



Sveriges lantbruksuniversitet  
Institutionen för mark och miljö

## **Förändring av nitratläckage och växtproduktion från låglänt jordbruksmark vid en ny reglering av vattennivån i Mälaren**

*Changes in nitrate leakage and crop production in agricultural  
lowland around Lake Mälaren as a result of new water level  
regulations*

Maja Granath



SLU, Sveriges lantbruksuniversitet  
Fakulteten för naturresurser och lantbruksvetenskap  
Institutionen för mark och miljö

Maja Granath

Förändring av nitratläckage och växtproduktion från låglänt jordbruksmark vid en ny reglering av vattennivån i Mälaren  
Changes in nitrate leakage and crop production in agricultural lowland around Lake Mälaren as a result of new water level regulations

Handledare: Ingrid Wesström, institutionen för mark och miljö, SLU  
Biträdande handledare: Elin Forsberg, Tyréns  
Examinator: Abraham Joel, institutionen för mark och miljö, SLU  
EX0429, Självständigt arbete i markvetenskap - magisterarbete, Avancerad nivå, A1E  
Agronomprogrammet – inriktning mark/växt 270 hp

Institutionen för mark och miljö, SLU, Examensarbeten 2011:16  
Uppsala 2011

Nyckelord: markvetenskap, nitratläckage, växtproduktion, reglerad dränering, Drainmod

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



## Abstract

The water level of Lake Mälaren has been regulated since the 1940's. A recent investigation suggests that the current regulation needs to be adjusted in order to prevent a decline in water level, salt water from infiltrating from Lake Saltsjön, and risk of floodings. In addition to these preventions, the new regulation could potentially effect the natural environment and agriculture practices in the low lands that surround the lake. The new regulation proposal calls for an increase in variations in Mälaren's water level during seasons, while the annual mean water level will remain the same. The Swedish Agriculture Industry has been given a lot of restrictions by the Swedish government in order to decrease it's nitrogen leakage to ground and surface water. Nitrogen is very much affected by the water content in the soil through microbial activity as well as for transportation in the soil. The aim of this thesis was to investigate how the water flow in the soil in lowland areas around lake Mälaren would change with the proposed regulation. Based on results from the modelling program Drainmod. A comparison was made between the old regulation and the new regulation proposal. Based on the Drainmod results, the differences in nitrate-nitrogen flow to ground water and fictitious spring crop production are likely to be minimal between the two regulation proposals. In the new regulation there is a possibility for delayed spring agricultural tilling due to a higher water level during the spring season. Over the whole period of 30 years, the old regulation has a slightly bigger runoff volume which indicates a possible greater loss of nitrogen. There are differences between the input data and the actual simulated data for the precipitation in the model which gives reason to question the results in this study.



## Sammanfattning

Mälaren har varit reglerad sedan 1940-talet. Nya undersökningar har visat att den nuvarande regleringen behöver justeras för att minska riskerna för översvämning, extrema lågvattenstånd och för att förhindra saltvattenintrång från Saltsjön. En förändrad reglering av vattennivån kan påverka miljön och jordbruket i de låglänta områdena runt sjön. Ett förslag till ny reglering är framtaget, som vill öka variationerna mellan årstiderna men behålla samma medelnivå över året. Det svenska lantbruket har fått många restriktioner och lagar att följa för att minska kväveläckage till yt- och grundvatten. Kvävet påverkas i hög grad av vattenbalansen i marken eftersom det är med vattnen kväve transporteras i marken. Syftet med den här studien var, att med hjälp av modellering i Drainmod, undersöka hur vattenflödet i låglänta områden runt Mälaren kan förändras av en ny reglering samt hur det kan påverka växtproduktionen. En jämförelse gjordes mellan det nya regleringsförslaget och det gamla. Utifrån dessa resultat har nitratkvävet flöde i marken diskuterats och påverkan på fiktiva vårsådda grödor. Skillnaderna har inte visat sig så stora mellan de olika regleringsalternativen. Resultaten visar en tendens till ett mer försenat vårbruk med huvudalternativet som också har en högre regleringsnivå på våren. Totalt sett över en trettioårsperiod visar resultaten något större avrinningsvolym från nollalternativet, vilket då skulle kunna innebära större kväveförluster till yt- och grundvatten. Det finns skillnader mellan indata och den faktiska simulerade nederbörden i modellen vilket kan påverka avrinningsvolymerna, därför kan resultaten i denna studie ifrågasättas.





# Innehållsförteckning

<b>1</b>	<b>Inledning</b>	<b>8</b>
1.1	Syfte .....	9
<b>2</b>	<b>Bakgrund</b>	<b>10</b>
2.1	Slussens historiska utveckling.....	10
2.2	Varför behövs en ombyggnation av Slussen och en ny reglering av Mälaren? .....	11
2.3	Hydrologi .....	12
2.3.1	Vattnets kretslopp .....	13
2.3.2	Vattnet i marken.....	13
2.4	Kväve .....	14
2.4.1	Kvävets kretslopp.....	15
2.4.2	Nitrat – läckagerisk.....	17
2.5	Grödor .....	19
<b>3</b>	<b>Material och Metod</b>	<b>21</b>
3.1	Platsbeskrivning .....	21
3.2	Jordprovtagning.....	22
3.3	Drainmod 6.0.....	23
3.4	Indata till DRAINMOD 6.0 .....	24
3.4.1	Klimat .....	24
3.4.2	Markegenskaper .....	25
3.4.3	Hydrologiska parametrar.....	25
3.4.4	Grödor .....	27
<b>4</b>	<b>Resultat &amp; Diskussion</b>	<b>29</b>
4.1	Hydrologi .....	29
4.1.1	Nederbörd .....	29
4.1.2	Grundvattennivå.....	33
4.1.3	Avrinning genom mark .....	34
4.1.4	Temperatur.....	37
4.1.5	Evapotranspiration .....	39
4.2	Grödor .....	40
4.3	Kväve .....	44
<b>5</b>	<b>Slutsatser</b>	<b>47</b>
<b>6</b>	<b>Litteraturlista</b>	<b>48</b>
<b>7</b>	<b>APPENDIX 1</b>	<b>51</b>
	<b>APPENDIX 2</b>	<b>53</b>



# 1 Inledning

År 2005 tillsatte regeringen en klimat- och sårbarhetsutredning för att utreda möjliga framtida hot mot samhället på grund av klimatförändringar. År 2007 kom de viktigaste slutsatserna och förslag till åtgärder som gällde bland annat förestående översvämningshot och risker för ras, skred och erosion, för Mälaren, Hjälmaren och Vänern (SOU 2006:94). Ett av dessa förslag till åtgärder var att öka tappningskapaciteten i Mälaren. Vidare undersökningar visade att det största behovet till ökad tappningskapacitet för Mälaren finns vid Slussen i Stockholm (SOU 2007:60).

Mälarens vattennivå har varit reglerad sedan 1940-talet (Andreasson & Gustavsson 2010). Hittills har regleringen syftat till att minska variationen i vattennivån. Detta har bland annat lett till att den biologiska mångfalden i den strandnära miljön har sjunkit (Calluna, 2010).

För att säkra dricksvattentillgång och för att minska riskerna för översvämningar och saltvattenintrång har ett förslag till ny reglering av Mälaren lagts fram. Det nya förslaget innebär i grova drag att medelvattenståndet över året ska vara det samma som idag, men att större årstidsvariationer eftersträvas. Därför kommer ett högre vårvattenstånd och en lägre vattennivå på vintern att tillåtas. På sommaren och hösten kommer vattennivån att vara väldigt lik den nuvarande regleringen (Andreasson & Gustavsson, 2010).

Dessa förändringar i vattennivån kan komma att innebära ändrade förutsättningar för jordbruket. Mellan 7 000-12 000 ha odlingsmark (inkl. betesmark) beräknas bli berörda av den nya regleringen av Mälaren (Rangsjö, 2010). En högre vattennivå i sjön påverkar framförallt de låglänta områdena runt sjön genom en högre grundvattennivå. En högre grundvattennivå kan medföra förseningar i vårbruket och ha en negativ påverkan på rotutvecklingen för höstsådda grödor och därigenom påverka den slutliga skörden negativt.

De större fluktuationerna antas också gynna en biologisk mångfald i den strandnära miljön (Calluna, 2010) och påverka kvävet kretslopp vilket till stor del påverkas av andelen vatten i marken, men även av temperatur och pH.

Sverige har idag 16 miljömål som beskriver vilka mål vi har med den svenska naturen och hur dessa ska uppnås. Miljömål 7 *Ingen övergödning* strävar mot att halterna gödande ämnen i naturen inte ska ha någon negativ inverkan på människors hälsa, förutsättningar för biologisk mångfald eller möjligheterna till allsidig användning av mark och vatten. Av de gödande ämnen som kommer från mänskligt påverkade källor utgör jordbruket ca 40 % av både kväve- och fosforutsläppen, vilka anses vara de näringsämnen som har störst påverkan på övergödningen (Brant, et al., 2006). Jordbruket har därför givits många restriktioner och regler att följa för att minska utsläppen, exempelvis särskilda tidpunkter som stallgödsel får spridas, endast ett visst antal djurenheter per hektar mark, ersättning för våtmarksanläggning etc. Det är därför viktigt att se till att en ny reglering av Mälaren optimeras så att den negativa påverkan är så liten som möjligt på jordbruket och miljön.

Genom att använda modelleringsprogrammet Drainmod 6.0 och resultat från andra forskningsförsök kan uppskattningar göras för hur en ny reglering av vattennivån i Mälaren kan komma att påverka jordbruket och miljön i form av förändrat kväveläckage.

## 1.1 Syfte

Syftet med studien är att, med hjälp av modellering i DRAINMOD 6.0 och information från vetenskaplig litteratur, beskriva hur nitratläckaget från jordbruksmark i låglänta områden kring Mälaren kan förändras till följd av den nya reglering som föreslås för Mälaren samt hur växtproduktionen i samma område kan förändras.

## 2 Bakgrund

I detta avsnitt ges en kort beskrivning av Slussens historiska utveckling och förklaring till varför en ombyggnation av Slussen och en ny reglering av Mälaren krävs. En kort beskrivning av hydrologi ges samt en beskrivning av kvävetets kretslopp i mark-vatten-växsystemet och översiktlig information om odlingsförhållanden och grödor.

### 2.1 Slussens historiska utveckling

Slussen utgör idag en gräns mellan Mälaren och Saltsjön. Ett näs började bildas, mellan nuvarande Gamla Stan och Södermalm, redan på 1100-talet. Genom landhöjningen uppkom en strömtröskel och Mälarens yta kom att ligga högre än Saltsjöns. På 1600-talet lät drottning Kristina anlägga den första slussen i Norrström mellan Gamla Stan och Norrmalm. År 1755 invigdes en ny och större sluss som var konstruerad av Christopher Polhem. Den behölls även efter att en ny sluss, designad av Nils Ericson, invigdes 1850 och användes för avtappning av Mälarens högvatten (Blomkvist, 1999).

Den nya slussen av Nils Ericson var den stora leden för båttrafik mellan Mälaren och Östersjön under den tiden, samtidigt som det var länken på fastlandet mellan de södra och norra delarna av Stockholm. Trafikproblem uppstod i området runt slussen i början av 1900-talet bland annat på grund av stor befolkningstillväxt och ökad bilism. 1930 tillsattes en kommitté som skulle utreda kollektivtrafiksituationen i Stockholm, vilken bland annat resulterade i att den nuvarande slussen stod klar i Söderström 1935. Polhems kanal fylldes igen och Ericsons slusskanal används som avtappningskanal istället. Det är slussen från 1935 som fortfarande är i bruk idag, men nu används den endast av mindre båtar. Större båtar går genom Hammarby sluss och de stora fartygen går genom Södertälje kanal (Blomkvist, 1999).

## 2.2 Varför behövs en ombyggnation av Slussen och en ny reglering av Mälaren?

Stora sättningar pågår i området runt Slussen och anläggningen är på många håll utsliten och i stort behov av en renovering (Åhström, 2010; Bjurholm *et al.*, 1999). Slussens kapacitet att släppa ut vatten från Mälaren till Saltsjön är inte i proportion till behovet. Stora översvämningrisker förekommer i hela Mälaronrådet och i Stockholm har tunnelbanesystemet varit hotat. Enligt SMHI kan klimatscenario med mycket höga och mycket låga vattenflöden förekomma betydligt oftare i Mälaren än i dagsläget (Andreasson & Gustavsson, 2010). Mycket höga flöden kan orsaka risk för översvämningar på många håll runt Mälaren, vilket kan ha stor påverkan på jordbruk, infrastruktur och städer med ökad negativ effekt på miljön.

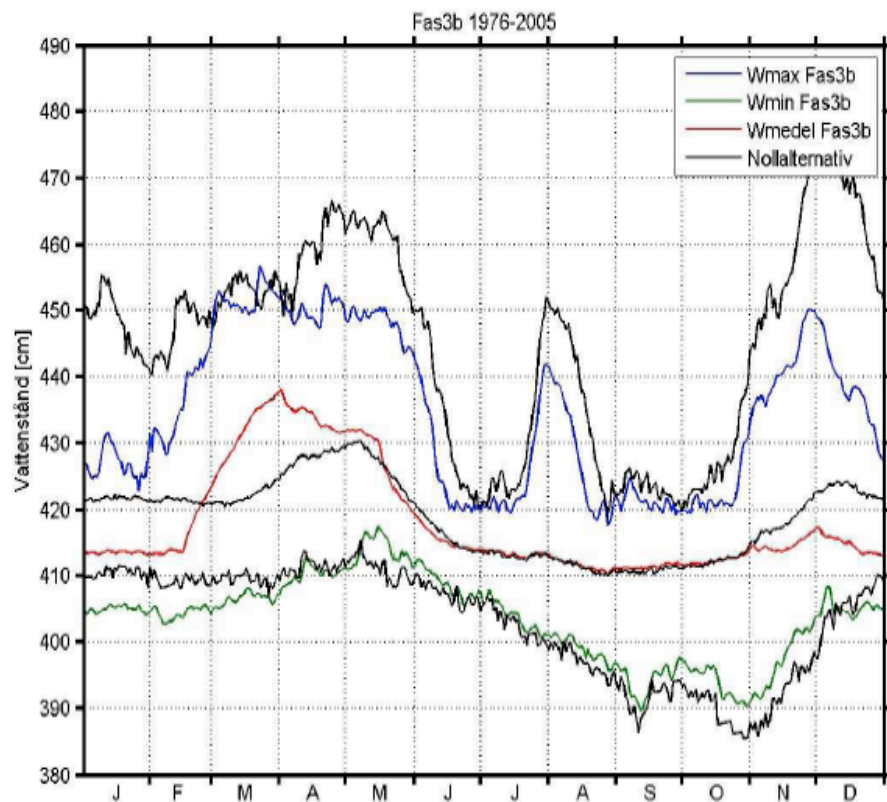
I nuläget ligger den maximala tappningskapaciteten i Mälaren på cirka 800 m<sup>3</sup>/s vilket är planerat att öka till cirka 1 800 m<sup>3</sup>/s i och med det nya förslaget (Andreasson & Gustavsson, 2010). Den nya avtappningsanläggningen är planerad att vara klar 2018 och sedan ha en teknisk livslängd på cirka 100 år, men regleringen av Mälarens vattennivå antas behöva justeras tidigare (Adrup *et al.*, 2010).

En ökad tappning innebär kraftigare strömmar och höjd erosionsrisk i Saltsjön på exempelvis broar, tunnlar, kajer etc. Större mängder sediment kan förflyttas och halten lösta ämnen i ytvattnet beräknas öka något (Sternbeck *et al.*, 2010). I det nya förslaget från SMHI, jämförs en ny reglering (huvudalternativ) med hur vattenståndet skulle se ut om ingen förändring av nuvarande reglering gjordes (nollalternativ) (tabell 1 & figur 1).

