

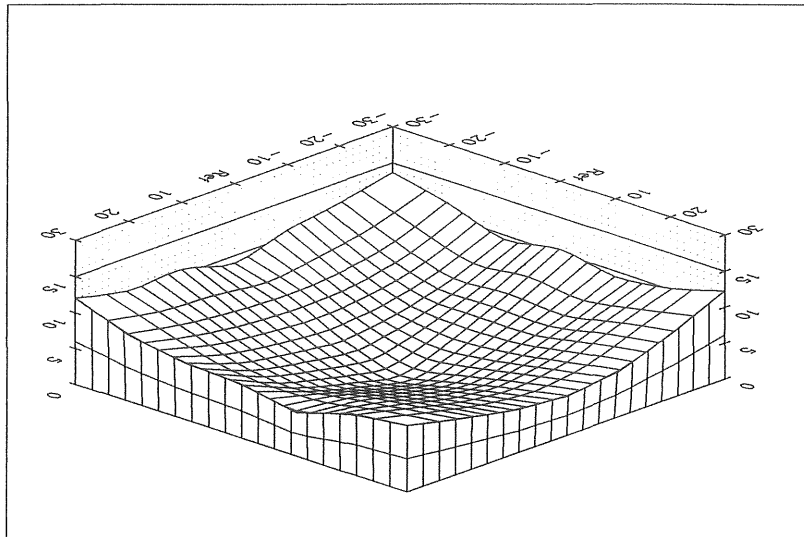


Institutionen för vattenbyggnad
Chalmers Tekniska Högskola

Department of Hydraulics
Chalmers University of Technology

Den hydrologiska modellen

N A M



Sensitivitetsanalys
av modellparametrar

av

Cecilia Appelgren

Mikael Kullman

Institutionen för vattenbyggnad
Chalmers tekniska högskola

Department of Hydraulics
Chalmers University of Technology

Den hydrologiska modellen
N A M
Sensitivitetsanalys av modellparametrar

av

Cecilia Appelgren
Mikael Kullman

Examensarbete
Nr. 1991:4

Göteborg 1991

Address: Department of Hydraulics
Chalmers University of Technology
412 96 GÖTEBORG

Telephone: 031-72 10 00

Innehållsförteckning

	sida
Förord.....	i
Sammanfattning.....	ii
1. Bakgrund.....	1
1.1 Allmänt.....	1
1.2 Varför en sensitivitetsanalys?.....	2
1.3 NAM-modellen - beskrivning.....	3
1.3.1 Allmänt.....	3
1.3.2 Modellstruktur.....	3
1.3.3 Modellparametrar, NAM.....	4
2. Strategi	7
2.1 Bakgrund.....	7
2.2 Känslighetsmätning.....	7
2.3 Metoder för genomförandet.....	8
2.3.1 Responsytor.....	10
3. Praktiskt genomförande av sensitivitetsanalysen.....	11
3.1 Meteorologiska data.....	11
3.2 Startbetingelser.....	12
3.3 Modellparametrar.....	12
3.3.1 Val av parametrar för analys.....	12
3.3.2 Val av parameterkombinationer för analys.....	13
3.3.3 Parametervärden.....	15
3.3.4 Referensområden.....	16
4. Resultat.....	18
4.1 Redovisning av resultat.....	18
4.2 Parametrars enskilda känslighet.....	18
4.2.1 Kriterierna SIGMArel och SIGMApeakrel....	18
4.2.2 Kriteriet dVr.....	21
4.2.3 Kriteriet dQr.....	22
4.3 Analys av responsytor.....	27
4.3.1 Avdunstningsprocessen - Magasinen.....	28
4.3.2 Avdunstningsprocessen - Tröskelvärdena...	29
4.3.3 Styrning av övre "växel".....	30
4.3.4 Styrning av nedre "växel".....	31
4.3.5 Responsfunktionerna.....	32

5.	Slutsatser.....	34
6.	Förslag till fortsatta studier.....	36
	Referenser och övrig litteratur.....	38

Bilagor

Bilaga 1: Initiella värden Definition av referensområde	B1
Bilaga 2: Värden på i analysen ingående parametrar för variations- spannet $\pm 30\%$	B2
Bilaga 3: Kurvor för SIGMArel-kriteriet	B3
Bilaga 4: Kurvor för SIGMApeakrel-kriteriet	B4
Bilaga 5: Resultat SIGMArel och SIGMApeakrel, övriga värden	B5

Förord

Detta examensarbete är utfört vid Institutionen för Vattenbyggnad vid Chalmers Tekniska Högskola, Göteborg.

Arbetet har till största delen utförts vid VBB VIAK/Ledningsförnyelse i Göteborg.

Handledare för examensarbetet har varit Steffen Häggström, Institutionen för Vattenbyggnad samt Lars-Göran Gustafsson, VBB VIAK/Ledningsförnyelse.

Vi vill ta tillfället i akt att med ett mycket stort **TACK !!** visa vår uppskattning för all hjälp och glada tillrop vi fått under arbetets gång på VBB VIAK, Göteborg.

Speciellt riktar vi detta till Lars-Göran Gustafsson. Dessutom tack till Lars Nikell vars hjälp varit outhärlig, Lars Erik Lundgren samt automaten för blåbärssoppa och kaffet.

Göteborg 1991 11 27

Cecilia Appelgren

Mikael Kullman

Sammanfattning

Om de verkliga flödesförhållandena i spillvattensystem studeras, konstateras ofta ett samband mellan nederbörd och flöde. Många gånger ser man dock flödestoppar som vida överstiger vad som kan förklaras med direkt anslutna hårdgjorda ytor. Detta fenomen benämns vanligen Indirekt NEDerbördspåverkan, INE. INE skiljer sig från den Direkta NEDerbördspåverkan, DNE, genom att den inte bara är beroende av den aktuella nederbörden utan till stor del påverkas av ett "minne" av tidigare hydrologiska händelser.

Då det hittills inte funnits något bra ingenjörsmässigt sätt att ta sig an INE-problemen startades ett FOU-projekt, finansierat av Gävle kommun och BFR, där ett av syftena var att testa en metod för simulering av INE-problem.

Beräkningsmodellen som valdes för projektet var den icke urbana avrinningsmodellen NAM som ingår i MIKE11-systemet.

Resultaten från dels FOU-projektet, dels ett flertal andra projekt där samma metodik använts, indikerar att NAM-modellen på ett trovärdigt sätt kan hantera indirekt nederbördspåverkan.

För att föra ut denna teknik i praktisk användning har det bedömts som angeläget att ett fördjupat studium av NAM-modellens egenskaper och alternativa formuleringar av modellstrukturen sker.

Denna rapport återger genomförande och resultat från en sensitivitetsanalys utförd på NAM-modellens modellparametrar.

Varför en sensitivitetsanalys?

En sensitivitetsanalys har som syfte att ge en djupare kunskap om de enskilda parametrarnas inbördes förhållande och påverkan i modellen. Denna kunskap bör underlätta framtida modellkalibreringar, då man har en större kunskap om hur modellen reagerar på parameterförändringar. Man får också ett bättre underlag för att bedöma vilka parametrar som kräver större noggrannhet för att få ett bra kalibreringsresultat.

Intressanta problemställningar vid tillämpning av modellen inom urban hydrologi är bland annat följande:

- 1) belastning på reningsverk, exempelvis årliga totala volymer
- 2) bräddning, exempelvis volym i flödestoppar
- 3) översvämning, exempelvis maxflöde vid flödestoppar

Analysen inriktades därmed särskilt mot modellering av totala avrinningsvolymer, bräddvolymer och maxflöden.

Utifrån dessa problemställningar har känslighetskriterier valts för att visa på parametrarnas inverkan på dessa intressanta avrinningssituationer. Analysen har utförts dels för enskilda parametrar dels för parameterkombinationer med avsikten att kunna beskriva parametrarnas enskilda och gemensamma påverkan på modellens beräkningsresultat. Detta har bland annat utförts genom kartläggning av ett minsta kvadratkriteriums responsytor.

Enskilda parametrar för analysen valdes såsom de parametrar som utgående från praktiska tillämpningar bedömts som mest relevanta för simulering av urban hydrologi. Parameterkombinationerna valdes såsom de mest intressanta med avseende på de i modellen ingående delprocesserna.

Resultaten från det utförda arbetet visar att det finns intressanta samband mellan parametrarna i modellen. Därmed har analysen lett fram till en beskrivning av parametrarnas påverkan på ex. totalt avrunnen volym samt en sammanställning av under vilka hydrologiska perioder som respektive parameter ger störst påverkan. Dessutom ges en beskrivning av parametrarnas inbördes och gemensamma påverkan i modellen. Då dessa samband inte direkt framgår av modellstrukturen är de värdefulla att känna till vid inkalibrering av NAM-modellen mot nya avrinningsområden.

1. Bakgrund

1.1 Allmänt

Vid dimensionering av spillvattenledningar förutsätts dessa avleda endast spillvatten och en viss mängd dräneringsvatten. Är de rätt dimensionerade och utförda bör därför spillvattensystem klara även mycket kraftiga nederbördstillfällen. Trots detta inträffar ofta källaröversvämningar i separata såväl som duplikata system vid just kraftig nederbörd.

