenförhållanden. 1978. 130 sidor.
- nr 19 Viktor Arnell, Jan Falk, Per-Arne Malmquist: Urban Storm Water Research in Sweden. 1977. 30 sidor.
- nr 20 Viktor Arnell: Studier av amerikansk dagvattenteknik. Resa i december 1976. 1977. 64 sidor.
- nr 21 Leif Carlsson: Reserapport från studieresa i USA samt deltagande i 2nd International Symposium on Land Subsidence in Anaheim, USA. 29 nov-17 dec 1976. 1977. 61 sidor.
- nr 22 Per O Wedel: Grundvattenbildning, samspelet jordlager och berggrund. Exemplifierat från ett försöks-område i Angered. 1978. 130 sidor.
- nr 23 Viktor Arnell: Nederbördsdata vid dimensionering av dagvattensystem med hjälp av detaljerade beräk-ningsmodeller. En inledande studie. 1977. 29 sidor.
- nr 24 Leif Carlsson, Klas Cederwall: Urbaniseringsprocessens inverkan på ytvattenavrinning och grundvatten-bildning. Geohydrologisk forskning vid CTH, Sektion V, under perioden 1972-75. 1977. 17 sidor
- nr 25 Lars O Ericsson (red.): Lokalt omhändertagande av dagvatten. Delrapport från första verksamhetsåret 1976-02-01 - 1977-01-31. 1977. 120 sidor.
- nr 26 Ann-Carin Andersson, Jan Berntsson: Kontrollerad grundvattenbalans genom djupinfiltration. En inven-tering av djupinfiltrationsprojekt. 1978. 273 sidor.
- nr 27 Anders Eriksson, Per Lindvall: Lokalt omhändertagande av dagvatten. Resultatredovisning av enkät rörande drift och konstruktion av perkolationsanläggningar. 1978. 126 sidor.

- nr 28 Olov Holmstrand (red.): Lokalt omhändertagande av dagvatten. Delrapport nr 2 från perioden 1977-02-01 - 1977-11-30. 1978. 69 sidor.
- nr 29 Leif Carlsson: Djupinfiltrationsstudier i Angered. 1978. 70 sidor.
- nr 30 Lars O Ericsson: Infiltrationsprocessen i en dagvattenmodell. Teori, Undersökning, Mätning och Utvärdering. 1978. 45 sidor.
- nr 31 Lars O Ericsson: Permeabilitetsbestämning i fält vid perkolationsmagasin. Dimensionering. 1978. 15 sidor.
- nr 32 Lars O Ericsson, Stig Hård: Infiltrationsundersökningar i stadsdelen Ryd, Linköping. 1978. 145 sidor.
- nr 33 Jan Hällgren, Per-Arne Malmquist: Urban Hydrology Research in Sweden 1978. Swedish Coordinating Committee for Urban Hydrology Research. 1978. 14 sidor.
- nr 34 Bo Lind, Göte Nordin: Geohydrologi och vegetation i Dalen 5, Karlskoga. 1978. 63 sidor.
- nr 35 Eivor Bucht, Bo Lind: Metodfrågor vid naturanpassad stadsplanering - erfarenheter från studie i Karlskoga. 1978. 65 sidor.
- nr 36 Anders Sjöberg, Jan Lundgren, Thomas Asp, Henriette Melin: Manual för ILLUDAS (version S2). Ett datorprogram för dimensionering och analys av dagvattensystem. 1979. 67 sidor.
- nr 37 Per-Arne Malmquist m fl: Papers on Urban Hydrology 1977-78. 99 sidor.
- nr 38 Viktor Arnell, Per-Arne Malmquist, Bo-Göran Lindquist, Gilbert Svensson: Uppsatser om Dagvattenteknik 1978. 30 sidor.
- nr 39 Bo Lind: Dagvatteninfiltration - förutsättningar inom ett bergsområde, Östra Gårdsten i Göteborg. 1979. 32 sidor.
- nr 40 Per-Arne Malmquist (red.): Geohydrologiska forskningsgruppen 1972-78. Sammanställning av uppnådda resultat. 1979. 96 sidor. Kostnadsfri.
- nr 41 Gilbert Svensson, Kjell Øren: Planeringsmodeller för avloppssystem. NIVA-modellen tillämpad på Torslanda avrinningsområde. 1979. 71 sidor.
- nr 42 Per-Arne Malmquist (red.): Infiltrera dagvatten. Diskussioner och figurer från CTH-seminarium 1979-04-20. 1979. 86 sidor.
- nr 43 Bo Lind: Dagvatteninfiltration - perkolationsanläggning i Halmstad. 1979. 58 sidor.
- nr 44 Viktor Arnell, Thomas Asp: Beräkning av bräddvattenmängder. Nederbördens varaktighet och mängd vid Lundby i Göteborg 1921-1939. 1979. 80 sidor.
- nr 45 Stig Hård, Thomas Holm, Sven Jonasson: Dagvatteninfiltration på grönytor - Litteraturstudie, kunskapssammanställning och hypotes. 1979. 278 sidor.
- nr 46 Per-Arne Malmquist, Per Lindvall: Dräneringsrörs igensättning - en jämförande laboratoriestudie. 1979. 44 sidor.
- nr 47 Per-Arne Malmquist, Gunnar Lannér, Erland Högberg, Per Lindvall: SÖDRA NÄSET - ett exempel på för- enklad utformning av gator och dagvattensystem i ett upprustningsområde. 1980.
- nr 48 Viktor Arnell, Håkan Strandner, Gilbert Svensson: Dagvattnets mängd och beskaffenhet i stadsdelen Ryd i Linköping, 1976-77. 1980.
- nr 49 Lars O. Ericsson, Stig Hård: Termisk registrering, en metod att kartera markvattenhalt - Termovisionsförsök i klimatkammare. 1980. 65 sidor.
- nr 50 Viktor Arnell: Dimensionering och analys av dagvattensystem. Val av beräkningsmetod. 1980. 56 sidor, 22 figurer.

Pris för samtliga meddelande kr 20:- per st.