Tabell 1. Modellerat vattenstånd (medelvärde av varje års medel, högsta och lägsta värde) för huvudalternativet och nollalternativ för perioden 1976-2005 (angett i cm i Mälaren Höjdsystem), vinter: 1/12-29/2, vår: 1/3-31/5, sommar: 1/6-31/8, höst: 1/9-30/11

	Huvudalt. (med)	Nollalt. (med)	Huvudalt. (hög)	Nollalt. (hög)	Huvudalt. (låg)	Nollalt. (låg)
<b>VINTER</b>	415	421	428	432	409	413
<b>VÅR</b>	431	425	444	437	415	414
<b>SOMMAR</b>	413	414	422	424	408	407
<b>HÖST</b>	413	413	421	425	407	405

(efter Structor, 2010)



Figur 1. Mälarens vattenstånd för huvudalternativet. Redovisat som medel, max och min för varje dag på året under perioden 1976-2005 (röd, blå respektive grön kurva). Jämförelsevis redovisas motsvarande vattenstånd för nollalternativet. (figur tagen från Andreasson & Gustavsson 2010)

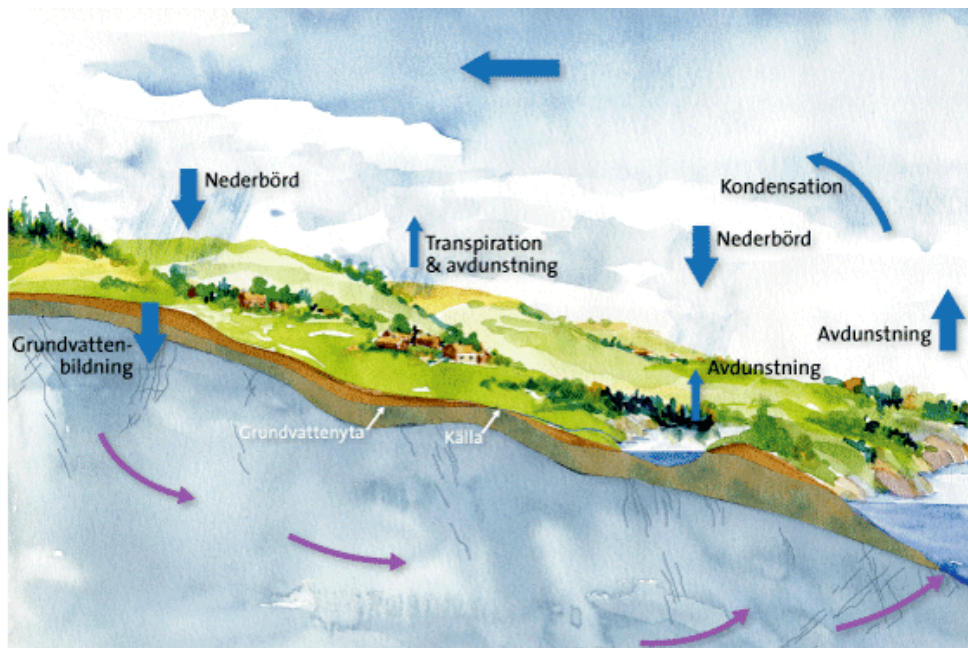
Orsaken till att ett högre vattenstånd på våren önskas är delvis för att undvika extremt låga vattenstånd på sommaren och på så sätt säkra produktionen av dricksvatten till regionen men också för att gynna en biologisk mångfald i den strandnära miljön genom större fluktuationer över året (Tilly, 2010; Calluna, 2010).

### 2.3 Hydrologi

Vatten är en förutsättning för allt liv på jorden. Det följer sitt kretslopp som det gjort i flera miljoner år (figur 2). Vi dricker idag samma vatten som dinosaurierna drack för miljontals år sedan.

### 2.3.1 Vattnets kretslopp

Vattnet kommer som nederbörd på marken eller faller direkt i bäckar, sjöar eller hav. Det vatten som faller på mark kan antingen infiltrera marken, rinna av på ytan eller avdunsta. Det vatten som infiltrerar hamnar ofta i grundvattnet, som kan leda vidare till ett öppet vattendrag. När vattnet infiltrerar och perkolerar marken renas det samtidigt. Från öppna vattendrag avdunstar vatten som stiger upp i luften och sakta kyls av och kondenserar. Dessa vattenpartiklar formar moln för att sen falla som nederbörd igen.



Figur 2. Vattnets kretslopp (efter Vattnets kretslopp, 2011, SGU).

### 2.3.2 Vattnet i marken

Det hydrologiska året börjar på hösten, 1 oktober, då är vattenreservoarerna oftast små i marken i Sverige (Grip & Rodhe, 1985). Under hösten fylls de på och beroende på var i landet det är, fryser viss del under vintern. När temperaturen sjunker bildas tjäle i marken. Då infiltrerar inte vatten i marken. Om nederbörd faller som regn när marken är frusen, avrinner den till största del på ytan istället för att infiltrerar i marken. Den nederbörd som faller på vintern kan komma som snö, beroende på vart i landet man befinner sig. Snö som faller kan lagras på marken och smälter sedan när temperaturen stiger på våren. Då sker en naturlig ökning av in-



filtration av vatten och avrinning genom marken. Vattenreservoarerna fylls på yterligare. När temperaturen sedan ökar under våren och sommaren så minskar reserverna av vatten i marken igen, dels genom avdunstning men också genom växtupptag, för att till slut vara som lägst efter sommaren under tidig höst (Grip & Rodhe, 1985).

Den största nederbörden faller, på de flesta håll i Sverige, på sommaren, och minst nederbörd kommer under senvinter och våren. Markens vattentillförsel skiljer sig något åt ifrån nederbördens fördelning över året, eftersom nederbörden ofta kommer som snö på vintern och tillförs marken först på våren. Av den höga nederbörd som kommer på sommaren så avdunstar den största delen, beroende av temperaturen i luften (Grip & Rodhe, 1985).

Hur mycket vatten som en jord kan hålla beror dels på markens porositet, textur och struktur, genom exempelvis hur stor yta som finns på markpartiklarna för vattnet att binda till och storleken på porerna i marken. Vattnet binds antingen kapillärt i porer eller adsorptivt längs med partikelytan. Det är främst det kapillärt bundna vattnet som kan dräneras ut. Beroende på hur djupt grundvattnet ligger och därmed hur stort undertrycket i marken är finns det olika volymer vatten i en jord. Detta varierar också kraftigt mellan olika jordar beroende på jordens sammansättning. En sandjord har sämre vattenhållande förmåga än en lerjord, då den har större porer och mindre bindningsyta för vattenpartiklarna att binda till. I och med de större porerna binds också mindre vatten adsorptivt i en sandjord (Grip & Rodhe, 1985).

Markens fältkapacitet mäts vid ett undertryck på en meter, efter att jorden först har varit mättad och sedan dränerats till jämvikt mäts vattenhalten i marken. Vissningsgränsen i marken brukar antas vara den vattenhalt marken håller vid ett undertryck på 150 meter. Det vattnet som finns kvar är då så hårt bundet till markpartiklarna att växterna inte kan ta upp det (Grip & Rodhe, 1985).

## 2.4 Kväve

Kväve är essentiellt för allt liv på jorden. Det ingår bland annat i klorofyll, enzymer och i aminosyror i protein. I marken finns kväve i både organisk och oorganisk form. Organiskt material består till ca 5-6 % av kväve (Eriksson *et al.*, 2005). När det organiska kvävet bryts ner under mineraliseringen frigörs många oorganiska kväveföreningar. Oorganiskt kväve förekommer både som anjon och katjon i form av nitrat ( $\text{NO}_3^-$ ) respektive ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ) i vattenlösningen samt i olika

NH<sub>2</sub>-grupper och andra liknande föreningar i humusmaterial (Eriksson *et al.*, 2005). Markvattenhalten spelar en central roll för den mikrobiella aktiviteten i marken och därmed även för eventuellt kväveläckage eller gasavgång. Om det finns mycket tillgängligt syre i marken omvandlas ofta kvävet genom nitrifikation, från ammonium till nitrat, av autotrofa nitrifikationsbakterier. Om marken däremot är vattenmättad eller det finns ont om syre kan denitrifikation ske. Det innebär att heterotrofa bakterier använder sig av nitrat som elektronacceptor för att bryta ner organiskt material där kvävgas alternativt lustgas blir slutprodukten. Vid växtproduktion är kväve ofta en begränsande faktor för grödorna. I en jordbruksmark påverkas kvävecykeln av flera olika faktorer, de två största faktorerna är jordbearbetning och gödsling, men på vissa marker har även existerande eller icke existerande dränering en stor inverkan på kvävecykeln. Biologiska processer följer ett generellt mönster i förhållande till marktemperaturen. Med ökande temperatur ökar nedbrytningshastigheten exponentiellt fram till ett optimum där hastigheten avtar för att sedan sjunka vid ytterligare temperaturhöjning (Youssef *et al.*, 2005).

#### 2.4.1 Kvävets kretslopp

##### *Mineralisering*

Mineralisering är en viktig process och källan till mycket av det oorganiska kvävet i jordbruksmark. Processen påverkas av flera olika faktorer, dels av innehållet i substratet, en låg C/N-kvot ger ofta hög mineralisering (Burt *et al.*, 1993). De aeroba organismerna som står för största delen av mineraliseringen påverkas mycket av markfuktigheten. Så länge det finns tillräckligt med syre ökar nedbrytningen med ökad markfuktighet. Mineraliseringen ökar också med temperaturen till ett optimum vid 25,5 C° under gynnsamma förhållanden (Grundmann *et al.*, 1995).

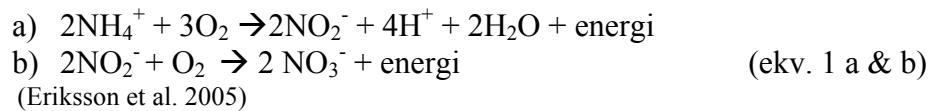
##### *Immobilisering*

Det finns ofta en stor efterfrågan på det frigjorda kvävet i marken både från växter och från olika marklevande organismer. När kvävet tas upp av marklevande organismer immobiliseras det och övergår från oorganiskt till organiskt bundet kväve igen. Balansen mellan mineralisering och immobilisering beror i hög grad av C/N-kvoten i marken. En låg C/N-kvot resulterar ofta i en nettomineralisering och en hög nedbrytningshastighet på grund av den höga halten tillgängligt kväve (Burt *et al.*, 1993).

### *Nitrifikation*

Ammoniumet som frigörs under mineraliseringen oxideras sedan genom nitrifikation till nitrat (figur 2) och en stor mängd energi frigörs, vilket mikrober kan använda till kolassimilation.

Nitrifikationen som är beroende av syre och i hög grad påverkas av markens pH och vattenhalt, sker i två steg;

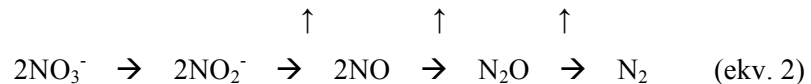


Det första steget utförs av *Nitrosomonas* sp. och *Nitrosolobus* sp. medan oxidationen av nitrit till nitrat utförs av *Nitrobacter* (Burt et al. 1993). Dessa är autotrofa mikrober, vilka kräver syre och använder kolet i koldioxid som kolkälla (Eldor 1989). Dessa processer är känsliga för låga pH-värden och gynnas av ett högt pH och höga halter ammonium (Eriksson et al. 2005). Även andra faktorer som marktemperatur, markfuktighet och sammansättningen i det organiska materialet har stor betydelse (Burt et al. 1993). Nitrifikationen i sig har en försurande effekt på marken genom att den i första steget avger fyra vätejoner.

Under gynnsamma markförhållanden omvandlas mycket kväve snabbt till nitratform och är då i en form med betydligt högre risk för utlakning eftersom jonen är negativt laddad liksom de flesta markpartiklar. Ökad nitrifikation inträffar bland annat när mineralgödselmedel tillförs marken på grund av hög andel ammonium.

### *Denitrifikation*

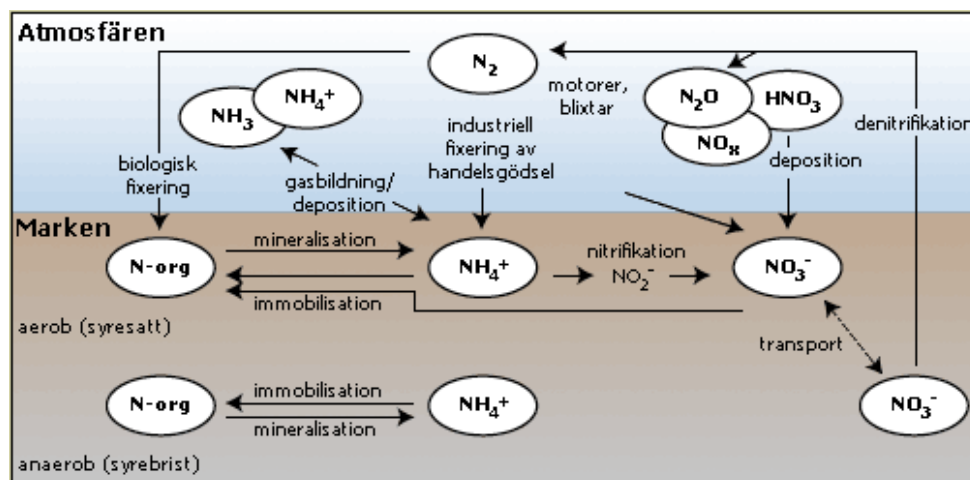
När det råder syrebrist i marken finns det mikrober som kan använda sig av nitrat ( $\text{NO}_3^-$ ) som elektronacceptor för att bryta ner organiskt material. Denitrifikation börjar förekomma när porer i marken har ca 60 % vattenmättnad (De Klein & Van Logtestijn, 1995). Syrebrist kan även förekomma i marken när den mikrobiska aktiviteten är hög och där med har en hög syrekonsumtion (Eldor, 1989). Omvandlingen/reduceringen sker i flera steg enligt;



Denitrifikation kan utföras av både bakterier och av svampar. Många av de denitrifierande svamparna har inget lustgasreduktas och därmed blir slutprodukten i den

denitrifikationen lustgas. Bakterier denitrifierar hela vägen till kvävgas om det finns tillräckligt med syre tillgängligt. Vid mycket låg tillgång på syre i marken finns det risk för att en del denitrifikationsbakterier inte fullföljer processen så att den avstannar och kväveoxid eller lustgas blir slutprodukten istället (Eldor, 1989). Den optimala temperaturen för denitrifikation ligger runt 30 C<sup>0</sup> (Saad & Conrad, 1993). Produktionen av lustgas från jordbruksmark påverkas även av mängden tillgängligt kväve i marken. Lustgasavgången ökar linjärt vid låg mängd tillfört kväve upp till 100 kg/ha kväve men med större mängd tillfört kväve ökar lustgasproduktionen exponentiellt. Christensen & Teijde (1990) visar resultat där lustgasavgången ökar vid låga temperaturer (< 4 °C). Röver et al. (1998) har resultat som visar att stora flöden lustgas kan avgå under perioder där frost och tö varierar om vartannat. En studie av Kaiser *et al.* (1998) visar att upp till 50 % av den totala avgången av lustgas sker under vintern, med förhållanden av frost/tö och temperaturer under 4 °C. Lustgas har en uppehållstid i troposfären på ca 150 år (Burt *et al.* 1993) och har 296 gånger så stor klimatpåverkan som CO<sub>2</sub> (Metz *et al.*, 2007).

I figur 3 ges en beskrivning av kvävetets kretslopp och förhållandena mellan olika kväveföreningar.