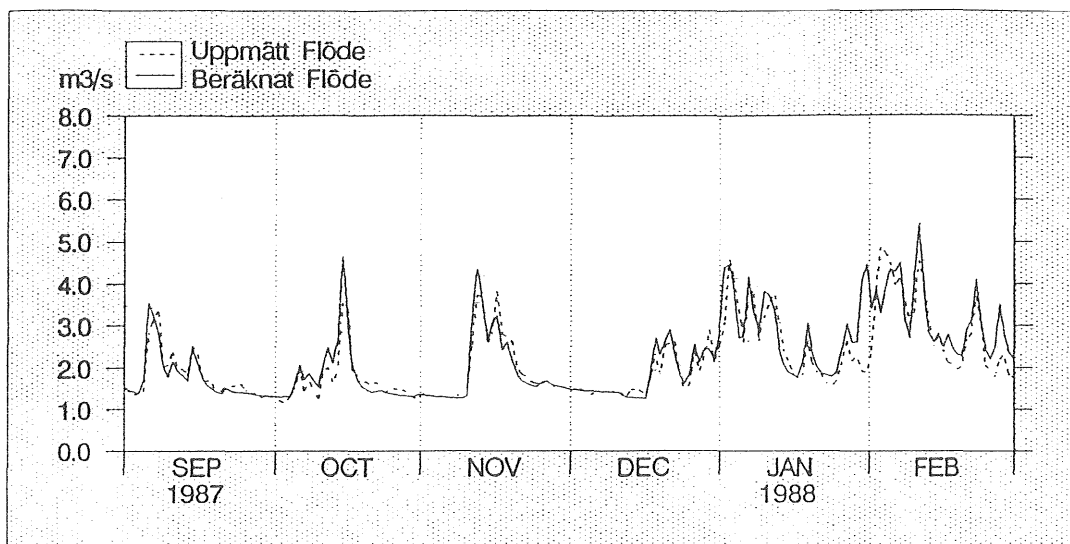
Om de verkliga flödesförhållandena i spillvattensystem studeras, konstateras ofta ett samband mellan nederbörd och flöde. Många gånger ser man dock flödestoppar som vida överstiger vad som kan förklaras med direkt anslutna hårdgjorda ytor. Detta fenomen benämns vanligen Indirekt NEderbördspåverkan, INE. INE skiljer sig från den Direkta NEderbördspåverkan, DNE, genom att den inte bara är beroende av den aktuella nederbörden utan till stor del påverkas av ett "minne" av tidigare hydrologiska händelser.

Då det hittills inte funnits något bra ingenjörsmässigt sätt att ta sig an INE-problemen startades ett FOU-projekt, finansierat av Gävle kommun och BFR, med syfte att från olika utgångspunkter behandla problemställningen.

För att kunna beskriva de flödesfenomen som uppstår vid INE krävs ett beräkningsverktyg som kan hantera det så kallade minnet från tidigare hydrologiska händelser. Beräkningsmodellen som valdes för projektet var den icke urbana avrinningsmodellen NAM som ingår i MIKEllsystemet. MIKEll-systemet är en datormodell för beräkning av öppna vattendrag, utvecklat av DHI, Danmark.

NAM-modellen bygger på en mer generell hydrologisk beskrivning än den enkla, men för dagvattensystem fullt tillräckliga, DNE-beskrivning som finns i MOUSE. Metodiken bygger på att ett avrinningsområde beskrivs med ett antal hydrologiska modellparametrar vilka beskriver ytavrinning, infiltration, grundvattenflöde, markvattenhalt etc.

Tekniken har använts för ett flertal avrinningsområden i bla Gävle och Göteborg. Samtliga dessa tillämpningar har visat på mycket goda resultat, vilket indikerar att denna metodik på ett trovärdigt sätt kan hantera indirekt nederbördspåverkan. I figur 1.1 visas ett exempel på överensstämmelse mellan beräknat och uppmätt flöde.



Figur 1.1 Exempel på kalibreringsresultat med NAM-modellen från Göteborgs södra avrinningsområde under perioden 1987 09 till 1988 02.

För att föra ut denna teknik i praktisk användning har det bedömts som angeläget att ett fördjupat studium av NAM-modellens egenskaper och alternativa formuleringar av modellstrukturen sker.

Detta arbete har påbörjats inom ramen för ett licentiatarbete vid Institutionen för Vattenbyggnad, Chalmers Tekniska Högskola, Göteborg.

En del av detta arbete innefattar en noggrann sensitivitetsanalys av modellparametrarna. Denna analys inriktas särskilt mot modellering av totala avrinningsvolymer, bräddvolymer och maxflöden.

Detta examensarbete har som syfte att göra delar av denna sensitivitetsanalys.

1.2 Varför en sensitivitetsanalys?

En sensitivitetsanalys har som syfte att ge en djupare kunskap om de enskilda parametrarnas inbördes förhållande och påverkan i modellen. Denna kunskap bör underlätta framtida modellkalibreringar, då man har en större kunskap om hur modellen reagerar på parameterförändringar. Man får också ett bättre underlag för att bedöma vilka parametrar som kräver större noggrannhet för att få ett bra kalibreringsresultat.

1.3 NAM-modellen - beskrivning

1.3.1 Allmänt

NAM-modellen är en matematisk hydrologisk modell som består av ett antal kopplade matematiska ekvationer som beskriver beteendet hos vattnets kretslopp i markdelen.

NAM simulerar avrinningsförloppen i icke urbana områden. Genom hela beräkningsprocessen tar den hänsyn till vatteninnehållet i fyra olika ömsesidigt beroende magasin vilka representerar fysikaliska element av avrinningsområdet.

Indata till modellen är nederbörd, potentiell avdunstning, och temperatur. På basis av dessa beräknas bla avrinning, grundvattennivåer, relativ markvattenhalt och grundvattenflöde.

1.3.2 Modellstruktur

NAM behandlar varje delområde som en enhet. Parametrarna och variablerna representerar därför medelvärden för hela delområdet.

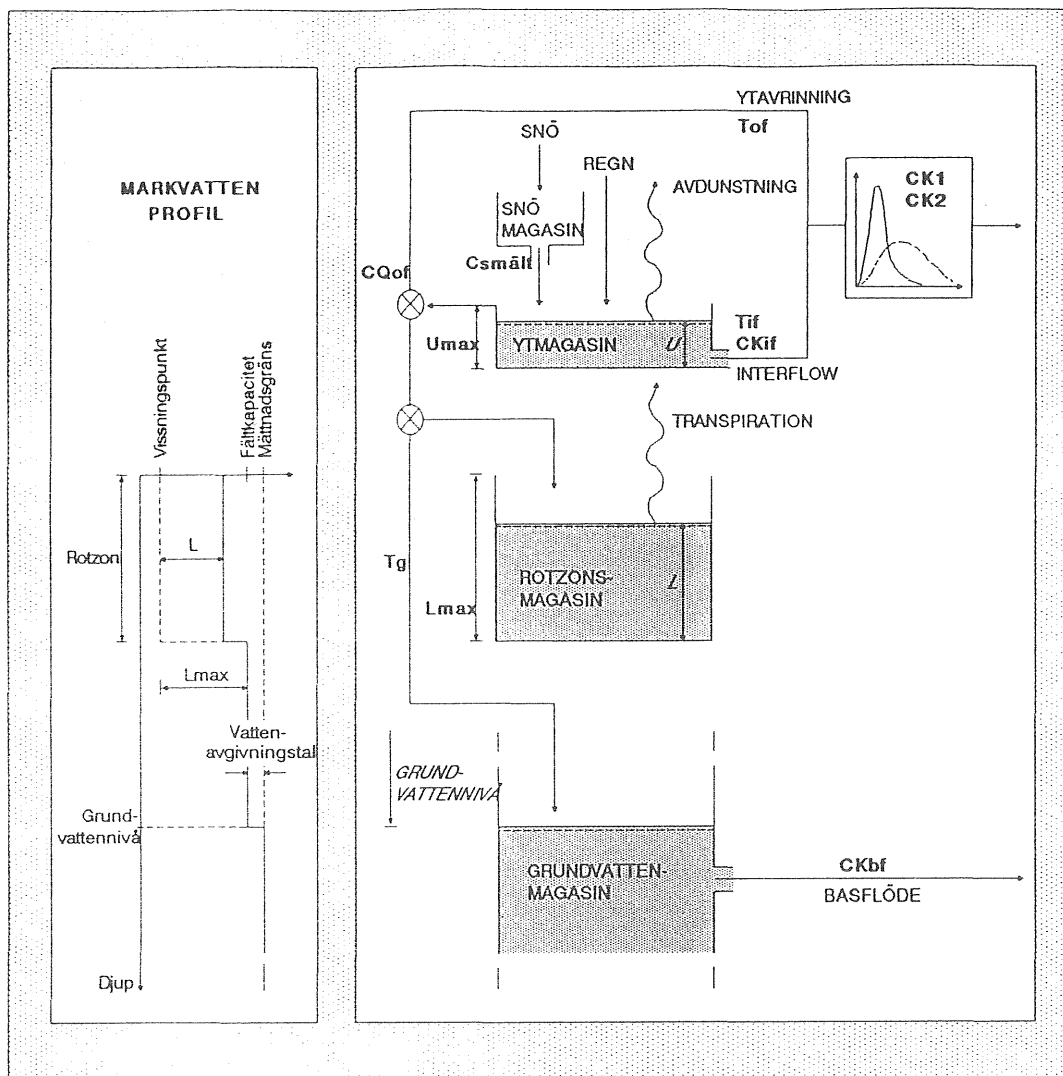
NAM är baserad på dels fysikaliska dels till viss del erfarenhetsmässiga ekvationer. Vissa av parametrarna kan uppskattas från fysiska områdesdata, men den slutliga uppskattningen måste göras genom kalibrering av simulerade värden mot verkliga händelser.