Figur 3. En schematisk modell av kvävetets kretslopp i jordbruksmark. Figuren är hämtad från *Växten och Marken*, 2011, SLU.

#### 2.4.2 Nitrat – läckagerisk

Det finns flera former av kväve i marken men den största mängden kväve som läcker ut ur marken är den i nitratform, delvis på grund av dess negativa laddning (Burt et al. 1993). Störst mängd kväve har visats sig läcka ur marken när det störst

avrinningsvolymerna dräneras från marken (Armstrong & Burt 1993, Ericsson, 1988). Wesström & Messings (2006) resultat från undersökningar gjorda 1996-2000 på en sandig jord i södra Sverige visar att tidpunkt för när högsta kvävekoncentration uppstår i avrinningsvattnet varierar mellan år, de högsta koncentrationerna uppmättes mellan november och mars. De högsta utflödena av vatten uppmättes på hösten under samtliga provår. Cirka 90 % av det utläckta kvävet befann sig i nitratform.

#### *Faktorer som påverkar läckage av nitrat*

*Kväve som tillförs marken* - Gödsling har stor betydelse för hur mycket nitrat som läcker ut. Det är viktigt att den mängd kväve som tillförs grödan är anpassad efter beräknad skörd för att minimera kväveläckaget (Ericsson, 1988). Jämnare skördar ger större möjlighet att ge en rätt anpassad kvävegiva (Ericsson, 1988). Ett intensivt jordbruk med höga gödselgivor ger generellt ett större näringsläckage (Larsson *et al.* 1985). Enligt en studie gjord av Brink & Ivarsson (1985) läcker en lerjord moderata mängder kväve upp till en tillförd kvävemängd på 100 kg/ha, där efter ökar den relativa läckagemängden kväve markant.

*Markstruktur påverkar N-läckage* - Försök har visat att vid en tillförd mängd kväve på max 200 kg N/ha så läcker en sandjord ungefär dubbelt så mycket nitrat som en lerjord (Burt *et al.* 1993). Vid högre lerhalt minskar kväveläckagen till en viss gräns, när kraftiga sprickor bildas i lerjordar finns risk för stora läckagemängder (Ericsson, 1988).

*Påverkan genom markanvändning* - Betesmarker tillförs kväve genom urin och träck direkt från boskap. Urin kan snabbt avgå som ammoniak medan träck, som mest består av organiskt bundet kväve, tar längre tid att bli tillgängligt för grödan och för att vara i risk för att lakas ut (Ericsson, 1988). Om marken brukas intensivt är höstsådda grödor generellt bättre än vårsådda ur utlakningssynpunkt eftersom de som kan ta upp kväve under en period på hösten och har möjlighet att börja ta upp kväve tidigare på våren. Detta kan minska mängden nitrat i marken som annars finns tillgänglig för utlakning vid högre vattenflöden på våren (Ericsson, 1988). Höstoljeväxter kan ta upp närmare 100 kg N per hektar på hösten och höstveten cirka 20 kg N (Ericsson, 1988).

*Effekter av jordbearbetning* – Bearbetningstidpunkt och hur intensivt marken bearbetas spelar stor roll för hur mycket kväve som lakas ut (Aronson & Torstensson, 2004). En större mängd nitrat läcker genom mark som är bearbetad på hösten än en mark som är beväxt över vintern. Genom bearbetning tillförs marken mycket syre som gynnar de aeroba nedbrytningsorganismerna vilket medför en större nit-

ratproduktion och innebär större risk för utlakning (Burt *et al.* 1993; Ericsson, 1988).

*Grödans påverkan på kväveläckage* – Grödan är beroende av vatten för att kunna ta upp näring. Därför är det viktigt att tillgången på vatten finns vid rätt tidpunkt i grödans utveckling. Om torra uppstår vid viktiga tidpunkter i grödans utvecklingsstadium kan en stor del av tillförd näring gå förlorad och riskerar att lakas ut istället. Det sker en anrikning av kväve i marken på hösten genom mineralisering av skörderester. Växtresternas C/N-kvot påverkar mängd och hastighet på nedbrytningen (Ericsson, 1988). Det är viktigt att ha en helhetssyn på systemet när man tittar på kväveläckage, även växtföljden är en viktig faktor för att minska kväveläckage (Aronson & Torstensson, 2004). Nitratläckagets storlek beror även till stor del av vilken gröda som odlas, undersökningar gjorda av Tinker (1991) visar att höstvet är en gröda som läcker relativt lite nitrat, medan exempelvis potatis och raps är två grödor som tenderar att orsaka större läckage (Burt *et al.*, 1993). Höga halter nitrat har även läckt ut från marker efter skörd av baljväxter där en stor mängd kväve har bundits in i rötterna och sedan frigörs efter skörd (Eriksson *et al.*, 2005)

*Dräneringssystem* - I studier gjorda på reglerbar dränering visar resultat på ett minskat läckage av nitrat på upp till 50 % då flödet av vatten genom markprofilen minskas (Gilliam *et al.*, 1979). Dock finns risk för ökad lustgasavgång eftersom en större andel vattenfyllda porer finns i markprofilen vilket ökar chansen för denitrifikation eller ofullständig denitrifikation.

## 2.5 Grödor

Odlingsförhållanden varierar över landet och påverkas av både temperatur och ljus. I norr är det kortare odlingsäsong eftersom våren kommer senare och hösten börjar tidigare jämfört med odlingsäsongen i de södra delarna av landet. Förhållandena mellan Svealands slättbygder skiljer sig även till viss del åt från Svealands skogsbygder. Dessa olika förhållanden gör att olika grödor passar bättre på olika platser. På Svealands slättbygder går det bland annat bra att odla raps (*Brassica napus*), vete (*Triticum aestivum*), havre (*Avena sativa*) och vall. Grödorna har olika optimala såtidpunkter, såväl som skördedatum och därmed även längden på växtsäsongen (tabell 2).

Tabell 2. Optimalt sådatum, skördedatum och längd på växtsäsong på Svealands slättbygder för höstraps, vårraps, höstvetete, vårvete och havre

	<b>Höstraps</b>	<b>Vårraps</b>	<b>Höstvetete</b>	<b>Vårvete</b>	<b>Havre</b>
<b>Sådatum</b>	10-aug	25-apr	15-sept	22-apr	24-apr
<b>Skördedatum</b>	6-aug	4-sept	7-aug	28-aug	22-aug
<b>Växtsäsong (dagar)</b>	325	132	362	128	120

(efter Mattson, 1990)

Vall kan odlas för att ta ut skörd, som grön gödslingsvall eller till bete. Oavsett syfte sås vällen ofta in i grödan som odlas året innan. Då etableras beståndet och har sedan ett väl utvecklat rotsystem till året efter och kan snabbt komma igång och växa på våren (Fogelfors, 2001). Om en höstgröda ska odlas efter vällen krävs ett ganska tidigt uppbrott av vällen på hösten. För att exempelvis höstraps ska kunna odlas efter vall, krävs att vällen bryts redan innan 10 augusti då höstrapsens optimala såtidpunkt inträffar, för att rapsen ska kunna etablera sig ordentligt innan vintern.

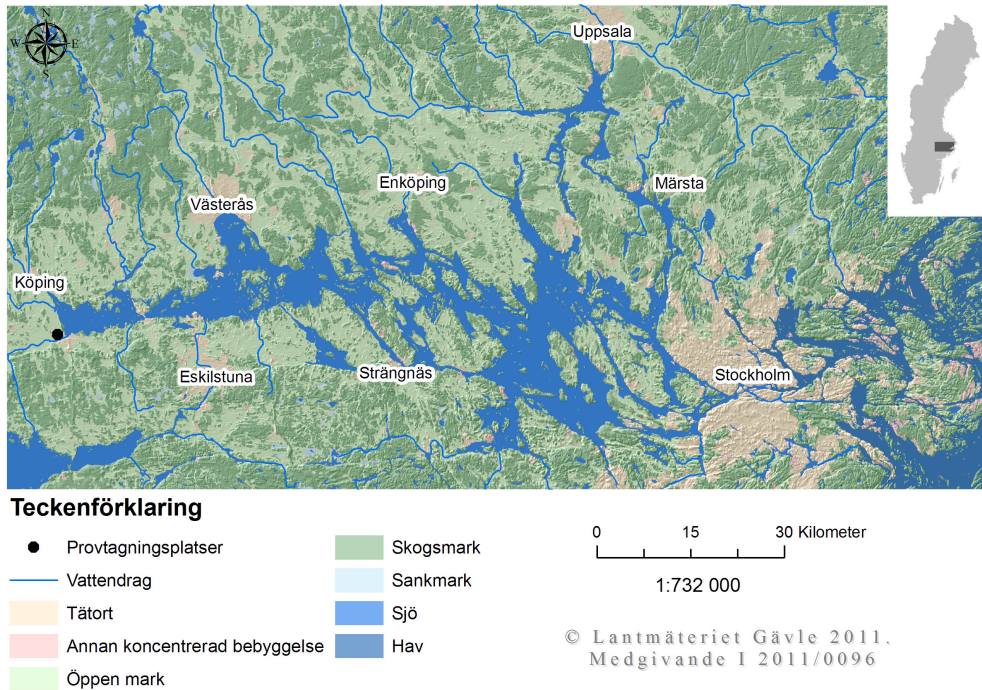
## 3 Material och Metod

I detta avsnitt ges en platsbeskrivning av den utvalda provplatsen, en kort beskrivning av jordprovtagningen och en beskrivning av modellen med detaljerad information om den indata som används.

### 3.1 Platsbeskrivning

Mälaren är Sveriges tredje största sjö med ett avrinningsområde som omfattar 20 600 km<sup>2</sup>, ca 5 % av Sveriges yta (Andreasson & Gustavsson 2010). Runt Mälaren råder ett tempererat klimat med stora årstidsvariationer. Dygnsmedeltemperaturen i luften är 6,5 °C och årsmedelnederbörden ca 540 mm (utifrån 1976-2005 data från Sveriges Meteorologiska och Hydrologiska Institut, SMHI, mätstationer i Västerås-Hässlö (Lat: 595976; Long: 166326) och Stockholm-Bromma (Lat: 593537; Long: 179513)). En provplats valdes ut, från Projekt Slussens föreslagna ”titthål” (Rangsjö 2010), för att representera de låglänta områdena runt Mälaren vilka kan tänkas påverkas av en ändrad reglering av vattennivån i sjön. Provplassen är en ekologiskt brukad jordbruksmark och ligger i ett jordbrukslandskap strax norr om Kungsör.





Figur 4. Geografiskt läge av provplats. © Lantmäteriet Gävle2011. Medgivande I 2011/0096--0100

### 3.2 Jordprovtagning

Jordprover togs den 8:e juni 2010. Proverna togs på olika nivåer i marken, 10-15, 30-35 och 70-75 cm djup. På samtliga nivåer togs sex cylinderprover. Cylindrarna som användes vid provtagningarna hade en diameter på 7,2 cm och en höjd på 5 cm. Tre cylindrar från respektive nivå användes för att mäta den vattenhållande förmågan i marken och resterande tre cylindrar användes för att mäta markens genomsläpplighet. Jordprov togs även på respektive nivå för att mäta markens kornstorleksfördelning, halt organsikt material, C/N-kvot, pH och skrymdensitet (tabell 3).

Tabell 3. Markegenskaper från provplats

<b>Jordlager</b>	<b>10-15 cm</b>	<b>30-35 cm</b>	<b>70-75 cm</b>
<i>Skrymdensitet (g/cm<sub>3</sub>)</i>	1,60	1,50	1,27
<i>C/N-kvot</i>	9,8	9,8	8,1
<i>Lerhalt (%)</i>	36	35	47
<i>Silt (%)</i>	37	39	45
<i>mark pH</i>	6,3	5,6	6,1
<i>Organsikt mtrl.(%)</i>	4	3	3
<i>Vol-% vatten vid 0,00 (m.vp.)</i>	41	44	53
<i>Vol-% vatten vid 0,05 (m.vp.)</i>	41	43	52
<i>Vol-% vatten vid 0,15 (m.vp.)</i>	40	43	51
<i>Vol-% vatten vid 0,3 (m.vp.)</i>	40	42	50
<i>Vol-% vatten vid 0,5 (m.vp.)</i>	39	41	49
<i>Vol-% vatten vid 1,0 (m.vp.)</i>	37	39	48
<i>Vol-% vatten vid 3,0 (m.vp.)</i>	35	37	46
<i>Vol-% vatten vid 6,0 (m.vp.)</i>	33	35	44
<i>Vol-% vatten vid 150 (m.vp.)</i>	21	19	25
<i>K<sub>s</sub> (cm/h)</i>	7,4	3,0	1,6

### 3.3 Drainmod 6.0

Modelleringsprogrammet Drainmod (Skaggs, 1978) användes för att uppskatta förändringar i volymer av dräneringsvatten och grundvattenfluktuationer med en ändrad reglering av vattennivån i Mälaren. Drainmod är ett modelleringsprogram som först utvecklades för att beräkna vattenbalansen i en markprofil mellan två dräneringsledningar på fältskala. I beräkningen av vattenbalansen ingår data för infiltration, dränering och evapotranspiration. Under åren har Drainmod vidareutvecklats och kan nu även analysera våtmarker, simulera hydrologi i mark med dålig dränering och höga grundvattennivåer, kväve- och salttransporter och simulera resultat av olika grundvattenreglerande system. Modellen kan också beräkna årlig

relativ skörd genom att beakta antal dagar under våt-, tork- och saltstress för grödan samt påverkan vid försening av sådd. Drainmod har också parametrar som gör att modellen kan användas vid kallare förhållanden, då tas även frysning-, upptining- och snösmältingskomponenter med i beräkningarna (Luo *et al.*, 2000). För att använda Drainmod krävs en rad olika indata för aktuell plats, rörande bland annat klimat, topografi, växtföljd, dräneringssystem och jordegenskaper (Skaggs, 1980).

### 3.4 Indata till DRAINMOD 6.0

#### 3.4.1 Klimat

Tre olika klimatvariabler behövs i modellen: nederbörd, temperatur och evapotranspiration. All rådata som använts är uppmätt vid SMHIs mätstationer Västerås-Hässlö och Stockholm-Bromma under en 30-årsperiod mellan åren 1976 – 2005. För att beräkna potentiell evapotranspiration ( $ET_o$ ) (mm/dygn) från ett fält används en hypotetisk gröda som antas vara 12 cm hög, täcka hela marken och få obegränsat med vatten samt ha ett klyvöppningsmotstånd på 70 s/m och ett albedo på 0,23. Formeln som används för beräkning av evapotranspiration är FAO Penman-Monteith kombinerade ekvation (Allen *et al.*, 1990), enligt ekvation 3

$$ET_o = \frac{\left(0,408\Delta(R_n - G) + \gamma\left(\frac{900}{T} + 273\right)U_2(e_s - e_a)\right)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34U_2)} \quad (\text{ekv. 3})$$

där  $\Delta$  är ångtryckskurvan som beror av lufttemperatur och mätnadsångtryck.  $\gamma$  är den psykrometriska konstanten som beror av det partiella vattentrycket vid en viss temperatur.  $e_a$  och  $e_s$  är det faktiska och det mättade vattenångtrycket.  $U_2$  är dygnsmedel för vindhastighet och  $T$  dygnsmedeltemperatur vilka tas som rådata från mätstationen.  $R_n$  står för nettostrålning som är skillnaden mellan inkommande kortvågig strålning och avgående långvågig strålning. Värmestrålning från jordytan,  $G$ , har antagits vara försumbar. 0,34 och 0,408 är korrelationskoefficienter och 900 en omvandlingsfaktor.