Modellstrukturen, som är en förenklad beskrivning av vattnets kretslopp i markdelen, magasineras vattnet i fyra magasin:

- snömagasinet
- ytmagasinet
- rotzonsmagasinet
- grundvattenmagasinet

Snömagasinet har vid denna analys inte ansetts påverka avrinningsförloppet.

Modellens uppbyggnad visas i figur 1.2



Figur 1.2 NAM-modellens struktur.

1.3.3 Modellparametrar, NAM

Nedan följer en kort beskrivning av de viktigaste modellparametrarna och deras fysikaliska tolkning för icke urbana områden.

Avrinningsområde

- A (km²)

Storleken på det område som avleder vatten till den punkt där flödet skall simuleras.

Magasineringskapacitet

- Umax, Lmax (mm)

Definierar det maximala vatten-

innehållet i yt- och rotzonsmagasin.

Värdet på U_{max} skall åskådliggöra att ytmagasinet representerar interceptionsmagasinet (magasinet för nederbörd som fastnar i vegetationen), hålligheter i markytan och de översta centimetrarna av marken.

L_{max} kan tolkas som den maximala markvattenhalten i rotzonen som är tillgänglig för rotsugning till vegetationens transpiration (avdunstning från inre ytor i vegetationen).

Ytavrinningskoefficient

- CQ_{of}

CQ_{of} bestämmer hur stor del av avrinningen (efter att ytmagasinet är fullt) som skall avrinna som ytavrinning och infiltration.

En rumsligt förenklad fysikalisk tolkning är att parametern skall åskådliggöra infiltrationen inom ett område.

Tidskonstant för ytavrinning

- CK_1, CK_2 (tim)

Tidskonstanterna för beräkning av flödet från ytavrinning beror på storleken på området och hur snabbt det reagerar vid nederbörd. Tidskonstanterna påverkar till viss del även flödet av interflow. Normalt sätts $CK_1 = CK_2 = CK$.

Tidskonstant för interflow

- CK_{if} (tim)

Tidskonstanten bestämmer tillsammans med U_{max} mängden interflow. Denna tidskonstant dominerar påverkan av flödet från interflow då CK_{if} i normala fall är mycket större än CK_1 och CK_2 .

Tidskonstant för basflöde

- CKbf (tim)

Denna tidskonstant kan uppskattas från hydrografens avklingning under torrperioder.

Tröskelvärden

-TOF, TIF, TG
(% av Lmax)

De påverkar avrinningen så att det inte genereras ytavrinning, interflow respektive påfyllning av grundvattenmagasin förrän det relativa vatteninnehållet i rot-zonen, L överstiger TOF, TIF respektive TG.

2. Strategi

2.1 Bakgrund

Sensitivitetsanalysens genomförande grundas till stor del på vilka krav som ställs på denna.

Syftet med analysen är att ge en god uppfattning om modellparametrarnas känslighet under i första hand en längre hydrologisk period, men även vid olika avrinnings-situationer.

2.2 Känslighetsmätning

Hur definieras känslighet och hur mäts känsligheten?

NAM-modellen är en relativt komplicerad modell där beräkningsresultaten för givna meteorologiska data, styrs av en uppsättning modellparametrar som ger en viss modellreaktion. Denna modellreaktion kommer att variera med olika värden på de ingående parametrarna. Denna variation, dvs skillnader i modellreaktioner (skillnader i beräknad avrinning) uttrycker just parametrarnas olika påverkan på modellen, och är således ett mått på hur känsligt beräkningsresultatet är av denna parameter.

Med vetskap om denna effekt är det rimligt att uttrycka en parameters känslighet såsom den skillnad man får i simuleringsresultat jämfört med en vald referensberäkning, vid ändring av parameterns värde. Om denna referensberäkning är oförändrad genom hela analysen kan även jämförelse göras mellan olika parametrars effekter på modellen.

För att känslighetsanalysen skall utföras med en logisk koppling till verkligheten bör valet av känslighetskriterier göras med hänsyn till de urbana problemställningar som är intressanta att beskriva vid praktisk användning av modellen.

Intressanta problemställningar utgörs i detta sammanhang av följande:

- 1) belastning på reningsverk, exempelvis årliga totala volymer
- 2) bräddning, exempelvis volym i flödestoppar
- 3) översvämning, exempelvis maxflöde vid flödestoppar

Denna studie har i huvudsak inriktats mot känslighetskriterier med hänsyn till problemställningarna 1 och 3. Valda kriterier (se nedan) kan dock till viss del anses representativa för beskrivning av parametrarnas känslighet med avseende på bräddningssimulering. På så sätt kan kunskap erhållas om parametrarnas varierande

känslighet vid olika problemställningar. Modellen styrs genom samverkan mellan de olika parametrarna och därmed också av deras gemensamma påverkan. För att få en uppfattning om parametrars påverkan på varandras känslighet har beräkningar genomförts där flera parametrar varieras i ett speciellt mönster.

2.3 Metoder för genomförandet

Differensen mellan en given referenskurva för avrinningen (se kapitel 3.3.4) och beräknat flöde för en ny parameterkombination kommer mycket överskådligt att visa erhållna skillnader under olika hydrologiska situationer. Dock är denna differenskurva (dQ) i sin form ett otympligt jämförelseverktyg. Därför använder vi ett komplement till denna, uttryckt som ett konkret tal. Ett sådant tal utgörs av ett välkänt numeriskt kriterium såsom summan av differenserna i kvadrat, över hela perioden.

$$F^2 = \sum (Q_{\text{sim}} - Q_{\text{ref}})^2 = \sum dQ^2$$

där

Q_{sim} =simulerat flöde i varje tidssteg

Q_{ref} =referensflöde i varje tidssteg

Detta kriterium kan även uttryckas som ett medelfel över totala perioden såsom

$$\sigma = \sqrt{(F^2/n)} \quad (\text{SIGMA})$$

där

n =antalet tidssteg över totala perioden

Ett värde som mer direkt talar om hur stor effekten av en viss parameterförändring är, fås genom ett relativt medelfel enligt

$$\sigma_r = \sigma / Q_{\text{medelref}} \quad (\text{SIGMArel})$$

där

Q_{medelref} =referenskurvans medelflöde

Detta uttryck ger ett bra mått på parametrarnas generella känslighet för en längre hydrologisk period. Med hänsyn till de ovan beskrivna problemställningarna finns det andra förändringar hos avrinningsförloppen som är intressanta att undersöka med avseende på de enskilda parametrarnas känslighet.

Vi söker därför även ett kriterium som beskriver toppflödenas variation för olika parameterkombinationer. Det är intressant att beskriva effekter på maxflöden vid parameterförändringar. För detta används det tidigare beskrivna kriteriet SIGMArel, fast då endast för ett visst antal valda toppflöden (se kapitel 3.3.4) Vi kallar detta värde SIGMApeakrel.

$$\sigma_{pr} = \sigma_{peak} / Q_{medelref} \quad (\text{SIGMApeakrel})$$

För att visa på parametrarnas varierande känslighet under olika hydrologiska situationer, har relativa differenskurvor (dQ_r) över avrinningen för hela avrinningsperioden tagits fram för ändring av varje parameter. Därmed har följande uttryck använts.

$$dQ_r(t) = (Q_{sim} - Q_{ref}) / Q_{medelref}$$

För att beskriva parametrarnas känslighet med avseende på avrunnen volym beräknas så medelvärde över avrinningsperioden för kurvan dQ_r , ett kriterium dV_r .

$$dV_r = \Sigma(dQ_r) / n = \Sigma(Q_{sim} - Q_{ref}) / (Q_{medelref} * n) = dV / V_{ref}$$

där:

dV = skillnad i totalt avrunnen volym under perioden.

V_{ref} = Avrunnen volym, referensavrinning.

Således finns det nu 3 kriterier för att bedöma parametrarnas känslighet.

$-\sigma_r$

$-\sigma_{pr}$

$-dV_r$

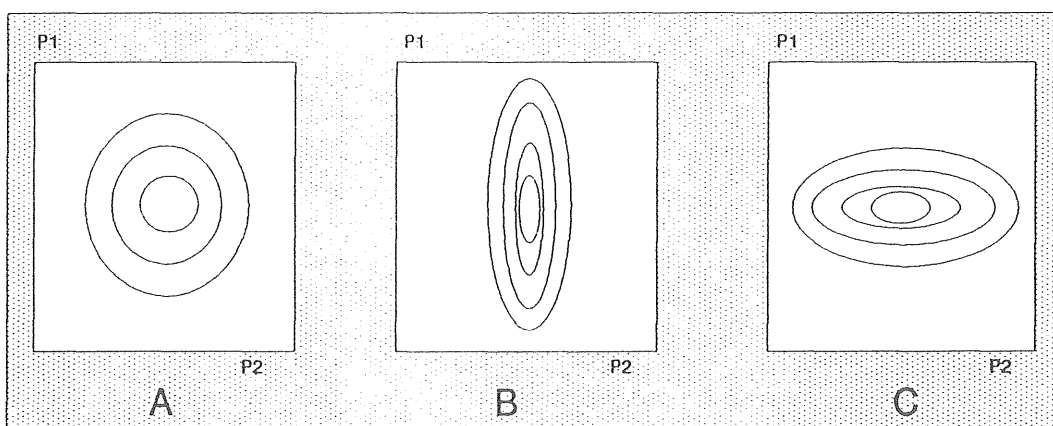
Dessa kriterier ger ett gott underlag för bedömning av

de enskilda parametrarnas känslighet. Kompletteras dessa med kurvan dQ_r , som beskriver förändringar i totalt avrunnen volym samt ger möjlighet till noggrannare analys av parametrarnas varierande påverkan under den totala avrinningsperioden, bör en god bild fås av parametrarnas känslighet.

2.3.1 Responsytor

För att få en bättre bild av hur modellen reagerar på förändringar av flera parametrars värden samtidigt, skapas responsytor för SIGMArel-kriteriet. Därmed fås en beskrivning av hur den enskilda parametern påverkar samt påverkas av andra parametrar. Denna metod har tidigare använts av Sten Bergström (se ref./1/). Resultatet visas i kurvor vilka är uppbyggda av SIGMArel-värden, där känsligheten kan utläsas i flera dimensioner för varje specifik parameterkombination. Därmed kan en beskrivning fås, av kombinationer med upp till 3 parametrar, för samverkan mellan de i modellen ingående parametrarna.

För att närmare beskriva hur responsytorna analyserats i kapitel 4 visas här tre generella exempel.



Figur 2.1 Exempel på responsytor.

A. Här uppvisar parameter 1 och parameter 2 samma känslighet och påverkan på varandra.

B. Här är parameter 2 känsligare än parameter 1 eftersom responsytans linje ligger tätare i x-led jämfört med i y-led.

C. Här är tvärt emot figur B parameter 1 känsligare än parameter 1, då responsytans linjer ligger tätare i y-led jämfört med i x-led.

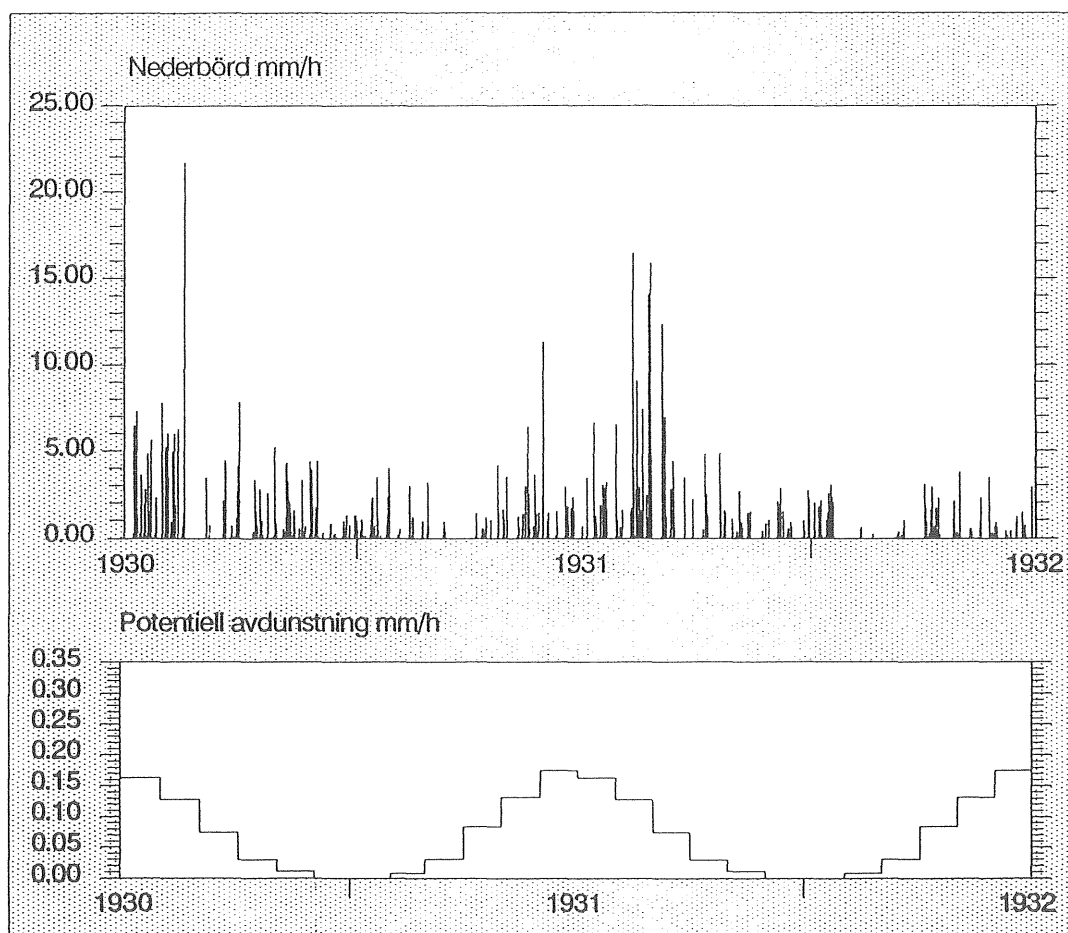
3. Praktiskt genomförande av sensitivitetsanalysen

Erforderliga indata till NAM-modellens simuleringar utgörs av:

- Meteorologiska data
- Startbetingelser
- Modellparametrar

3.1 Meteorologiska data

Erforderliga meteorologiska data är nederbörd, potentiell avdunstning och temperatur. Då snömagasinet ej har ansetts påverka avrinningsförloppet krävs ej temperaturdata. För vår analys söktes en tidsperiod som innefattar olika typer av nederbördsmängder.



Figur 3.1 Nederbörd och potentiell avdunstning i Göteborg under tiden 1930 07 01-1932 06 30.

Nederbördsdata inhämtade 1921-1939 vid Lundby, Göteborg valdes som bas för urvalet av ingångsdata till analysen. (se ref./2/). Vid närmare undersökning ansågs perioden 1930 07 01 -1932 06 30 lämplig som nederbördsdata för analysen, då det under denna period återfinns både kraftiga våtperioder och torrperioder, se figur 3.1. Evaporationen för perioden antogs följa den av Eriksson, SMHI, beräknade potentiella avdunstningen enligt Penmans formel för gräs, se figur 3.1.

3.2 Startbetingelser

Det är viktigt att ingångsvärdena i NAM är på rätt nivå. Initiella värden utgörs av vatteninnehållet i magasinerna (L och U), värden på interflow och ytavrinning samt grundvattendjup, vid starten för beräkningen. Dessa värden tas fram genom att iaktta rådande förhållanden för den tidpunkt då beräkningen skall påbörjas. De initiella värden som använts under beräkningarna är redovisade i bilaga 1.

För att utjämna eventuella fel i ingångsvärdena används en tidigare utförd beräkning som startbetingelser. Vi beräknar startbetingelser så som avrinningssituationen vid slutet av en simulerad beräkning med meteorologiska data för perioden 1929 07 01 - 1930 06 30.

3.3 Modellparametrar

3.3.1 Val av parametrar för analys.

NAM-Modellen är uppbyggd för beskrivning av de enskilda processerna för vattnets kretslopp i markdelen.

De olika parametrarna i NAM-modellen har var och en sin betydelse för dessa olika processer som i sin tur styr avrinningsförloppet. För att kunna göra ett val av vilka parametrar som är intressanta att studera ur känslighetsperspektiv krävs kunskap om dessa olika processer, och i vilken form de bidrar till den totala avrinningen. Med kännedom om dessa kan sedan valet av parametrar för analysen göras utifrån deras enskilda och gemensamma påverkan på processerna i modellen.

Modellen beräknar den totala avrinningen som summan av ytavrinning, interflow och basflöde. En indelning i grupper av de parametrar som i hög grad påverkar dessa volymer, visar i ett första steg vad som styr avrinningens olika delar.

Med kunskap om NAM-modellens uppbyggnad kan följande gruppering av parametrarna göras:

Ytavrinning: $U_{max}, L_{max}, CQ_{of}, TOF, CK$
Interflow: $U_{max}, L_{max}, TIF, CK_{if}$
Basflöde: $U_{max}, L_{max}, CQ_{of}, TG, CK_{bf}$

Samtliga dessa parametrarna påverkar avrinningsförloppet och ingår därmed i sensitivitetsanalysen.

3.3.2 Val av parameterkombinationer för analys

Som vi tidigare diskuterat i kapitel 2, är det intressant att även göra analyser där flera parametrar förändras samtidigt.

I detta arbete har analysen begränsats till de mest intressanta parameterkombinationerna.

För att bestämma vilka parametervariationer som är av intresse, krävs en indelning av de enskilda parametrarnas betydelse för modellens delprocesser och olika flödeskomponenter. Dessutom bör en indelning göras av parametrar med liknande eller gemensam påverkan på modellen. Utifrån detta kan sedan slutsatser dras om vilka parametrar som kan tänkas samverka i olika delprocesser och därmed är intressanta att kombinera i analysen.

Indelningen enligt kapitel 3.3.1 visar att inom varje grupp av parametrar som styr en viss flödeskomponent, återfinner man samma eller samma typ av parametrar. Tex så är CK, CK_{if} och CK_{bf} alla av den typen att de styr avrinningen i tiden. De övriga styr tillsammans den totala avrinningsvolymen för respektive flödeskomponent.

För att kunna bedöma vilka effekter som fås på totalt avrunnen volym, så bör analysen täcka in de viktigaste processerna som tillsammans beskriver denna.

För att förklara styrningen av dessa processer beskrivs avrinningen genom en fördelning från övre respektive nedre delen av modellen. Dessutom försvinner en viss mängd vatten genom avdunstning.

Genom närmare studie av modellen framkommer följande viktiga processer med avseende på avrinningsförloppet, som styrs av samspelet mellan nedan beskrivna parameterkombinationer.