Data till filerna för nederbörd och temperatur är rådata från SMHI. Dygnstemperaturen används även för att veta om nederbörden kommer som regn eller snö. Vid temperaturer under 0 °C antas 90 % av nederbörden komma som snö. Snön

beräknas ackumulera på marken till dess att temperaturen stiger över 2 °C. Då beräknas snösmältningen i relation till dagstemperaturen, temperaturgränsen för snösmältning (> 2 °C) och en snösmältningskoefficient (Luo *et al.* 2000). När snö täcker marken omräknas markens temperatur. Snösmältningens vatten räknas som daglig nederbörd vilken antingen infiltrerar marken eller förs bort genom ytavrinning beroende på markens mättnadsgrad eller om den fortfarande är frusen.

### 3.4.2 Markegenskaper

I modellen användes data för undertryck vid 0,0; 0,05; 0,15; 0,3; 0,5; 1,0; 3,0; 6,0 respektive 150,0 meter vattenpelare (m.vp.). Värdena vid 150 m. vp. representerar vissningsgränsen i modellen.

Mättad hydraulisk konduktivitet,  $K_s$ , är ett mått på hur mycket vatten en mättad jord kan leda per tidsenhet. Det ger indirekt ett mått på hur stora porer som finns i jorden. Graden av infiltration beräknas i modellen genom ”Green och Ampt infiltrationsekvation” (Skaggs 1980). Markvattnets kapillära stigningsförmåga i förhållande till grundvattennivån beräknas av modellen med hjälp av data för; vattenhållande förmåga och mättad hydraulisk konduktivitet (tabell 3). Detsamma gäller för den omättade hydrauliska konduktiviteten som beräknas av modellen enligt Millington och Quirks (1961) metod.

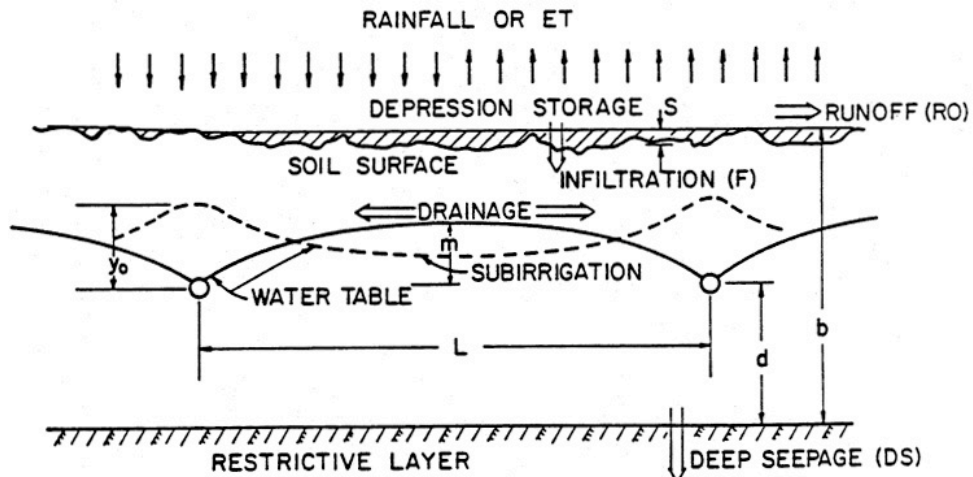
DRAINMOD har två jordbearbetningsperioder. En period för höstbruk och en period för vårbruk. För varje period bestäms ett startdatum (månad och dag) och ett slutdatum för att kunna beräkna antal möjliga arbetsdagar. Starttid och sluttid på dagen sätts även in för att få antal möjliga arbetstimmar. Tidsperiod för vårbruk är satt att vara mellan 10 mars och 10 juni. En arbetsdag antas pågå mellan 07.00 och 18.00 för båda perioderna. En arbetsdag definieras i modellen som när luftvolymen i marken är bärande dvs. minsta volym luft som krävs för bärighet i marken. Det värde som användes i modellen var 4,1 volym%<sup>1</sup>.

### 3.4.3 Hydrologiska parametrar

Vattenbalansen i DRAINMOD bygger på flöden presenterade i figur 5, som schematiskt beskriver vattnets väg i en mark med dräneringssystem. Modellen kan simulera konventionell dränering, underbevattning eller reglerbar dränering.

---

<sup>1</sup> Värde som användes för minsta volym luft som krävs i marken för bärighet är något under det medelvärde för luftvolymen vid 1 m. vp. (4,67vol%) som normalt används som värde för bärighet.



Figur 5. Schematisk bild av vattenbalansen i jordbruksmark (Skaggs 1980).

Mängden vatten som dräneras från en markprofil beror av markens hydrauliska konduktivitet, vid vilket djup dräneringsrören ligger, hur stort avståndet är mellan rören, markprofilens effektiva djup och vid vilket djup grundvattennivån ligger.

I modellen krävs data om dräneringssystemens djup från markytan, avstånden mellan rören, den effektiva radien på rören, avstånd från markyta till ogenomträngligt lager, avstånd från dräneringsrör till ogenomträngligt lager, dräneringskoefficient (funktion av rördiameter och lutning på rören), ursprunglig grundvattennivå och eventuell maximal pumpkapacitet. Provpplatsen ligger på en höjd av + 3,75 m i Mälarens höjdsystem. För att se tydligare variationer mellan regleringsalternativen anges, i modellen, att provplatsen ligger +1.0 m ovan Mälarens vattennivå. Då modelleras grundvattennivån högre upp i markprofilen och antas ha större påverkan på vattenbalansen i marken. På provplatsen finns dräneringsrör som ligger med mer än 100 meters mellanrum (Rangsjö, personlig kontakt, 2010-10-20), därför har 100 meter används som avstånd i modellen och djupet för dräneringsrören ligger på en meter. För att kunna jämföra de två olika regleringsalternativen används funktionen för reglerbar dränering i modellen. Ett dämningdjup sätts in för varje månad. I simuleringen används de skillnader i vattenståndet som finns mellan årstiderna till dämningdjup. En meter är ursprungsdjupet och sedan används skillnaderna mellan årstiderna i centimeter för respektive månad.

Mark-vatten-is-systemet beskrivs genom markens vatten- och värme flöde i Luo *et al.* (2000). När temperaturen sjunker under fryspunkten så beräknar modellen medelhalten is i markprofilen och modifierar därefter markens hydrauliska konduktivitet och infiltrationshastighet (Luo *et al.* 2000). Data används från luftens max och min temperatur samt markvattenhalten och fördelningen mellan markpar-

tikelstorlekar (tabell 2). Markvattenhalten påverkar marktemperaturen i hög grad genom vattens kapacitet att hålla och leda värme.

Tabell 4. Indata till hydrologiska parametrar för marktemperatur och uppskattning av snö

Hydrologiska parametrar <sup>a</sup>	Använt värde
Koefficienter för värmekonduktivitet (W/m °C)	a=0,552; b=2,372
Daglig fasförskjutning (h)	8
Temperatur vid dämpningsdjup (°C)	7,6
Gränstemperatur för nederbörd som snö (°C)	<0
Temperatur för snösmältning (°C)	>2
Snösmältningkoefficient (mm/dygn*grad)	4,0
Kritisk andel fruset vatten (vid högre värde stoppas infiltration) (cm <sup>3</sup> / cm <sup>3</sup> )	0,2

<sup>a</sup>Salazar *et al.* 2009, beräknat enligt Lou *et al.* 2000 .

#### 3.4.4 Grödor

Modellen beräknar en relativ skörd för respektive gröda. Om sådd sker efter optimal såtidpunkt finns reducerande faktorer i modellen (Youssef, 2005). För att få med effekter av olika kombinationer av stress på grödan beräknas en relativ skörd. Den relativa skörden blir då skillnaden mellan den faktiska skörden och den potentiella skörden om mark-vatten-förhållandena inte är reducerande. SEW30 är en parameter som beräknar den totala mängden växttillgängligt vatten ner till 30 cm (Skaggs 1980). Den ger en uppskattning av tillgängligt vatten under växtsäsongen. En grundvattennivå under 30 cm djup antas inte ge någon stress på grödan på grund av blöta förhållanden (Skaggs 1980). När grundvattennivån stiger över 30 cm beräknas stress på grödan dels efter antalet dagar som grödan är under stress, och för vilken nivå grundvattennivån ligger på. Desto högre grundvattennivån är desto större antas stressen på grödan vara. Torkstress uppstår när den aktuella evaptranspirationen är mindre än den potentiella. För att kunna förutspå den slutliga skörden utifrån påverkan vid perioder med överskottsvatten eller torkperioder används ett ”stress dag index” (SDI) i modellen. SDI beräknas utifrån en ”stress dag faktor” (SD) som är en bedömning av intensitet och hur lång period av stress grödan utsätts för. Grödans känslighet för tork- eller överskottsstress uppskattas i grödkänslighetsfaktorn (CS), där grödans känslighet i olika utvecklingsstadier beräknas (Evans *et al.* 1991). Torr- och våtperioder som kan uppstå och påverka skörden antas vara mellan 10 april och 15 oktober.

De grödor som enligt uppgift från odlaren, odlas på platsen är höstraps (*Brassica napus*), höstvetete (*Triticum aestivum*), havre (*Avena sativa*) och därefter en

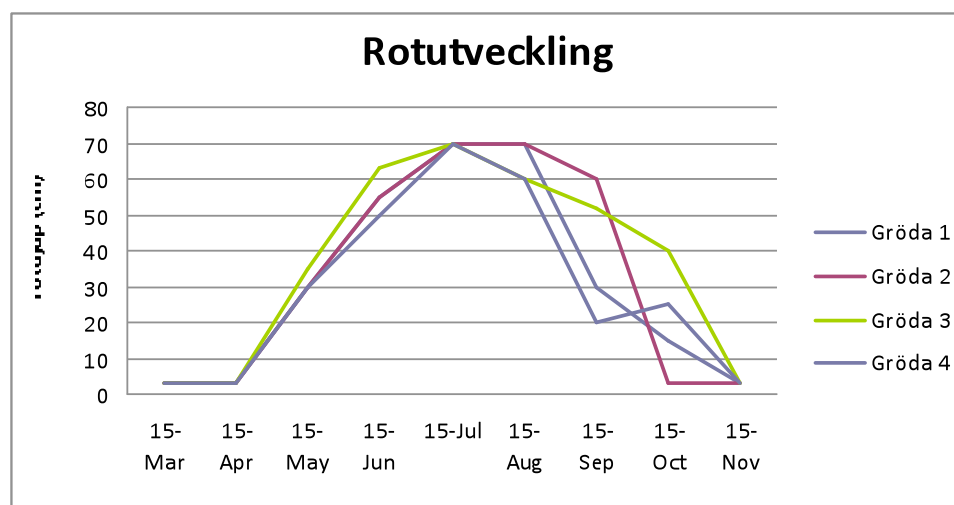
ettårig grüngödslingsvall. I modellen simulerades fiktiva vårsådda grödor i en växtföljd enligt nummerordning (tabell 5), där med har inget höstbruk beaktats i studien.

Tabell 5. Indata för respektive gröda

Grödor	Gröda 1	Gröda 2	Gröda 3	Gröda 4
<b>Gröddata</b>				
Maximalt effektivt rot-djup (cm)	70	70	70	70
Inställt sådatum	15-apr	24-apr	15-apr	15-apr
Växstsäsong (dagar)	110	110	105	110

De faktiska värdena som sedan användes i modellen efter korrigerig av påverkan av yttre faktorer visas i Appendix 2.

Rotdata har uppskattats utifrån ”Växtodlarens NÄR, VAD, HUR” 2001 där höst-vete, havre, vall och höstraps, har fått representera rot djupen för gröda 1, 2, 3 respektive 4 i nämnd ordning (figur 6).



Figur 6. Indata för grödornas rotutveckling under växstsäsongen.

## 4 Resultat & Diskussion

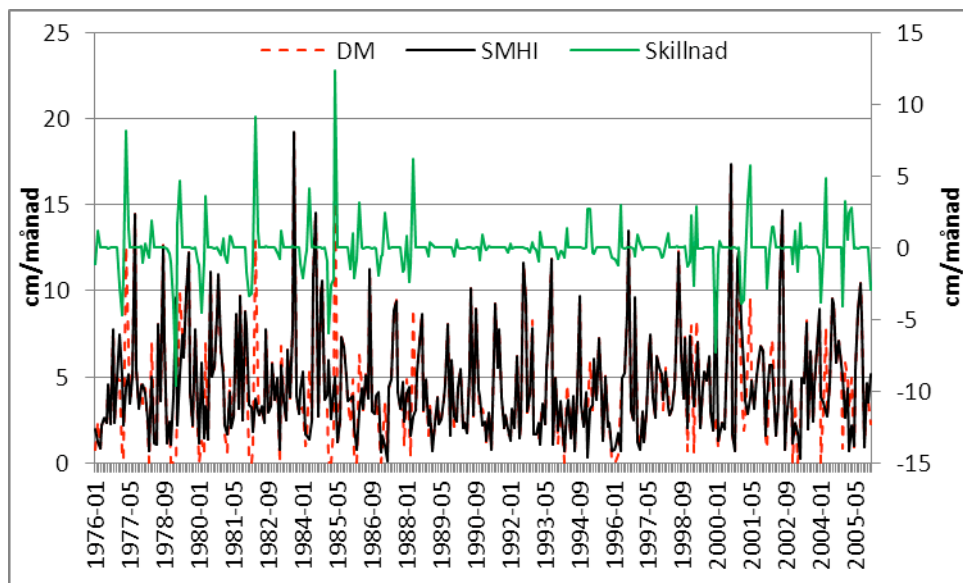
I detta avsnitt presenteras och diskuteras resultaten från modelleringen i DRAIN-MOD för hydrologi och grödor, samt hur kväveläckaget kan påverkas utifrån dessa resultat.

### 4.1 Hydrologi

#### 4.1.1 Nederbörd

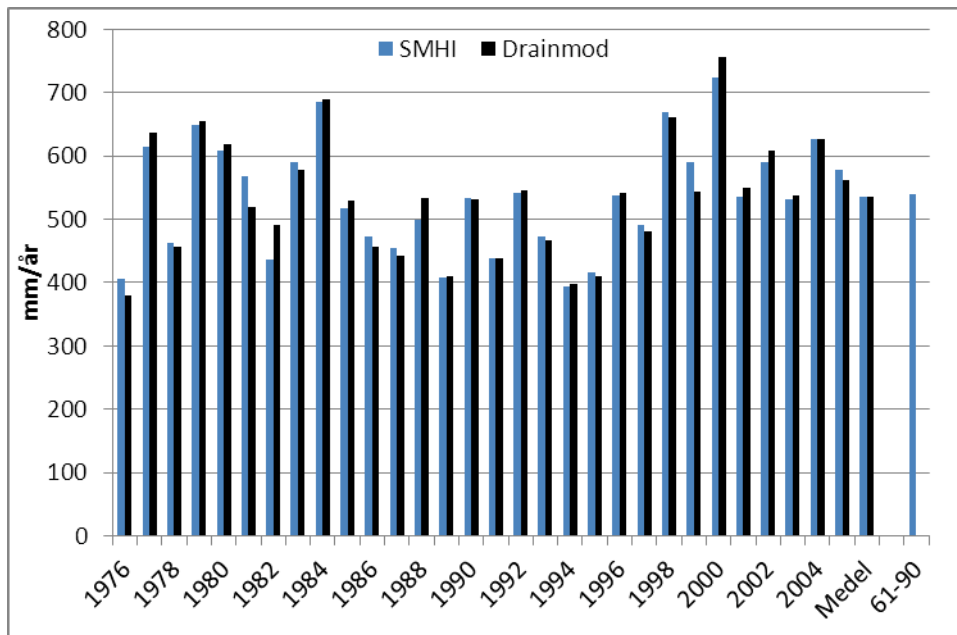
I figur 7 presenteras den nederbördsdata från SMHI som fördes in i modellen och den nederbörd som simulerades i modellen enligt utdata från resultaten av modelleringen och hur de skiljer sig åt. Det är främst under månaderna november till april som nederbördsmängderna skiljer sig åt. Det blir generellt lägre värden i simuleringsdatan under vintermånaderna och högre värden i april. En svag trend kan urskiljas med något lägre nederbörd under perioden 1986-1996. En mer detaljerad bild av hur nederbörden skiljer sig åt mellan simuleringsdata och indata från SMHI visas för en kortare period i figur 9 och i Appendix 1 tydliggörs vid vilka tillfällen skillnaderna är större än 10 mm/månad.