Avdunstningsprocessen:

-Magasinen:

* $L_{max}/U_{max}/CQ_{of}$

-Tröskelvärdena:

Tröskelvärdena har stor betydelse för generering av avrinning. Därmed styr de även till viss del magasinen, varför de även kan kopplas till avdunstningsprocessen. Det är troligt att det finns lägen där modellen är okänslig för förändring av tröskelvärdena. Detta är av intresse vid inkalibrering, då det eventuellt ger mer att noggrant kalibrera in L_{max} istället för tröskelvärdena. Således bör följande kombinationer innefattas i analysen:

* L_{max}/TOF

* L_{max}/TIF

* L_{max}/TG

Övre "växeln": Fördelningsprocessen ytavrinning kontra infiltration.

* $CQ_{of}/TOF/U_{max}$

Nedre "växeln": Fördelningsprocessen perkolation kontra påfyllning av rotzonsmagasinet.

* $CQ_{of}/TG/L_{max}$

Responsfunktionerna:

CK och CKbf styr responsen hos de avrunna mängderna från den övre delen av modellen, respektive det nedre magasinet. Då CK och CKbf styr dessa flödeskomponenter är även CQ_{of} intressant i detta sammanhang, då denna parameter styr fördelningen mellan flödena till den övre respektive nedre delen av modellen.

Genom att kombinera CK/CKbf/ CQ_{of} fås en beskrivning av känsligheten hos responsen på ytavrinningen och avrinningen från det nedre magasinet vid olika fördelning mellan dessa flöden.

CKif styr flödet för interflow i tiden, dvs responsen på avrinningen ur det övre magasinet, men påverkar ej i så hög grad den totala avrinningen ur den övre delen av modellen. Responsen på utflödet ur den övre delen av modellen styrs framförallt av CK. Eftersom avrinningen från den övre delen av modellen

är fördelad mellan ytavrinning och interflow är det intressant att försöka beskriva CK och CKif inbördes påverkan och känslighet.

För att närmare undersöka om fördelningen ytavrinning/interflow har någon påverkan på CK och CKif inbördes känslighet bör parametern U_{max} analyseras i kombination med CK och CKif.

Resonemanget ovan ger följande kombinationer för analys av tidskonstanternas varierande betydelse:

- * CKbf/CK/CQof
- * CK/CKif/ U_{max}

3.3.3 Parametervärden

Vid sensitivitetsanalysen ändras ingående parametrar med avsikten att mäta hur modellen reagerar. Modellparametrarnas värden kommer att representera olika typer av avrinningsområden. Vi sökte därför ett variationsspann för parametrarna med avseende på modellens koppling till verkligheten.

En studie av tidigare utförda inkalibreringar av NAM-modellen mot ett antal avrinningsområden, visade att det för dessa områden fanns vissa gränser för parametrarnas variationsspann. Dock bör man vara uppmärksam på att dessa gränser drogs utifrån utvärderingen av 14 avrinningsområden, vilka rimligen inte kan täcka in alla typer av avrinningsområden.

Trots ett begränsat material av tidigare utförda inkalibreringar, kan det konstateras att variationsspannen på parametrarna inte är så stora att några extrema max eller min värden kan anses befogade att ta med i denna analys. Samtidigt framgår det att modellreaktionerna för de valda känslighetskriterierna uppvisar ganska klar linearitet och kontinuitet med ändrade parametervärden. Detta ges även av de ekvationer som styr olika flöden i NAM-modellen.

Därmed kan analysen koncentreras till modellens reaktion för mindre parameterförändringar kring ett visst valt referensvärde, för att kunna dra allmängiltiga slutsatser om parametrarnas känslighet.

Referensvärdena valdes såsom medianvärdena av tidigare inkalibreringar.

Kring detta värde utfördes analysen på parametrarna i ett spann 70 - 130 % av referensvärdet. För att täcka in detta spann väl gjordes beräkningar för varje 10 % intervall.

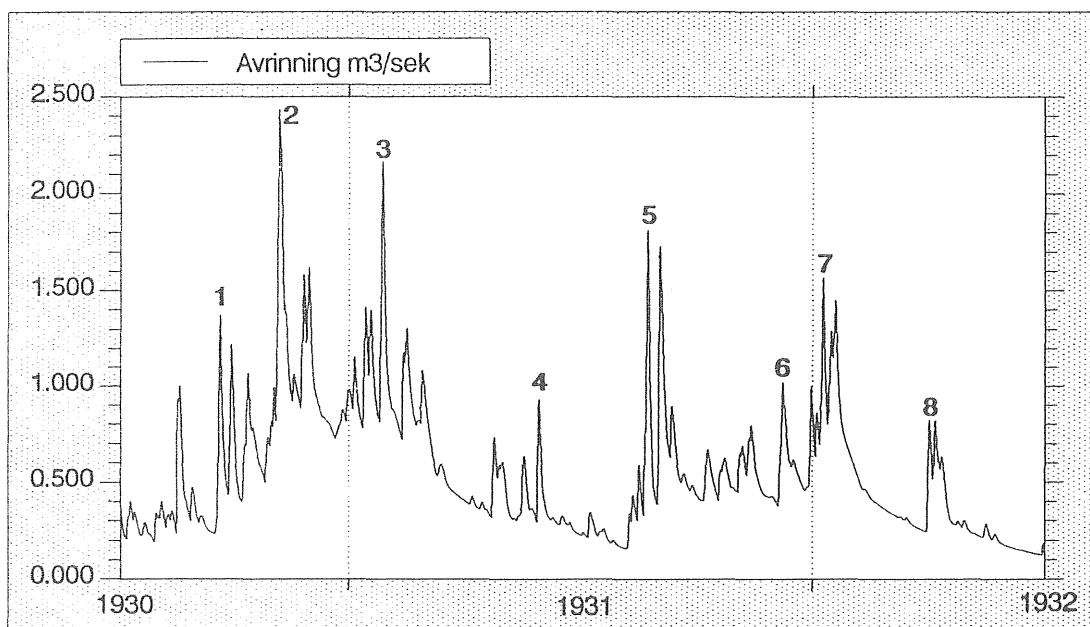
Undantag görs dock för tröskelvärdena TIF, TG och TOF, där analysens utfördes för värden på 0 - 30 % av rotzonsmagasinets maxnivå, L_{max} .

Även vid kombinationer av två parametrar har det tidigare beskrivna variationsspännet 70 - 130 % använts för varje parameter. Vid kombination av tre parametrar får två av dem variera 70 - 130 % och den tredje 50 - 150 % med 50 % intervall.

Samtliga parametervärden som använts i analysen återges i **bilaga 2**.

3.3.4 Referensområde

Den beräknade referenskurvan för avrinning har beräknats för ett valt referensområde som definieras av parametervärden enligt **bilaga 1**.



Figur 3.2 Beräknad avrinning (INE) för referensområdet 1930 07 01 - 1932 06 30 samt för kriteriet SIGMApeakrel utvalda flödestoppar.

För beräkning av kriteriet SIGMApeakrel (se kapitel 2.3) krävs ett visst antal toppflöden. Vilka toppar som valts för denna beräkning visas i **figur 3.2**.

Dessa är utvalda som maxflödet under varje kvartal över

hela perioden. På så sätt erhöles 8 värden för varje parameterförändring. Tidpunkten för när dessa toppar infaller varierar mycket lite. För att ta hänsyn till eventuella förskjutningar sökes maxflödet i ett intervall på 5 dygn omkring vald tidpunkt.

4. Resultat

4.1 Redovisning av resultat

Resultaten från sensitivitetsanalysen redovisas i diagramform och tabellform för utförda beräkningar för de tidigare beskrivna känslighetskriterierna.

- SIGMArel
- SIGMApeakrel
- dVr
- dQr-kurvor
- Responssytor

SIGMArel- och SIGMApeakrelvärden för hela intervallet enligt kapitel 3.3.3 återfinns i diagramform i **bilaga 3 och 4**, samt i tabellform i **bilaga 5**.

4.2. Parametrars enskilda känslighet

4.2.1 Kriterierna SIGMArel och SIGMApeakrel.

-10%	+10%
CK (3.15)	CQof (2.89)
CQof (2.92)	CK (2.79)
CKbf (2.40)	CKbf (2.07)
Umax (1.93)	Umax (1.76)
Lmax (1.66)	Lmax (1.45)
CKif (1.29)	TOF (1.09)
TOF (0.98)	CKif (1.07)
TG (0.97)	TG (1.01)
TIF (0.39)	TIF (0.43)

Tabell 4.1 SIGMArel (σ_r [* 10E-2])

I **tabell 4.1** respektive **4.2** redovisas SIGMA-värden i tabellform för $\pm 10\%$ av referensvärdena. För tröskel-

värdena blir motsvarande värden 10 respektive 20 (% av Lmax). Parametrarna är sorterade efter känslighetsgrad enligt de båda kriterierna SIGMArel och SIGMApeakrel.

-10%	+10%
CQof (5.29)	CQof (5.25)
CK (5.06)	CK (4.36)
Lmax (1.83)	TOF (1.75)
TOF (1.57)	Lmax (1.54)
CKbf (1.16)	TG (1.11)
Umax (1.11)	Umax (1.04)
TG (1.06)	CKbf (0.99)
CKif (0.45)	CKif (0.34)
TIF (0.12)	TIF (0.12)

Tabell 4.2 SIGMApeakrel (σ_{rp} [* 10E-2])

Resultatet visar att parametrarna uppvisar en större känslighet vid användning av värden mindre än referensvärdet. Detta gäller dock inte tröskelvärdena där en motsatt effekt fås.

Både CK och CQof visar på hög känslighet för både SIGMArel och SIGMApeakrel.

CK styr responsen på ytavrinningen vilket motsvarar flödestopparnas utseende. CQOF styr till stor del volymsfördelningen mellan flödestoppar och basflöde. Då båda parametrarna styr flödestopparna, förklarar detta parametrarnas höga känslighet för både SIGMArel och SIGMApeakrel.