Figur 7. Månadsnederbörd för perioden 1976-2005, indata från SMHI och utdata från Drainmod och skillnaden mellan dem.

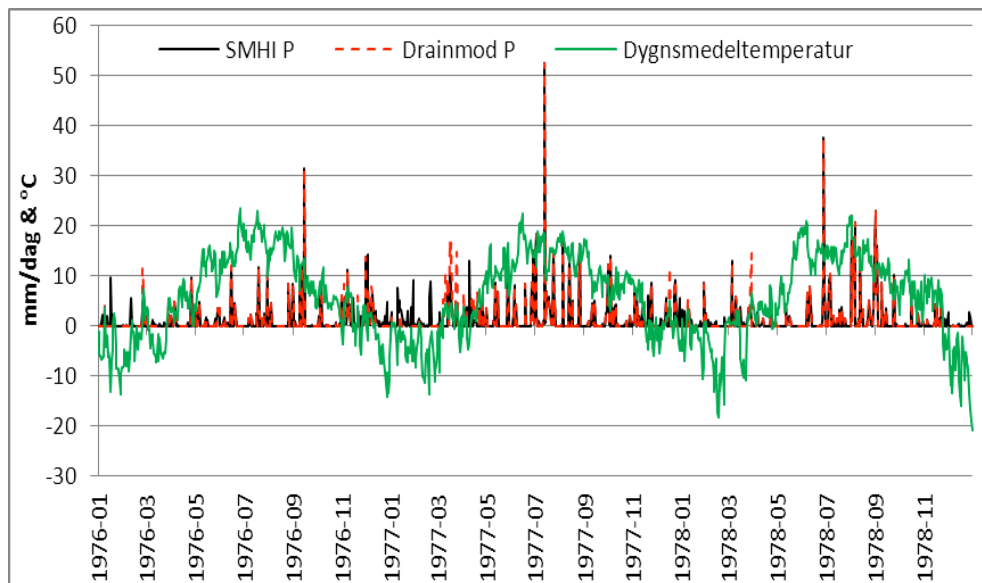
I figur 8 presenteras årsnederbörden från indata (SMHI) och utdata (Drainmod). En trend syns mellan åren 1986-1996 då nederbörden är lägre eller ungefär lika med medelvärdet. Under 14 år är nederbörden högre i utdatan och under 13 år är den högre i indatan. Samtliga årsmedelnederbörder ligger under årsmedelnederbörden på 540 mm/år för perioden 1961 – 1990, med det lägsta värdet 1994 på 398 mm (figur 8). Eftersom nederbörden i in- och utdata inte stämmer överens skiljer sig förmodligen även den simulerade avrinningen avsevärt åt från den verkliga, dels volymmässigt men också tidpunkter för avrinning kan skilja.



Figur 8. Årsnederbörden från indata (SMHI) och utdata (Drainmod) för år 1976-2005 i mm och ett medelvärde för hela perioden samt ett medelvärde för perioden 1961-1990.

I figur 9 presenteras nederbörden från den indata som kommer från SMHI och den nederbördsdata som finns i Drainmods utdata samt dygnsmedeltemperaturen för perioden 1976-1978. I figuren presenteras skillnaderna i nederbörd, vilka främst uppstår vid perioder med kallare medeltemperaturer (från +10 och lägre). Övrig tid följer nederbördsmängderna varandra relativt jämnt. Dessa skillnader tyder på att temperaturen påverkar hur modellen simulerar nederbörden. Eventuellt beräknar modellen nederbörd vid låga temperaturer på ett annorlunda sätt vilket gör att dessa fel uppstår. Det kan bero på att nederbörden kan komma som snö vid flera tillfällen under dessa perioder. Generellt skjuts nederbörden upp och kommer i större mängder under nästkommande månad/er. Ett exempel är 1977, i januari-mars är nederbördsmängderna i mm från SMHI 51,0; 21,6 och 44,4 medan de i utdata från Drainmod är 4,3; 1,8 och 126,2. Därefter jämnar volymerna ut sig och är ungefär samma fram till november samma år då volymen i Drainmod minskar igen. Till viss del kan förskjutning av nederbörd bero på att den anges i mm/dygn och modellen sedan räknar om nederbörden och fördelar den på ett antal timmar över ett dygn. I denna simulering angavs 15. 00 till starttid för nederbörd och 21. 00 som sluttid. Denna faktor borde inte påverka utfallet men om så ändå är fallet

borde det endast kunna ge förskjutningar mellan dagar, inte ge stora skillnader mellan månader.



Figur 9. Nederbörden i utdata från Drainmod och nederbörden i indatan från SMHI i relation till dygnsmedeltemperaturen under perioden 1976-1978.

I appendix 1 presenteras de månadsvärden där värdena mellan simulerat värde och SMHIs värde skiljer sig åt med mer än 1 cm. Detta förekommer 70 månader av 360. Skillnaderna förekommer endast under månaderna november-april. Generellt är det lägre simulerade värden under månaderna november-februari än från SMHI och sedan högre simulerade värden mars och april. Undantag uppstår vid 10 tillfällen februari 1976, mars och december 1985, januari-mars 1995, januari 1999, februari 2002, januari 2003, december 2004 och februari 2005.

Tabell 6 presenteras de maxvärden som är större än 10 cm per månad. Värdena kan jämföras mellan de simulerade värdena i modellen och de värden som fördes in i modellen uppmätta på SMHIs mätstationer i Västerås-Hässlö och Stockholm-Bromma. 16 av de 24 maxvärdena inträffar under sommarmånaderna juni, juli och augusti. Det högsta värdet är i september 1983 på 19,19cm, det kan jämföras med det maxvärde som är uppmätt på Hallstabergets mätstation (Lat. 6615310 och Long. 1555880) också i september 1983 som är 21,18cm.

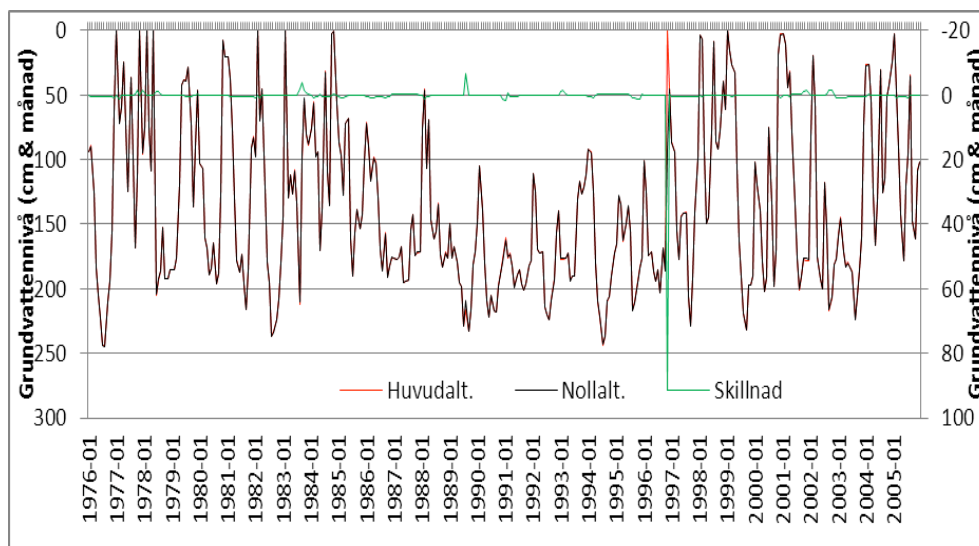
Tabell 6. Maxvärden för nederbörds mängder per månad över 10 cm som simulerades i modellen, samt SMHIs uppmätta värden och skillnaden mellan dem

År & månad	Drainmod (cm)	SMHI (cm)	Skillnad (cm)
1977-03	12,62	4,44	8,18
1977-07	14,44	14,46	-0,02
1978-08	12,65	12,62	0,03
1979-08	12,22	12,24	-0,02
1980-06	11,1	11,11	-0,01
1980-10	10,83	10,99	-0,16
1982-03	12,87	3,72	9,15
1983-09	19,19	19,19	0
1984-06	10,91	10,84	0,07
1984-07	14,55	14,50	0,05
1984-10	10,57	10,60	-0,03
1985-04	17,30	4,98	12,32
1986-08	11,21	11,22	-0,01
1990-07	10,15	10,12	0,03
1992-07	11,60	11,62	-0,02
1993-08	11,87	11,87	0
1996-08	13,46	13,46	0
1998-07	12,27	12,22	0,05
2000-07	17,30	17,34	-0,04
2000-10	11,81	11,85	-0,04
2000-11	12,27	12,27	0
2002-06	10,28	10,29	-0,01
2002-07	14,59	14,68	-0,09
2005-07	10,44	10,46	-0,02

#### 4.1.2 Grundvattennivå

I figur 10 presenteras grundvattennivån, enligt de simulerade förhållandena, för de två olika regleringsalternativen. En sekundär axel har lagts till för att förtydliga var skillnaderna för de olika regleringsalternativen finns. Vid positiva värden i den sekundära axeln ligger grundvattennivån på ett större djup för nollalternativet och vid negativa värden ligger grundvattennivån på ett större djup för huvudalternativet. Grundvattennivåerna för de två olika regleringsalternativen följer varandra relativt jämnt över perioden med något fler tillfällen med djupare grundvattennivåer för huvudalternativet. En trend syns mellan åren 1986-1996 då grundvattennivån överlag är lägre för båda alternativen. Den låga grundvattennivån mellan

1986-1996 och de stora fluktuationerna av grundvattennivån tyder på att jorden på den här platsen är mycket genomsläpplig och kan leda vatten snabbt, vilket stämmer överens med jordens värden för mättad hydraulisk konduktivitet som ligger mellan 1,6-7,4 cm/h. Riktvärde för god genomsläpplighet i en jordbruksmark är 3-4 cm/h (Arvidsson & Nordström, 1999). Det finns en tendens till lägre nederbördsmängder under perioden 1986-1996 (figur 7 & 8), vilket kan påverka grundvattennivån så att den blir lägre.



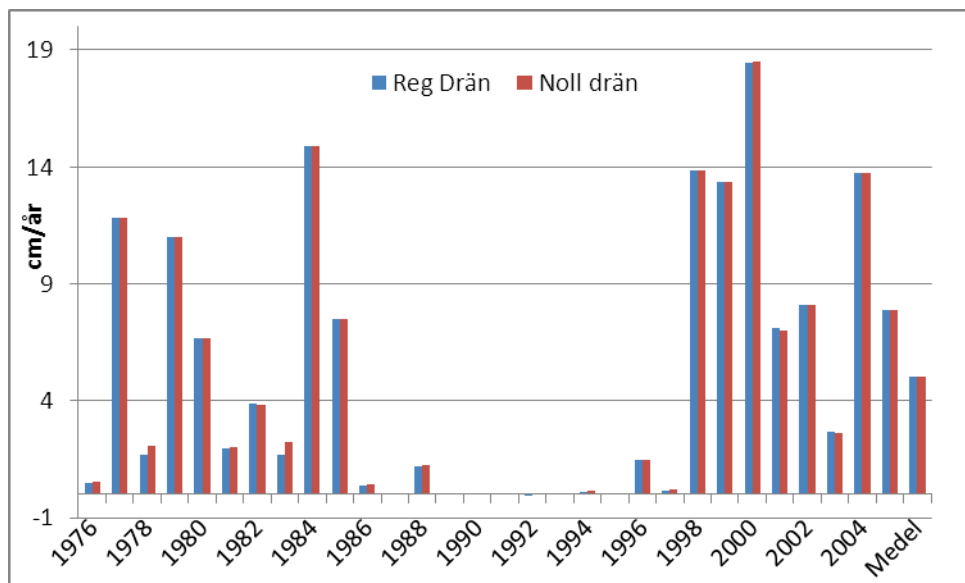
Figur 10. Simulerad månatlig grundvattennivå för perioden 1976-2005 för de två regleringsalternativen och skillnaden mellan dem.

#### 4.1.3 Avrinning genom mark

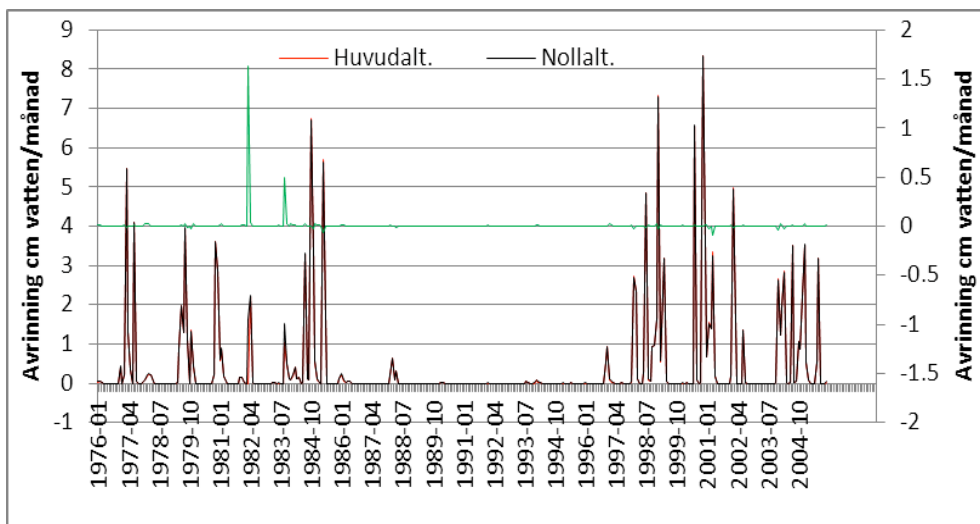
I figur 11 presenteras avrinningsvolymen genom mark per månad, enligt de simulerade förhållandena, för de två olika regleringsalternativen. En sekundär axel har lagts till för att förtydliga var skillnader uppstår mellan de olika regleringsalternativen. Vid positiva värden avrinner en större vattenvolym från nollalternativet och vid negativa värden avrinner en större volym vid huvudalternativet. Avrinningen för de två olika regleringsalternativen följer varandra relativt jämnt, med två större höglöden från nollalternativet under 1982 och 1983. En tydlig trend syns mellan åren 1985-1996 då avrinningen är väldigt låg för båda alternativen. Generellt är de simulerade avrinningsvolymerna låga. I Kyllmar & Johnsson (1999) presenteras ett medelavrinningsvärde på 13,8 cm/år för mätningar gjorda på jordar med mellanlera i Svealands slättbygder 1961-1990 med en årsmedelnederbörd på 541 mm, vilket är runt de maxvärdena för årsavrinning som simulerades fram i denna under-

sökning (figur 11). De extremt låga avrinningsvolymerna under perioden 1986-1996 beror på den mycket låga grundvattennivån som råder under den perioden.

Den simulerade avrinningen under januari – mars 1977 följer ett traditionellt avrinningsflöde, avrinningsvolymerna per månad för januari – mars är 0 cm, 0,22 cm respektive 5,5 cm för huvudalternativet och 0 cm, 0,21 och 5,5 cm för nollalternativet. Dessa avrinningsvolymerna korrelerar väl med nederbörds-mängderna under samma månader. Den höga toppen på våren 1977 (figur 12) följer det traditionella avrinningsflödet som har en topp på våren när marken tinar och vatten återigen har möjlighet att infiltrera och perkolera i marken (Grip & Rodhe 1985). Avrinning sker genom dränering när grundvattenytan stiger upp till, eller över, nivån som dräneringsrören ligger på. Eftersom dräneringsrören ligger med ett så pass stort avstånd mellan varandra (>100 m) antas dessa inte påverka markens ledningsförmåga i så stor omfattning. Därför kan det antas att mängden dränerat vatten till stor del beror av markens ledningsförmåga. Eftersom relativt stora nederbörds-mängder uppstår vissa månader under de simulerade förhållandena jämfört med vad som finns i SMHI's nederbördsdata och vice versa, kan det vid dessa tillfällen antas att utlakningen är mindre respektive större i verkligheten eller mer utspridd över tid. Eftersom avrinning till stor del påverkas av nederbörden gör dessa skillnader det svårt att lita på de resultat som modellen ger. Då en lägre nederbörd simuleras på vintern och en större på våren än i verkligheten, kan det generellt ge lägre avrinningsvolymerna under vintern och sen högre under de månader när modellen simulerar större nederbörds-mängder. I figur 11 ses en tendens till högre avrinning för nollalternativet vilket skulle kunna bero på att det alternativet har en högre regleringsnivå på vintern. En högre nivå kan ge upphov till större läckage under denna period under förutsättning att det inte är tjäle i marken. På våren simuleras det betydligt större nederbörds-mängder än i verkligheten, detta kan innebära att avrinningen då ökar för båda alternativen och att regleringsnivån har mindre betydelse när mycket nederbörd rinner genom profilen. Skillnaderna mellan alternativen skulle därmed bli mindre mellan alternativen på våren då de största avrinningsvolymerna kommer. Därför kan den högre grundvattennivån för nollalternativet på vintern, ge större utslag och orsaka den något högre årsavrinningen från nollalternativet.



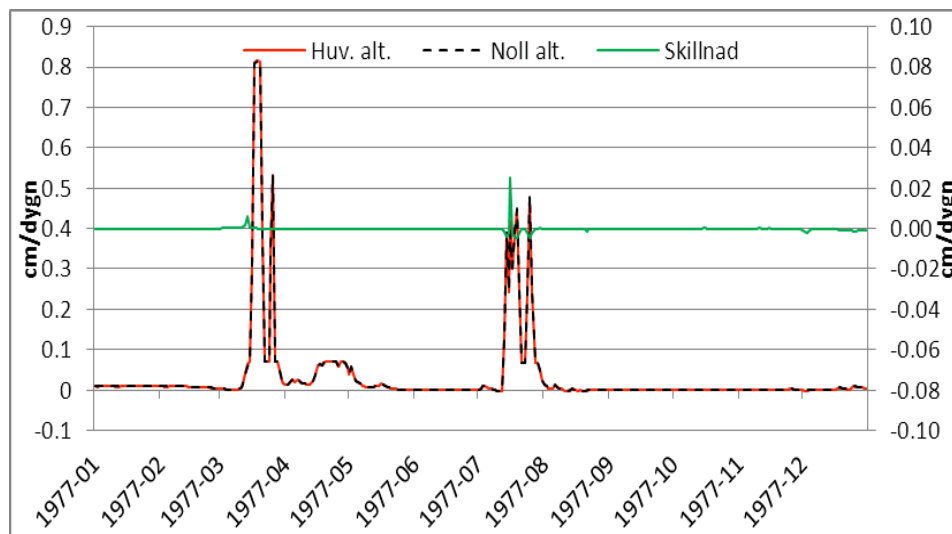
Figur 11. Volym dränerat vatten (cm) per år för respektive regleringsalternativ.



Figur 12. Simulerad månatlig avrinning för perioden 1976-2005 för de två regleringsalternativen och skillnaden mellan dem.

För att förtydliga och kunna jämföra den simulerade avrinningen med nederbördsmängder under ett år presenteras i figur 13 avrinningsvolym per dygn under 1977, med två tydliga toppar i mars och juli/augusti, som kan jämföras med höga nederbördsmängder under samma period (figur 9). I den sekundära axeln presenteras skillnader mellan de två alternativen. Vid positiva värden sker en stör-

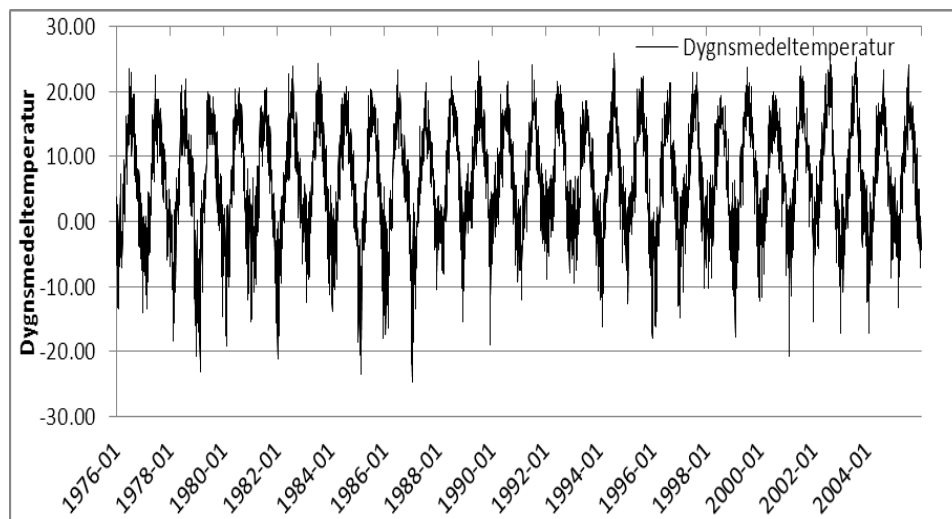
re avrinning från huvudalternativet och vid negativa värden sker en större avrinning vid noll alternativet.



Figur 13. Avrinningsvolym per dygn 1977 för de två regleringsalternativen och skillnaden mellan dem.

#### 4.1.4 Temperatur

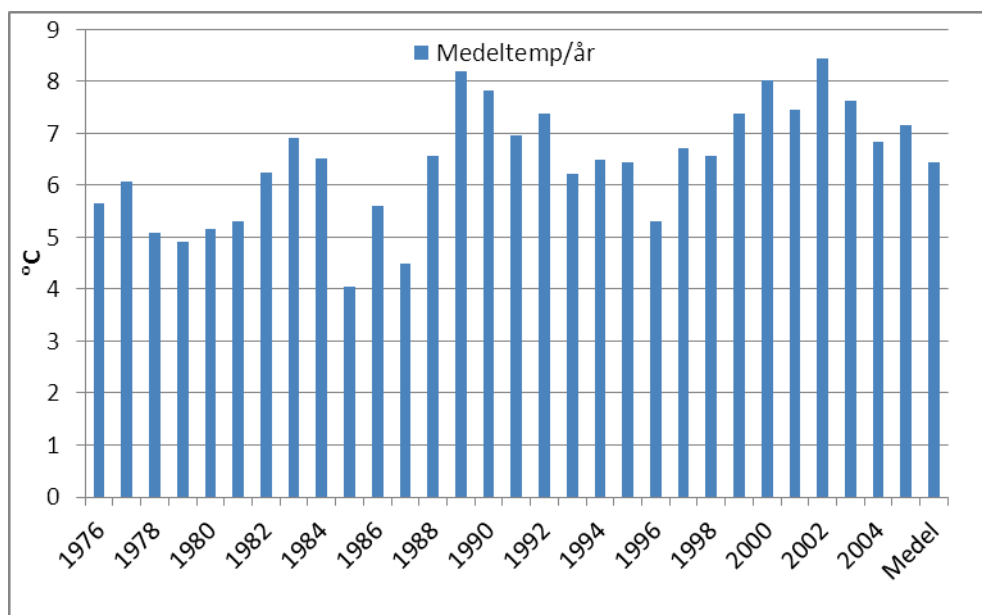
I figur 14 presenteras dygnsmedeltemperaturens fluktuationer mellan cirka +25 °C till -25 °C under perioden 1976-2005.



Figur 14. Dygnsmedeltemperatur för perioden 1976-2005.

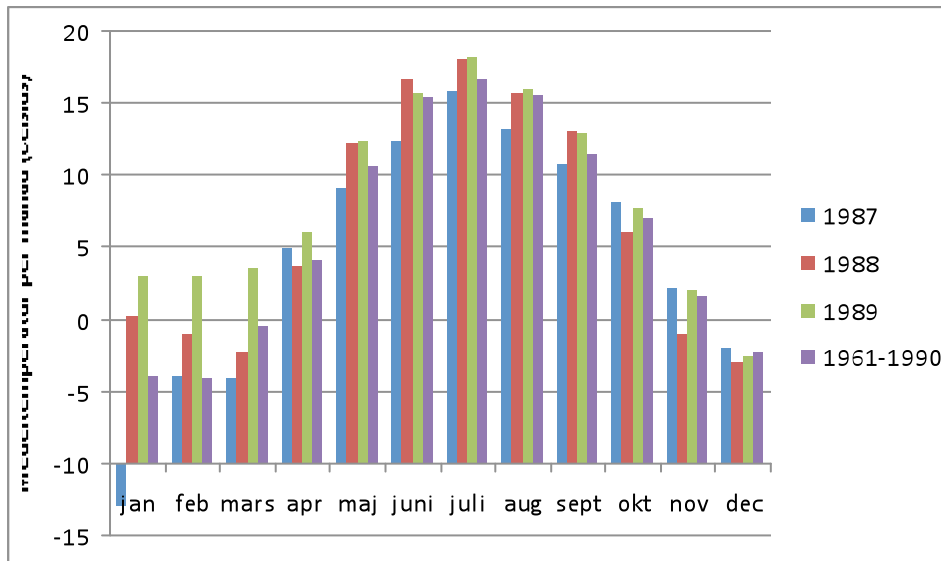


I figur 15 presenteras årsmedeltemperaturer för perioden 1976 - 2005. Två perioder med högre medeltemperatur syns, varav den ena infaller under samma period då avrinningsvolymerna är extremt låga (1986-1996). Detta kan tyda på att en större evapotranspiration sker under dessa år och därmed finns mindre mängd vatten kvar i marken vilket annars eventuellt skulle kunna dräneras. Från medeltemperatur per år är det dock svårt att dra slutsatser eftersom värdet inte berättar under vilka perioder det varit varmt eller kallt, om det varit extremt höga eller låga temperaturer eller jämnare temperaturer över året med mindre fluktuationer.



Figur 15. Medeltemperatur (°C) per år.

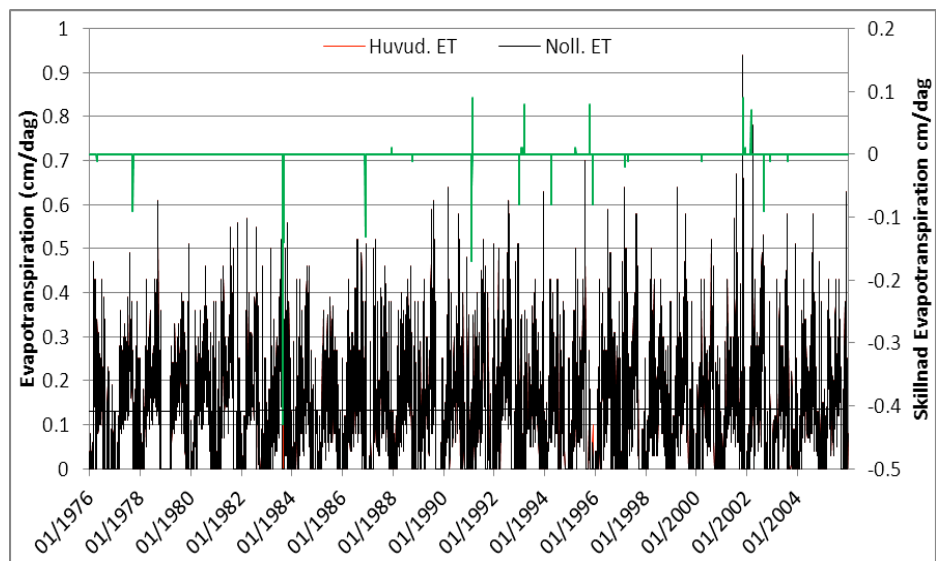
För att tydligare kunna se perioder med höga alternativt låga temperaturer under perioden 1986-1996 valdes tre år ut slumpmässigt (1987-1989) och presenteras i figur 16 där även medeltemperaturen per månad för perioden 1961-1990 från samma mätstation, Västerås-Hässlö, presenteras. Dessa tre år, som har väldigt låg avrinning, visar inga extremt höga temperaturer på sommaren eller extremt låga temperaturer på vintern, vilket annars skulle kunna varit orsak till den låga avrinningen under dessa år.



Figur 16. Medeltemperatur per månad 1987-1989 samt för perioden 1961-1990 vid mätstationen Västerås-Hässlö.

#### 4.1.5 Evapotranspiration

I figur 17 presenteras dygnsvärden för aktuell simulerad evapotranspiration under perioden 1976-2005. För att förtydliga skillnaderna mellan de två regleringsalternativen har en sekundär axel lagts till. Vid positiva värden på den sekundära axeln sker en högre aktuell simulerad evapotranspiration från nollalternativet och vid negativa värden, en högre aktuell simulerad evapotranspiration från huvudalternativet. Skillnader uppstår sporadiskt åt båda hållen under tidsperioden. Den aktuella simulerade evapotranspirationen är generellt jämn över perioden, vilket skiljer sig från grundvattennivåerna, nederbörds mängderna och dräneringsvolymerna som har en period med lägre värden mellan 1986-1996. Eftersom den aktuella simulerade evapotranspirationen är relativt jämn under hela perioden och medeltemperaturen under 1986-1996 är något högre än medeltemperaturen för hela perioden (figur 14 & 15), kan det antas att den nederbörd som kommer mellan 1986-1996, i högre grad avdunstar.



Figur 17. Simulerad evapotranspiration per dag under perioden 1976-2005 för de två regleringsalternativen och skillnaden mellan dem.

## 4.2 Grödor

I Appendix 2 presenteras de faktiska data för de fiktiva grödorna som modellen använde i simuleringen efter anpassning av yttre faktorer.

År 1984, 2000 och 2004 påverkades skörden för gröda 1 negativt av för höga vattenhalter i marken, efter de simulerade förhållandena, vilket hindrar grödans utveckling och därmed den slutliga skörden (tabell 7). Måttet av påverkan skiljer sig något åt mellan de olika regleringarna under år 1984 med något större negativ påverkan för nollalternativet. Under år 2000 påverkades gröda 1 även av torra någon gång under växtsäsongen vilket bidrar till negativ påverkan på den slutliga skörden, vilket även gäller år 1976. Eftersom gröda 1 sås på våren 15 april (inlagt värde) och sedan har en relativt kort växtperiod (tabell 5), kan grödan inte jämföras helt med en vårsådd gröda som ofta har en något längre växtsäsong (se 3.4.4), framförallt ett senare skördedatum.

Tabell 7. Den relativa skörden för gröda 1, med påverkan från respektive stressfaktor.