Lmax och Umax representerar rotzons- respektive ytmagasinets högsta nivå. Vid minskade värden på dessa kommer det bli en större variation av vatteninnehållet i magasinerna. Denna variation ökar magasinens känslighet för påverkan på avrinningsförloppet. Lmax styr genom rotzonsmagasinets relativa vatteninnehåll, via tröskelvärdena, om något flöde skall genereras samt flödesmängderna.

Tröskelvärdenas SIGMA-värden tyder på en allmän okänslighet hos dessa parametrar. För toppflöden noteras dock att TOFs påverkan ökar något.

Från ytmagasinet genereras endast ett flöde till den övre "växeln" då den maximala nivån U_{max} överskrids. Ytmagasinet töms dock kontinuerligt genom interflow och avdunstning. Interflow styrs främst av förhållandet i rotzonsmagasinet och ytmagasinsnivån U . Avdunstningen sker huvudsakligen under sommarhalvåret, varför den är av störst betydelse för ytmagasinet under denna period.

SIGMA-värden för CKbf och CKif visar på att basflödet spelar en betydligt större roll för totala avrinningen än interflow.

Det är intressant att påverkan på toppflödena blir så stor för CKbf. Detta speglar dock CKbfs påverkan på basflödet, som utgör en stor del av avrinningen.

4.2.2 Kriteriet dVr.

De enskilda parametrarnas känslighet, framtagna enligt SIGMA-kriteriet, beskriver endast i vilken grad en förändring har skett. För att se vilken effekt på avrunnen volym förändringen ger, har kriteriet dVr beräknats. Resultatet redovisas i tabell 4.3 för $\pm 10\%$ av referensvärdena. För tröskelvärdena gäller värden enligt kapitel 4.2.1.

-10%	+10%
Umax (1.01)	Umax (-0.86)
Lmax (0.83)	Lmax (-0.72)
TG (0.52)	TG (-0.54)
CKif (0.26)	CKif (-0.22)
CKbf (-0.17)	CKbf (0.16)
CQof (-0.08)	CQof (0.09)
TIF (0.08)	TIF (-0.09)
TOF (0.02)	TOF (-0.02)
CK (-0.01)	CK (0.01)

Tabell 4.3 Procentuell förändring av totalt avrunnen volym, dVr.

Tabellen ger att för CK, CKbf och CQof fås en ökad total avrinning vid ökande parametervärden. För CK och CKbf svarar detta mot en långsammare respons på ett nederbördstillfälle. Under en längre nederbördsperiod kommer dessa effekter att utjämnas, det vill säga att CK och CKbf ej påverkar totalt avrunnen volym under en längre hydrologisk period.

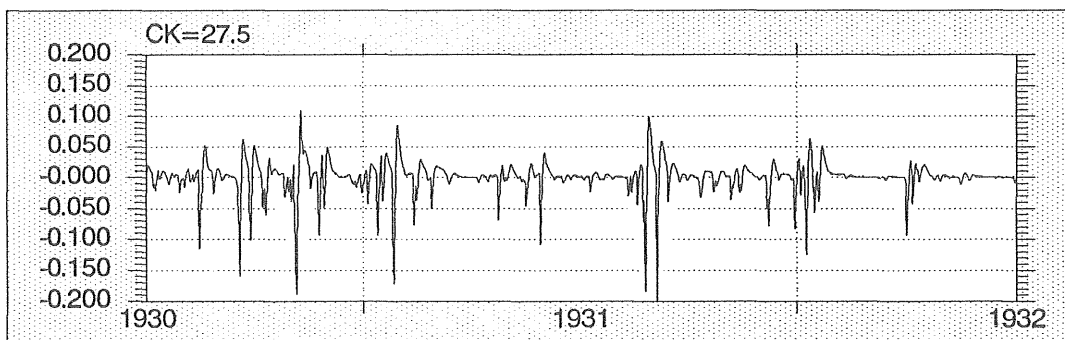
För övriga parametrar fås tvärtom en minskad avrinning vid ökande parametervärden. Det är då intressant att CKif inte uppvisar samma beteende som övriga tidsparametrar. Detta beror på att avdunstningen får en ökad roll med ökande CKif.

De höga värdena på TG, jämfört med övriga tröskelvärden, visar på basflödets stora betydelse för den totala av-

rinningsvolymen under kortare perioder Detta är också ett resultat av det relativt låga värdet på CQof. Helt klart framstår U_{max} och L_{max} som de mest betydelsefulla parametrarna med hänsyn till de totala volymsförändringarna. Samtidigt visar de högre värdena på dVr för -10 % att yt- och rotzonsmagasinet även för detta kriterie är känsligare vid mindre magasin.

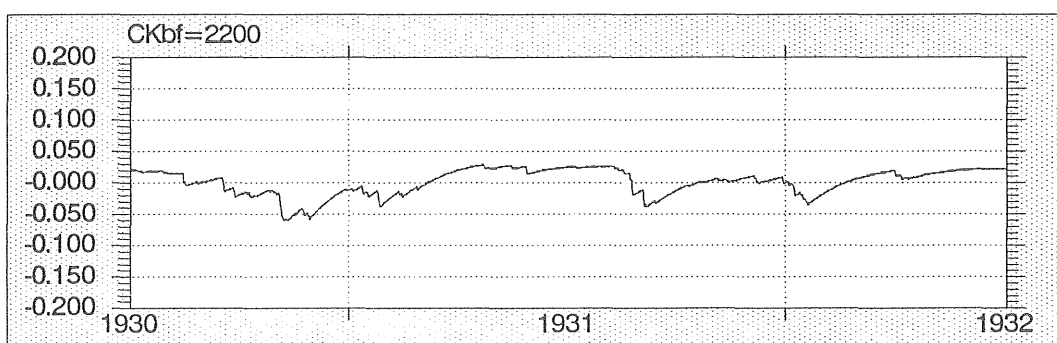
4.2.3 Kriteriet dQr

Kurvor har tagits fram för dQr-kriteriet för $\pm 10\%$ av referensvärdena (för tröskelvärdena gäller värden enligt kapitel 4.2.1). Beräkningarna för $\pm 10\%$ visar att resultaten för samma parameter är i stort sett likvärdiga. Skillnaden ligger i teckenförändring (dVr positiv/negativ). Därmed har det valts att här endast redovisa dQr-kurvor för +10% .



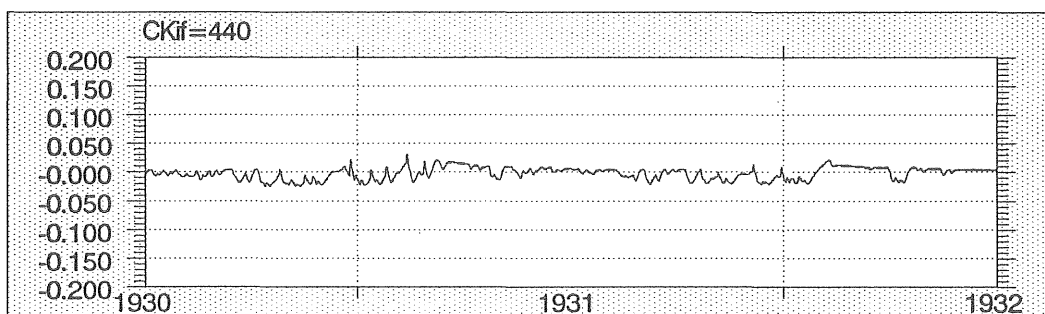
Figur 4.1 dQr-kurva för CK

Trots att dVr-värdet i princip är noll så är variationerna i dQ-kurvan väldigt stora för CK. Framförallt gäller detta under kraftiga nederbördstillfällen, något som är naturligt då CK till stor del styr flödestopparna.



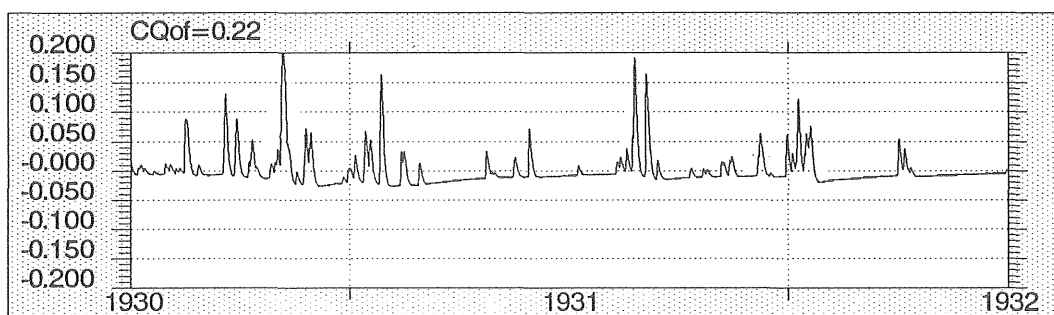
Figur 4.2 dQr-kurva för CKbf

CKbf ger totalt en ökad avrinning för +10% under den studerade perioden. Variationerna för dQr är inte så stora i varje tidssteg, men under kortare perioder fås ändå stora volymfel.