	Nollalt.			Genom- snitt	Huvudalt.			Genom- snitt
	Gröda 1	RELATIV SKÖRD (%)	Försening sådd		Gröda 1	RELATIV SKÖRD (%)	Försening sådd	
	Över- skotts- vatten	Torka	Försening sådd		Överskotts- vatten	Torka	Försening sådd	
<b>1976</b>	100	80.3	100	<b>80.3</b>	100	80.3	100	<b>80.3</b>
<b>1980</b>	100	100	100	<b>100</b>	100	100	100	<b>100</b>
<b>1984</b>	<b>59.4</b>	100	100	<b>59.4</b>	<b>58.5</b>	100	100	<b>58.5</b>
<b>1988</b>	100	100	100	<b>100</b>	100	100	100	<b>100</b>
<b>1992</b>	100	100	100	<b>100</b>	100	100	100	<b>100</b>
<b>1996</b>	100	100	100	<b>100</b>	100	100	100	<b>100</b>
<b>2000</b>	78.6	99.8	100	<b>78.4</b>	78.6	99.8	100	<b>78.4</b>
<b>2004</b>	51.5	100	100	<b>51.5</b>	51.5	100	100	<b>51.5</b>

Enligt de simulerade förhållandena såddes gröda 2 väldigt sent 1977 (Appendix 2) vilket resulterar i att ingen skörd kan tas ut (tabell 8). Försening av sådd påverkar även skörden negativt 2001. År 1985 och 2005 påverkade ett överskott av vatten någon gång under växtsäsongen den slutliga skörden negativt. Måttet av påverkan skiljer sig mellan de olika regleringarna under år 2005 med något större negativ påverkan under nollalternativet. Under åren 1989 och 1993 påverkades den slutliga skörden negativt på grund av torka under växtsäsongen. Resultaten för den relativa skörden för gröda 2 under de olika regleringsalternativen skiljer sig endast under en växtsäsong och med mindre än en procentenhet. Påverkan mellan de båda regleringarna skiljer sig där med inte åt särskilt mycket. Den skillnad som finns är försening av sådd på grund av överskottsvatten, vilket påverkas av den högre regleringsnivån på våren i huvudalternativet. Gröda 2 har en något kortare växtsäsong (tabell 5) än en vårgröda i detta geografiska område, exempelvis har havre 120 dagar, men sådatumet stämmer överens med havre och växtsäsongen är endast 10 dagar kortare än vad som är optimalt. Därmed skulle gröda 2 kunna representera hur havre kan påverkas av en ändrad reglering av Mälaren, men påverkan under de sista 10 dagarna av växtsäsongen tas ej med i simuleringen.

Tabell 8. Den relativa skörden för gröda 2, med påverkan från respektive stressfaktor.

	Nollalt.			Huvudalt.				
	Gröda 2	RELATIV SKÖRD (%)		Genom-snitt	Gröda 2	RELATIV SKÖRD (%)		
	Över-skotts-vatten	Torka	Försening sådd		Över-skotts-vatten	Torka	Försening sådd	Genom-snitt
<b>1977</b>	0	0	0	<b>0</b>	0	0	0	<b>0</b>
<b>1981</b>	100	100	100	<b>100</b>	100	100	100	<b>100</b>
<b>1985</b>	20.7	100	100	<b>20.7</b>	20.7	100	100	<b>20.7</b>
<b>1989</b>	100	82.6	100	<b>82.6</b>	100	82.6	100	<b>82.6</b>
<b>1993</b>	100	99.8	100	<b>99.8</b>	100	99.8	100	<b>99.8</b>
<b>1997</b>	100	100	100	<b>100</b>	100	100	100	<b>100</b>
<b>2001</b>	100	100	37.6	<b>37.6</b>	100	100	37.6	<b>37.6</b>
<b>2005</b>	<b>64</b>	100	100	<b>64</b>	<b>63.2</b>	100	100	<b>63.2</b>

Efter de simulerade förhållandena påverkades den slutliga skörden från gröda 3 negativt på grund av överskottsvatten under växtsäsongen år 1998 och 2002 (tabell 9). Under det förstnämnda året skiljer sig påverkan mellan de olika regleringarna med något högre negativ påverkan under huvudalternativet. Skörden påverkades negativt på grund av torka åren 1982 och 1994. Även gröda 3 har en väldigt kort växtsäsong (tabell 5) vilket gör att den inte kan jämföras med en traditionell vårgröda (se 3.4.4) då skördedatumet är väldigt tidigt.

Tabell 9. Den relativa skörden för gröda 3, med påverkan från respektive stressfaktor

	Nollalt.			Huvudalt.				
	Gröda 3	RELATIV SKÖRD(%)		Genom-snitt	Gröda 3	RELATIV SKÖRD (%)		
	Överskotts-vatten	Torka	Försening sådd		Överskotts-vatten	Torka	Försening sådd	Genom-snitt
<b>1978</b>	100	100	98.3	<b>98.3</b>	100	100	98.3	<b>98.3</b>
<b>1982</b>	100	97.1	64.8	<b>63</b>	100	97.1	64.8	<b>63</b>
<b>1986</b>	100	100	100	<b>100</b>	100	100	100	<b>100</b>
<b>1990</b>	100	100	100	<b>100</b>	100	100	100	<b>100</b>
<b>1994</b>	100	69.7	100	<b>69.7</b>	100	69.7	100	<b>69.7</b>
<b>1998</b>	<b>1.8</b>	100	100	<b>1.8</b>	<b>1.2</b>	100	100	<b>1.2</b>
<b>2002</b>	89.2	100	100	<b>89.2</b>	89.2	100	100	<b>89.2</b>

År 1979 påverkade överskottsvatten gröda 4 så pass mycket att ingen skörd kunde tas ut efter de simulerade förhållandena (tabell 10). År 1999 påverkade försening

av sådd och torka under växtsäsongen den slutliga skörden negativt. År 1983 uppstod en försening av sådd under huvudalternativet, vilket har en negativ effekt på den slutliga skörden. Eftersom en vårgröda sås runt 15 april i detta geografiska område (Mattson, 1990) men har en något längre växtsäsong än den som är simulerad kan ej jämförelser göras av hur en vårgröda skulle påverkas då sista delen av dess utveckling inte tas med i simuleringen. Den enda skillnaden som uppstod mellan de olika regleringarna var en försening av sådden med 6 dagar år 1983 i förhållande till de andra åren (tabell 5).

Tabell 10. Den relativa skörden för raps, med påverkan från respektive stressfaktor

	Nollalt.			Huvudalt.				
	Gröda 4	RELATIV SKÖRD (%)		Gröda 4	RELATIV SKÖRD (%)			
	Överskottsvatten	Torka	Försening sådd	Genomsnitt	Överskottsvatten	Torka	Försening sådd	Genomsnitt
<b>1979</b>	0	100	100	<b>0</b>	0	100	100	<b>0</b>
<b>1983</b>	100	100	100	<b>100</b>	100	100	<b>98.3</b>	<b>98.3</b>
<b>1987</b>	100	100	100	<b>100</b>	100	100	100	<b>100</b>
<b>1991</b>	100	100	100	<b>100</b>	100	100	100	<b>100</b>
<b>1995</b>	100	100	100	<b>100</b>	100	100	100	<b>100</b>
<b>1999</b>	100	90.3	54.6	<b>49.3</b>	100	90.3	54.6	<b>49.3</b>
<b>2003</b>	100	100	100	<b>100</b>	100	100	100	<b>100</b>

Brukningensperioden på hösten analyserades inte i denna simulering. Eftersom de två olika regleringsalternativen har samma regleringsnivå på hösten kan det antas att höstbruket inte skiljer sig åt särskilt mycket ur den synpunkten. Dock kan höst-sådda grödor påverkas olika då regleringarna skiljer sig åt under vinter och vår . Där med har det inte simulerats för effekter från stressfaktorer på en gröda under vinter och tidig vår, från eventuell påverkan av överskottsvatten eller torka innan 15 april, eftersom sådden är simulerad från mitten av april.

Enligt Rangsjö (2010) kommer en höjd regleringsnivå orsaka en försenad vår-sådd på ungefär två veckor. Eftersom samtliga grödor har simulerats med en sådd på våren är det endast brukningen på våren som kan analyseras. I huvudalternativet försenas sådden 20 % av gångerna och för nollalternativet 16 %. En försenad sådd ger en negativ effekt på den slutliga skörden bland annat genom att grödans bladyteindex (LAI) blir mindre (Fogelfors, 2001).

Radiant use efficiency (RUE) varierar mellan olika grödor men kan också variera mellan olika sorter av samma gröda (Bassu *et al.* 2011). Majs tar upp cirka 1 % av solenergin vilket kan jämföras med vetet som tar upp ungefär 0,2 % och potatis 0,4 % (Fogelfors, 2001). Grödor med erekta blad har generellt högre RUE (Austin *et al.* 1976).

En försenad sådd ger en kortare total vegetationsperiod vilket har en negativ påverkan på skördemängden. Längden för varje utvecklingsstadie hos grödan är också väldigt viktig för slutskorde. Främst är det temperaturen som påverkar. Vid måttlig temperatur som ger ”lagom” långa utvecklingsstadier hinner grödan ta upp näring och vatten och utvecklas maximalt under vegetationsperioden. Om temperaturen är för hög blir grödans olika utvecklingsstadier korta och vid för låga temperaturer kan ett utvecklingsstadie dra ut på tiden så att grödan inte hinner mogna (Fogelfors 2001).

När sådatum sattes på hösten (10 juli – 15 september) simulerade modellen så att skördedatumen blev mellan dag 351 till dag 35, därför valdes sådatum på våren istället, eftersom inte skördedatumen flyttades fram efter denna ändring av sådatum blev växtsäsongen väldigt kort så de grödor som det simulerats för kan endast ses som fiktiva grödor. Det skulle varit bättre att fullt ut använda data för vårgroddor i modellen för att få fram mer verklighetstroga resultat. Nu blev det istället blandad data från både vårsådda och höstsådda grödor i och med sådatumen och de tidiga skördedatumen, vilket ger missvisande resultat. Resultaten skulle kunna ses som om de vore för vårsådda grödor där påverkan under den sista delen av mognadsfasen i grödans utveckling inte finns med i simuleringen.

### 4.3 Kväve

Mängden kväve som läcker ur en mark styrs till stor del av hur mycket vatten som rinner genom och ur en profil. I figur 11 presenteras hur stor volym vatten som dräneras per år, efter simuleringsförhållandena, för de två olika regleringarna. Enligt resultaten från simuleringens förhållanden dräneras en större volym vatten från nollalternativet år 1976, 1978, 1979, 1981, 1983, 1992 och 2000 och en större volym dräneras från huvudalternativet 1982, 2001 och 2003. De fler antal år med högre avrinning från nollalternativet kan bero på den högre regleringsnivån under vintermånaderna (se 4.1).

Den generellt låga medelavrinningsvolymen för perioden beror till stor del på 10-årsperioden i mitten där nästan ingen avrinning sker. Skillnaderna är inte stora

mellan regleringsalternativen men de kan urskiljas. Resultaten från modelleringen visar att huvudalternativet tenderar att ge en mindre volym dränerat vatten än nollalternativet, utifrån det resultatet kan det också antas att en mindre mängd kväve skulle läcka ut från marken vid huvudalternativet. Det kväve som läcker ur en mark gör det främst genom vattentransport (Burt *et al.*, 1993). De större läckagemängderna från nollalternativen kan antas uppstå under vinterperioden när det inte är tjäle i marken, eftersom nollalternativets regleringsnivå på vintern är högre än huvudalternativet (tabell 1). På vintern kan det finnas nitratkväve i marken som en gröda ej tagit upp. Nitratet finns då tillgängligt och kan lakas ur marken. Som tidigare påpekats kan avrinningsvolymerna skilja sig markant från verkligheten beroende på att nederbörden i simuleringen inte är den samma som i den rådata från SMHI, därför är det även svårt att dra slutsatser om kväveläckaget utifrån dessa resultat.

Det är svårt att tyda några trender för hur grundvattennivån för de två regleringsalternativen skiljer sig åt mellan årstider (figur 10). Generellt kan en högre regleringsnivå på våren i huvudalternativet, ge större risk för läckage men också för en ökad lustgasavgång då en ofullständig denitrifikation tenderar att uppstå när vattenhalten överstiger 60 % av porvolymen i marken (De Klein & Van Logtestijn, 1995). Vid en eventuell ökning av lustgasavgång på våren på grund av höjd grundvattennivå, måste den totala avgången över året tas i beaktande. För huvudalternativet kommer grundvattennivån på vintern vara lägre än för nollalternativet och då lustgasavgången normalt sett är som högst på vintern kan det tänkas att den totala avgången minskar eftersom färre porer i marken är vattenfyllda under denna period. Denna minskning kan vara av större betydelse eftersom lustgasavgången normalt sett har en tendens att öka under perioder med temperaturer mellan 4-0 °C (Christensen & Tiedje, 1990). Det är dock viktigt att notera att en optimal temperatur för denitrifiering förekommer vid 30 °C (Saad & Conrad, 1993), så med högre temperatur och vattenfyllda porer i marken sker en större denitrifikationsprocess. Detta kan antas förefalla på våren i låglänta områden nära vattendrag.

En viss andel av de låglänta markerna runt Mälaren utnyttjas som betesmark. En betesmark kan läcka stora mängder kväve på grund av de punktkällor som uppstår (Burt *et al.*, 1993). Kväveläckaget kan antas bli något större för huvudalternativet på våren när grundvattennivån är högre, under sommar- och höstsäsong kan läckagen antas vara relativt lika eftersom så är fallet för regleringsnivåerna (tabell 1).

Då nederbördsmängderna mellan in- och utdata skiljer sig markant åt under perioder med kallare temperaturer och även mellan år, är det troligt att avrinningsvo-



lymer från respektive reglering inte är korrekta. Det är därför svårt att dra några säkra slutsatser om hur kväveläcket skiljer sig åt mellan de båda regleringsalternativen utifrån resultaten från denna modellering.

## 5 Slutsatser

En simulering kan aldrig ge exakta svar men visa på trender. I detta fall är det svårt att ens lita på några trender. Då de simulerade nederbörds mängderna inte följer den rådata från SMHIs mätstationer som lagts in i modellen. Nederbörds mängderna kan påverka avrinningsvolymerna så att nollalternativet med en lägre reglering på våren läcker nästan lika mycket som huvudalternativet med en högre reglering av vattennivån. Därför är det svårt att, utifrån dessa resultat, dra slutsatser om hur avrinningsvolymerna och kväveläckage skiljer sig mellan de båda regleringsalternativen.

Resultaten för växtproduktionen har väldigt små skillnader i skördenivåer mellan de olika regleringsalternativen. Dessa förhållandena kan antas gälla även under förhållanden mer lika verkligheten.

Det är inte bara kvävet kretslopp som förändras vid en ny reglering av vattennivån i Mälaren, det är därför viktigt att ha ett helhetstänkande när förändringar ska göras i stora system. Det är svårt att dra slutsatser utifrån de resultat som framkommit i denna undersökning därför är det viktigt att beakta tidigare rapporter (ex. Adrup et al. 2010; Rangsjö, 2010; Andreasson & Gustavsson, 2010 och Calluna, 2010) och eventuellt vidare undersöka hur miljön och jordbruket kan komma att påverkas av en ny reglering av Mälaren.