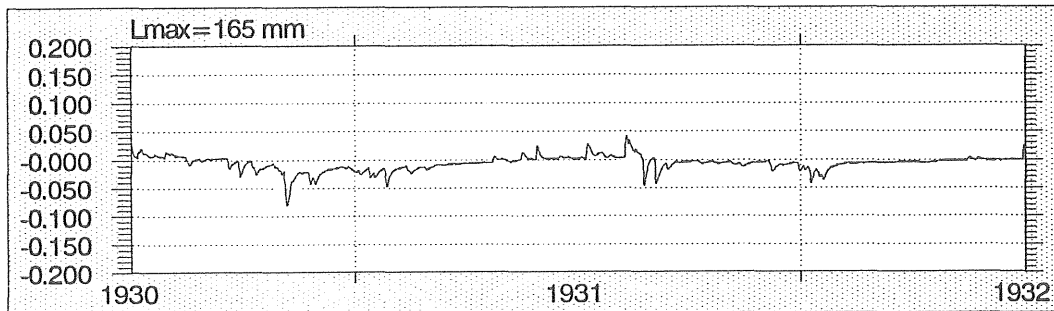
Figur 4.3 dQr-kurva för CKif

CKif ger totalt en minskad avrinning för +10% . Jämför man med dQr-kurvor för andra parametrar är förändringarna små, men totalt spelar CKif ändå en relativt stor roll för totala avrinningen, vilket visas av det höga dVr-värdet. Påverkan är mycket jämn över perioden, men störst under perioder med låg avdunstning.



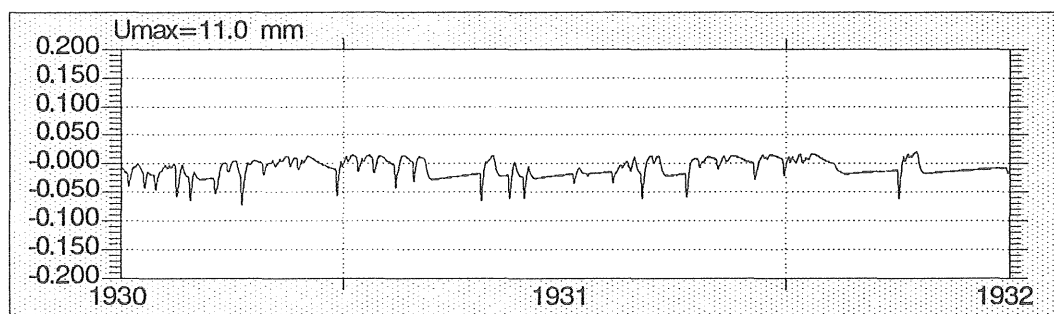
Figur 4.4 dQr-kurva för CQof

CQof ger totalt en ökad avrinning för +10% . Här fås liksom för CK stora förändringar, men den totala påverkan är dock mycket större än för CK.



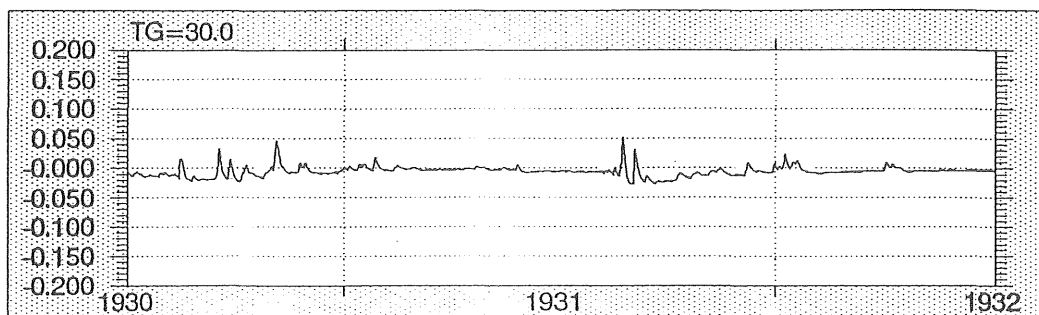
Figur 4.5 dQr-kurva för Lmax

Lmax ger totalt en minskad avrinning för +10% .
Påverkan är i huvudsak koncentrerad till nederbördsrika perioder.



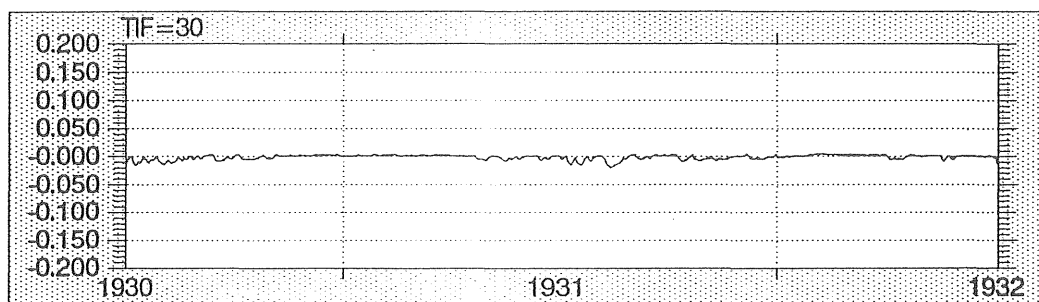
Figur 4.6 dQr-kurva för Umax

Umax ger totalt en minskad avrinning för +10% . Variationer förekommer under hela perioden. Påverkan verkar dock något större under perioder med hög avdunstning.



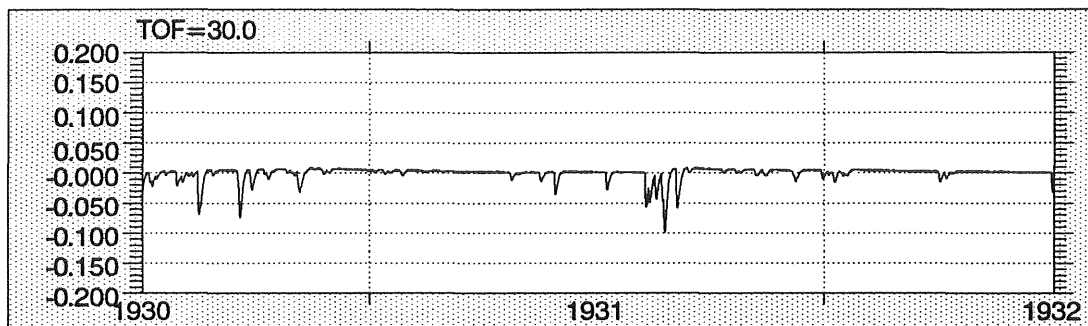
Figur 4.7 dQr-kurva för TG

TG ger totalt en minskad avrinning för +10% . Dess påverkan är liten under perioden förutom under början av blöta perioder (kraftig påfyllnad av rotzonsmagasinet) då en ökad påverkan kan noteras.



Figur 4.8 dQr-kurva för TIF

TIFs påverkan är totalt sett mycket liten. En viss påverkan kan dock noteras vid kraftiga nederbördstillfällen under perioder med hög avdunstning.



Figur 4.9 dQr-kurva för TOF

TOF har i princip en tidsmässig påverkan som är motsatt den för TG. Dock är den totala volymspåverkan för TOF nära noll.

4.3 Analys av Responsytor

Responsytorna är beräknade med SIGMArel som känslighets-kriterium. Ytorna uttrycker genom sitt utseende känsligheten i två dimensioner. Då avstånden mellan två linjer alltid innebär samma storleksmässiga förändring av SIGMArel-värdet, visar tätheten hos linjerna hur snabbt resultatet reagerar på en parameterförändring. Den storleksmässiga förändringen mellan två linjer är $10 \cdot 10^{-3}$. Detta kan utläsas i X- och Y-led, för varje parameter vid olika parameterkombinationer. Generellt så blir det ytornas form kombinerat med linjernas täthet som beskriver parametrarnas inbördes känslighet och påverkan, se exempel i kapitel 2.3.1.

Vid analysen av responsytorna har följande "kom ihåg" använts:

- Analys utförs först och främst med avseende på formen och en generell beskrivning av parametrarnas uppträdande. Således har inte hänsyn tagits till små avvikande delar i kurvorna.
- Responsytorna beskriver endast parametrarnas känslighet med avseende på det valda kriteriet (SIGMArel). Alltså kan endast slutsatser dras om parametrarnas totala påverkan på beräkningsresultatet, ej vilka detalj-effekter som erhålls.

4.3.1 Avdunstningsprocessen - Magasinen

Figur 4.10 Parameterkombinationen $L_{max}/U_{max}/CQ_{of}$

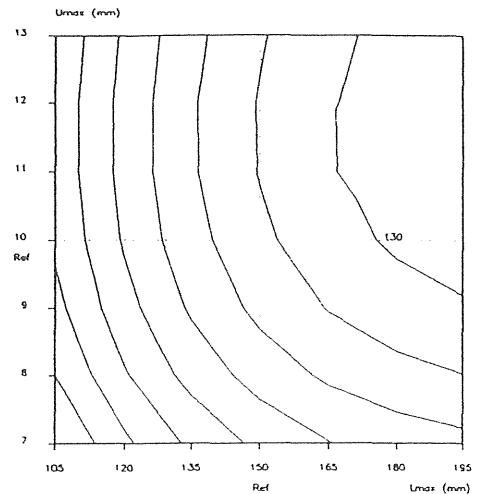
Överlag är U_{max} något känsligare än L_{max} . Betydelsen av L_{max} i förhållande till U_{max} minskar dock med minskande CQ_{of} och ökar med ökande CQ_{of} .

Ett annat intressant fenomen är att känsligheten för U_{max} och L_{max} generellt sett minskar med minskande CQ_{of} .