## 6 Litteraturlista

- Adrup, P. Mörner, E., Norman, Å & Tideström, E. (2010). SLUSSEN, Ny reglering av Mälaren, Kanaler, Kajer med mera. Preliminär MKB. Dnr E2010-510-01340.
- Allen, R., J.L. Monteith, A. Perrier, L. Santos Pereira, & A. Segeren (1990), Expert consultation on revision of FAO methodologies for crop water requirements, Annex V: FAO Penman-Monteith formula. FAO, Rom, Italien.
- Andreasson, J. & Gustavsson, H. (2010) Förslag på Mälarens framtida reglering – Slutrapport fas3. Norrköping:SMHI. Rapport 2010-16. Dnr 2007/1143/204.
- Aronson, H & Torstensson, G. (2004) Beräkningar av olika odlingsåtgärders inverkan på kväveutlakningen. Ekohydrologi 78. Avdelningen för vattenvårdslära, SLU.
- Arvidsson, J. & Nordström, T. (1999) Fältförsök med tunga betupptagare. Meddelande från södra jordbruksförsöksdistriktet. Avdelningen för Jordbearbetning, SLU.
- Austin RB, Ford MA, Edrich JA, Hooper BE (1976) Some effects of leaf posture on photosynthesis and yield in wheat. *Annals of Applied Biology* vol 83, s. 425–446.
- Bassu, S. Giunta, F. & Motoz, R. (2011) Effects of sowing date and cultivar on radiation use efficiency in durum wheat. *Crop & Pasture Science*, vol 62, s. 39–47
- Bjurholm, Å., Lundin, J. & Arnebrant, B. (1999) Tillståndsbedömning av Slussen – Teknisk Rapport. Stockholms stad Gatu- och Fastighetskontor och Stockholm Konsult.
- Blomkvist, L. (1999). Slussens Planeringshistoria. Stockholms stadsbyggnadskontor och Gatu- & Fastighetskontoret
- Burt, T.P., Heathwaite, A.L. & Trudgill, S.T (1993) Nitrate: Processes, Patterns and Management. Chichester: John Wiley & son Ltd.
- Calluna AB, (2010) Projekt slussen – Ny reglering av Mälaren – Konsekvensbedömning av strandnära naturmiljön. Calluna AB, Stockholm.
- Christensen, S. & Tiedje, J. M. (1990) Brief and vigorous N<sub>2</sub>O production by soil at spring thaw. *Journal of Soil Science*, vol. 41 s 1-4.
- Clason, Å. (1996) Databok för driftsplanering 1996. Uppsala: Sveriges Lantbruks Universitet. ISBN 91-576-5181-7
- De Klein, C. A.M. & Van Logtestijn, R. S. P. (1995) Denitrification in grassland soils in the Netherlands in relation to irrigation, N-application rate, soilwatercontent and soil temperature. *Soil Biology and Biochemistry*, vol. 28, nr 2, s. 231-237.
- Eldor, P.A. (1989) *Soil Microbiology, Ecology, and Biochemistry*. 3. ed. Oxford: Academic Press
- Ericsson, J. (1988) Kväve och kvävegödsling. Aktuellt från Lantbruksuniversitetet 373. Östervåla; Tofters Tryckeri AB.

- Eriksson, J., Nilsson, I., & Simonsson, M., (2005) Wiklanders Marklära. Lund: Studentlitteratur
- Evans, R.O. R.W. Skaggs and R.E. Sneed. 1991. Stress day index models to predict corn and soybean relative yield under high water table conditions. Transactions of the ASAE, Vol. 34(5):1997-2005.
- Gilliam, J.W., Skaggs, R.W., Weed, S.B., 1979. Drainage control to diminish nitrate loss from agricultural fields. J. Environ. Qual. 8, 137–142.
- Grip, H. & Rodhe, A. (1985). Vattnets Väg från regn till bäck. Karlshamn: Karlshamn Tryck och Media AB
- Gregory PG, Eastham J (1996) Growth of shoots and roots, and interception of radiation by wheat and lupin crops on a shallow, duplex soil in response to time of sowing. *Australian Journal of Agricultural Research* vol. 47, s. 427–447.
- Grundmann, G.L., Renault, P., Rosso, L. & Bardin, R. (1995) Differential effects of soil water content and temperature on nitrification and aeration. Soil Science of America Proceedings. Vol 59 s. 1342-1349.
- Kaiser, E.A., Kohrs, K., Kucke, M., Schnug, E., Heinemeyer, O. & Munch, J.C. (1998) Nitrous oxide release from arable soil: Importance of N-fertilization, crops and temporal variation. Soil Biology & Biochemistry. Vol. 30 Nr. 12. s. 1553-1563.
- Kyllmar, K. & Johnsson, H. (1999) Nutrient losses from arable land in 1995/96. Results from the water quality monitoring programme “Typ områden på Jordbruksmark”. Ekohydrologi nr 48. Institutionen för Markvetenskap, avd. för vattenvårdslära, SLU.
- Larsson, U., Elmgren, R. & Wulff, F. (1985) Eutrophication and the Baltic Sea: Causes and consequences. *Ambio*, 14, 9-14.
- Luo, W., Skaggs, R.W. & Chescheri, G.M. (2000) Drainmod modifications for cold conditions. Transactions of the ASABE. Vol. 43(6). Sid. 1569-1582.
- Mattson, R. (1990). Sätidens betydelse för vårsädens avkastning och kvalitet. Konsulentavdelningens rapporter; allmänt 163
- Metz, B, Davidson, O., Bosch, P., Dave, R., Meyer L (2007) Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press.
- Millington, R.J., Quirk, J.P. (1961) Permeability of porous solids. Transactions of the Faraday Society. S. 1200-1207.
- Rangsjö, C-J. (2010) Ny reglering av Mälaren – Påverkan på Jordbruket. Vattenenheten, Jordbruksverket. Rapport 2:1. Dnr: 27-6750/09.
- Rangsjö, C-J. 2010-10-20. Email.
- Tilly, L. (2010) Konsekvensbedömning för dricksvatten vid en ny reglering av Mälaren. Stockholm:Exploateringskontoret. Uppdragsnummer 220784.
- Saad, O.A.L.O. & Conrad, R. (1993) Temperature dependence of nitrification, denitrification, and turnover of nitric oxide in different soils. *Biology and Fertility of Soils*. Vol 15 s. 21-27
- Salazar, O., Wesström, I., Mohamed A., Youssef, R., Skaggs, W. & Abraham, J.. (2009) Evaluation of the Drainmod-N II model for predicting nitrogen losses in a loamy sand under cultivation in south-east Sweden. *Agricultural Water Management*. Vol 96 s. 267-281.
- Skaggs, R.W. (1978) A Water management model for shallow water table soils. Technical Report 134. Water Resource Research Institute, University of North Carolina, Raleigh, NC.
- Skaggs, R.W. (1980) Drainmod Reference Report. Wetland Science Institute
- SOU 2006:94 Översvämningshot – Risker och Åtgärder för Mälaren, Hjälmaren och Vänern. Miljödepartementet.
- SOU 2007:60 Sverige inför klimatförändringar – hot och möjligheter. Miljödepartementet.

- Sternbeck, J. Marelius, F. Land, M. & Gyllenberg, K. (2010) Sedimenterosion i Stockholm: miljöpåverkan vid Mälarens regleringsfas 3b. Stockholm:Exploateringskontoret. Uppdragsnummer 10119874.
- Structor (2010) PM med gemensamma förutsättningar för konsekvensanalyser för ombyggnad av Slussen samt ändrad avtappning och reglering av Mälaren. (Uppdaterad 2010-03-11)
- Tinker, P. (1991) Fertilizers in the environment. Proceedings - Fertiliser Society, vol. 302 S. 24
- Vattnets kretslopp, SGU [online] (2011-03-09) <http://www.sgu.se/cgi-bin/search.cgi?cc=1&URL=http://www.sgu.se/sgu/sv/geologi/hydro/grundvatten-bildning.html&q=sv&wm=wrđ> Senast uppdaterad 2011-03-02.
- Växten och Marken – Ett 3D Äventyr, SLU [online] (2011-01-06) [http://www-vaxten.slu.se/index2.html](http://www.vaxten.slu.se/index2.html).
- Wesström, I & Messing, I. (2006) Effects of controlled drainage on N and P losses and N dynamics in a loamy sand with spring crops. Agricultural water management vol. 87 s. 229 –240
- Youssef, M.A., Skaggs, R.W., Chescheri, G.M., & Gilliam, J.W. (2005) The Nitrogen Simulation Model, DRAINMOD-N II. Transactions of the ASAE. Vol. 48(2) s. 611-626.
- Åhström, M. (2010) Rapport om Slussens tekniska status. Stockholm. Trafikkontoret. DNR T2010-400-01472

## 7 APPENDIX 1

*Tabell 1. Månader där simulerad nederbörd skiljer sig mer än 1 cm från SMHIs värde år 1976-1985.*

<b>År &amp; Månad</b>	<b>Drainmod</b>	<b>SMHI</b>	<b>Skillnad</b>
1976-01	0,81	1,97	-1,16
1976-02	2,42	1,26	1,16
1976-12	4,76	7,46	-2,7
1977-01	0,43	5,1	-4,67
1977-02	0,18	2,16	-1,98
1977-03	1262	4,44	8,18
1977-04	6,47	5,15	1,32
1977-11	3,47	4,56	-1,09
1978-03	6,97	5,04	1,93
1978-12	0	1,04	-1,04
1979-01	0	3,87	-3,87
1979-02	0	9,6	-9,6
1979-03	3,81	2,2	1,61
1979-04	9,82	5,15	4,67
1980-01	0	1,18	-1,18
1980-02	1,3	5,8	-4,5
1980-04	6,94	3,32	3,62
1981-12	0	3,38	-3,38
1982-01	0	3,21	-3,21
1982-03	12,87	3,72	9,15
1982-04	4,1	3,04	1,06
1983-03	6,83	5,65	1,18
1983-12	3,18	4,3	-1,12
1984-01	3,24	5,34	-2,1
1984-04	5,48	1,38	4,1
1985-01	0	5,98	-5,98
1985-02	0	2,53	-2,53
1985-03	2,06	4,27	-2,21
1985-04	17,3	4,98	12,32
1985-11	2,32	3,78	-1,46
1985-12	4,9	3,9	1

Tabell 2. Månader där simulerad nederbörd skiljer sig mer än 1 cm från SMHIs värde år 1986-2005.

År & Månad	Drainmod	SMHI	Skillnad
1986-01	0	2,08	-2,08
1986-03	6,25	3,07	3,18
1987-03	3,46	1,02	2,44
1987-11	3	4,7	-1,7
1987-12	0,99	2,44	-1,45
1988-02	2,04	4,41	-2,37
1988-03	0,44	1,58	-1,14
1988-04	8,92	2,37	6,19
1993-03	2,09	1,04	1,05
1994-03	4,56	3,17	1,39
1995-01	3,01	0,33	2,68
1995-02	5,87	3,16	2,71
1996-03	0,51	1,74	-1,23
1996-04	3,67	0,67	3
1998-11	0,67	2,02	-1,35
1998-12	6,38	7,38	-1
1999-01	7,99	5,7	2,29
1999-02	0,66	3,3	-2,64
1999-03	8,28	5,36	2,92
1999-12	2,68	9,94	-7,26
2000-12	4,27	8,16	-3,89
2001-01	1,9	5,52	-3,62
2001-02	2,43	3,59	-1,16
2001-03	6,09	2,85	3,24
2001-04	9,52	3,81	5,71
2001-12	0,86	3,67	-2,81
2002-02	7,14	5,67	1,47
2002-03	5,91	4,43	1,48
2002-12	0,01	1,18	-1,17
2003-01	3,45	2,31	1,14
2003-02	0,03	1,74	-1,71
2003-03	1,96	0,24	1,72
2004-01	0,03	3,82	-3,79
2004-03	7,83	2,97	4,86
2004-11	0,89	5	-4,11
2004-12	5,86	2,61	3,25
2005-02	3,12	0,72	2,4
2005-03	4,97	2,2	2,77
2005-12	2,25	5,13	-2,88

## 8 APPENDIX 2

Tabell 1. Faktiska värden för gröda 1 som modellen använde vid simuleringen efter anpassning till de lokala förhållandena och Stress-Day-Index (SDI) för torka och överskottsvatten. Vid "fetmarkerade" värden skiljer de sig åt mellan regleringsalternativen.

	<b>Nollalt.</b>				<b>Huvudalt.</b>					
	Öveskottsvatten (cm-dygn)	Torka (cm- dygn)	Sådatum	Försening av sådd (dagar)	Skörde- datum	Överskotts- vatten (cm/dygn)	Torka (cm/dygn)	Sådatum	Försen- ing av sådd	Skörd- e- datum
<b>Gröda 1</b>										
<b>1976</b>	0	17.1	104	0	245	0	17.1	104	0	245
<b>1980</b>	0	0	104	0	245	0	0	104	0	245
<b>1984</b>	<b>57.1</b>	0	104	0	245	<b>58.5</b>	0	104	0	245
<b>1988</b>	0	0	104	0	245	0	0	104	0	245
<b>1992</b>	0	0	104	0	245	0	0	104	0	245
<b>1996</b>	0	0	104	0	245	0	0	104	0	245
<b>2000</b>	30.2	0.2	104	0	245	30.2	0.2	104	0	245
<b>2004</b>	68.3	0	105	0	246	68.3	0	105	0	246



Tabell 2. Faktiska värden för gröda 2 som modellen använde vid simuleringen efter anpassning till de lokala förhållandena och Stress-Day-Index (SDI) för torka och överskottsvatten. Vid "fetmarkerade" värden skiljer de sig åt mellan regleringsalternativen.

	Nollalt.					Huvudalt.				
	Överskottsvatten (cm-dygn)	Torka (cm-dygn)	Sådatum	Försening av sådd (dagar)	Skörde-datum	Överskottsvatten (cm/dygn)	Torka (cm/dygn)	Sådatum	Försening av sådd (dagar)	Skörde-datum
<b>Gröda 2</b>										
1977	-1	-1	236	142	12	-1	-1	236	142	12
1981	0	0	109	0	250	0	0	109	0	250
1985	111.7	0	109	0	250	111.7	0	109	0	250
1989	0	15.1	109	0	250	0	15.1	109	0	250
1993	0	0.1	109	0	250	0	0.1	109	0	250
1997	0	0	109	0	250	0	0	109	0	250
2001	0	0	158	44	299	0	0	158	44	299
2005	<b>50.7</b>	0	109	0	250	<b>51.8</b>	0	109	0	250

Tabell 3. Faktiska värden för gröda 3 som modellen använde vid simuleringen efter anpassning till de lokala förhållandena och Stress-Day-Index (SDI) för torka och överskottsvatten. Vid "fetmarkerade" värden skiljer de sig åt mellan regleringsalternativen.

	Nollalt.					Huvudalt.				
	Överskottsvatten (cm-dygn)	Torka (cm-dygn)	Sådatum	Försening av sådd (dagar)	Skörde-datum	Överskottsvatten (cm/dygn)	Torka (cm/dygn)	Sådatum	Försening av sådd (dagar)	Skörde-datum
<b>Gröda 3</b>										
1978	0	0	112	2	222	0	0	112	2	2
1982	0	3	138	28	248	0	3	138	28	2
1986	0	0	105	0	215	0	0	105	0	2
1990	0	0	105	0	215	0	0	105	0	2
1994	0	31.9	105	0	215	0	31.9	105	0	2
1998	<b>138.3</b>	0	105	0	215	<b>139.1</b>	0	105	0	2
2002	<b>15.2</b>	0	105	0	215	<b>15.3</b>	0	105	0	2

Tabell 4. Faktiska värden för gröda 4 som modellen använde vid simuleringen efter anpassning till de lokala förhållandena och Stress-Day-Index (SDI) för torka och överskottsvatten. Vid "fetmarkerade" värden skiljer de sig åt mellan regleringsalternativen.

<b>Nollalt.</b>					<b>Huvudalt.</b>					
	Överskottsvatten (cm-dygn)	Torka (cm-dygn)	Sådatum	Försening av sådd (dagar)	Skörde-datum	Över-skotts-vatten (cm/dygn)	Torka (cm/dygn)	Sådatum	Försening av sådd (dagar)	Skörde-datum
<b>Gröda</b>										
<b>4</b>										
<b>1979</b>	<b>167.5</b>	0	104	0	245	<b>169.6</b>	0	104	0	245
<b>1983</b>	0	0	104	0	245	0	0	111	<b>2</b>	252
<b>1987</b>	0	0	104	0	245	0	0	104	0	245
<b>1991</b>	0	0	104	0	245	0	0	104	0	245
<b>1995</b>	0	0	104	0	245	0	0	104	0	245
<b>1999</b>	0	8.4	143	34	284	0	8.4	143	34	284
<b>2003</b>	0	0	104	0	245	0	0	104	0	245