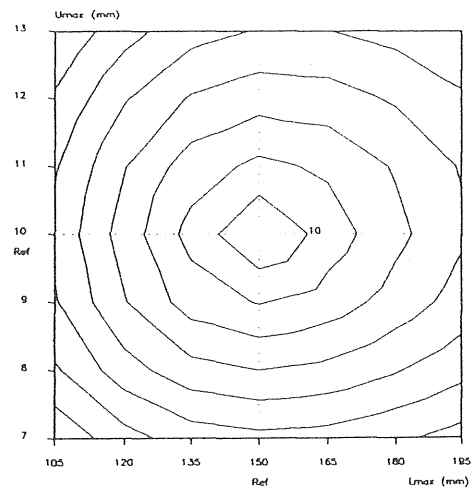
Dessutom kan följande konstateras:

- L_{max} känsligare för minskande L_{max}
- U_{max} känsligare för minskande U_{max}
- U_{max} och L_{max} påverkar i princip inte varandras känslighet.

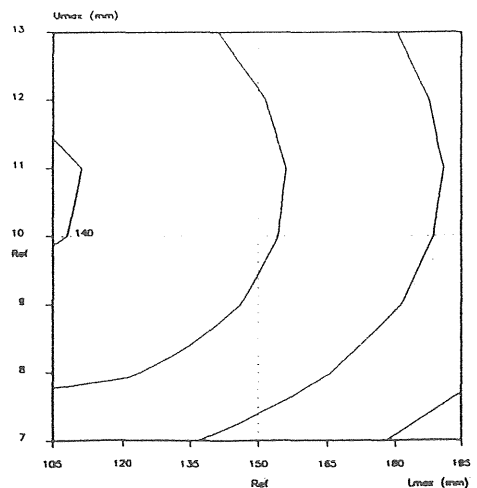
$CQ_{of}=0.3$



$CQ_{of}=0.2$
(Ref)



$CQ_{of}=0.1$



4.3.2 Avdunstningsprocessen - Tröskelvärdena

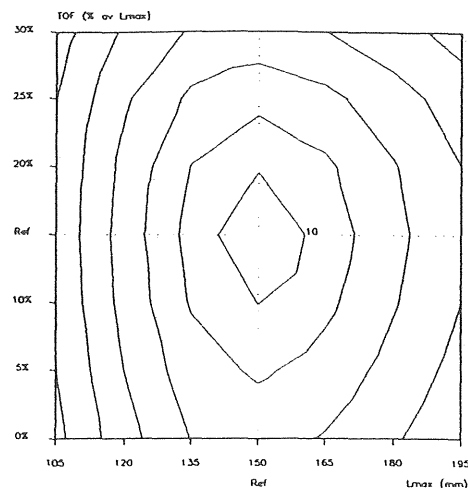
Figur 4.11 Parameterkombinationen
Lmax/Tröskelvärden

Överlag är Lmax känsligare än tröskelvärdena, speciellt gäller detta för Tif där Lmax är mycket känsligare.

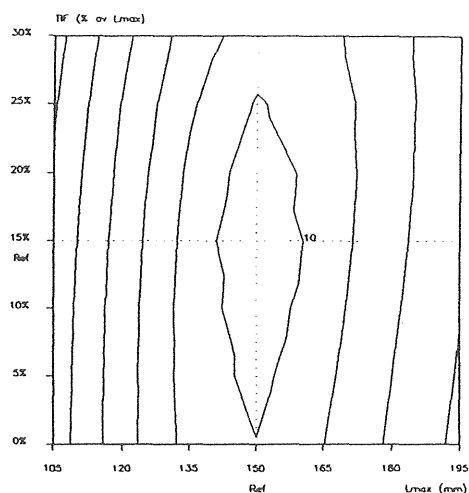
Dessutom kan följande konstateras:

- Lmax känsligare för minskande Lmax
- Tröskelvärdena känsligare för ökande tröskelvärden
- Lmax och respektive tröskelvärde påverkar i princip inte varandras känslighet.

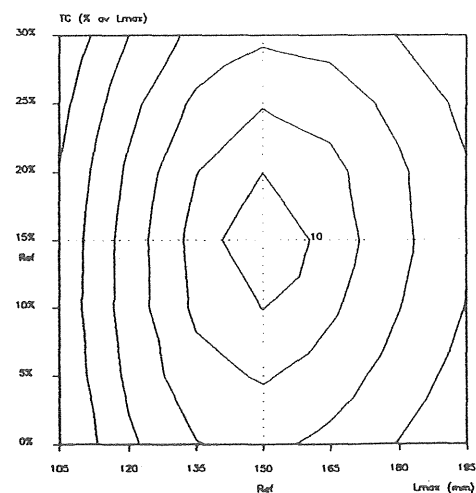
TOF



TIF



TG



4.3.3 Styrning av övre "växel"

Figur 4.12 Parameterkombinationen
CQof/TOF/Umax

Responsytorna visar att
Tof generellt sett är
känsligare för ökande
CQof.

Umax=15
[mm]

Betydelsen av Tof i för-
hållande till CQof ökar
vid minskande Umax. Dock
är CQof alltid känsligare
än Tof.

Dessutom kan följande
konstateras:

-Cqof lika känslig för
ökande som minskande
CQof.

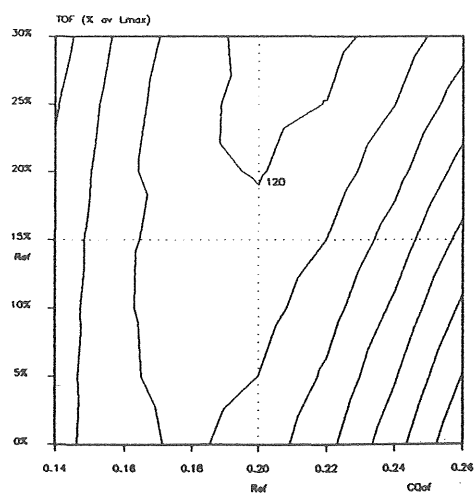
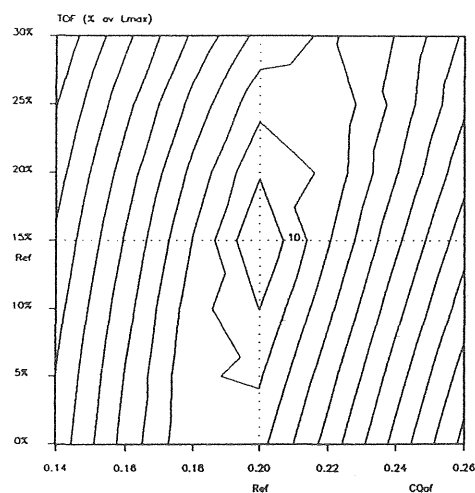
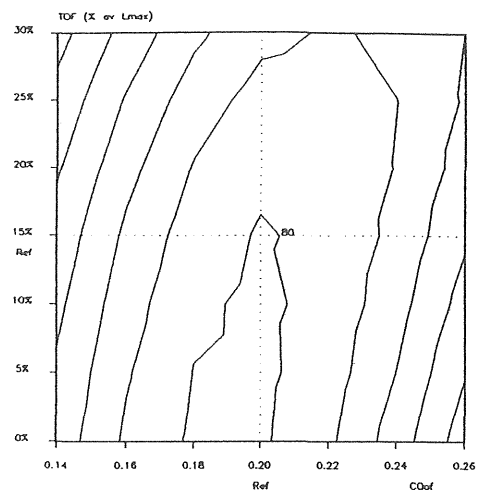
-Tof något känsligare för
ökande Tof vid
minskande CQof och vice
versa, dvs Tof något
känsligare för minskande
Tof vid ökande CQof.

Umax=10
[mm]
(Ref)

-Tof påverkar i princip
inte känsligheten för
Cqof.

Slutligen kan en viss
"koppling" mellan CQof
och Tof konstateras.
Responsytorna visar här
nämligen att en höjning
av CQof till viss del kan
"kompenseras" av en
höjning av Tof.

Umax=5
[mm]



4.3.4 Styrning av nedre "växel"

Figur 4.13 Parameterkombinationen
CQof/TG/Lmax

Responssytorna visar att Tg generellt sett är känsligare för ökande CQof.

Lmax=225
[mm]

Betydelsen av Tg i förhållande till CQof minskar vid minskande Lmax. Dock är CQof alltid känsligare än Tg.

Dessutom kan följande konstateras:

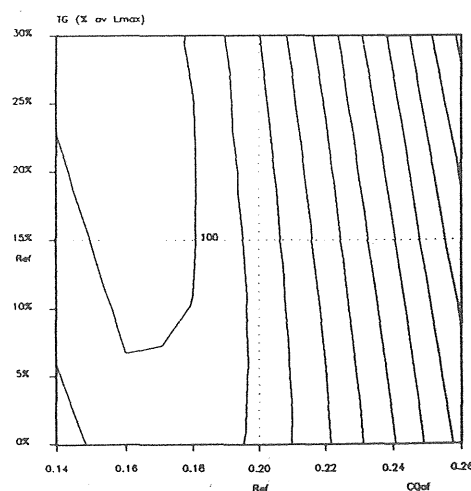
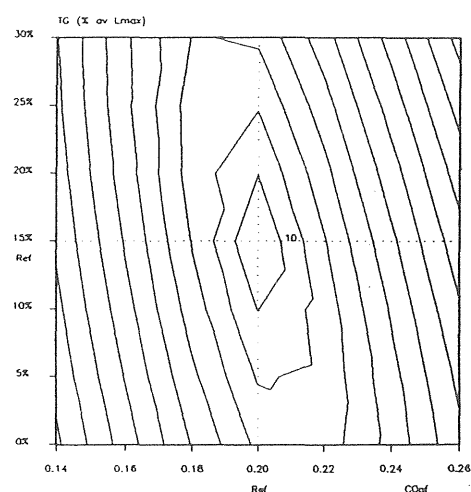
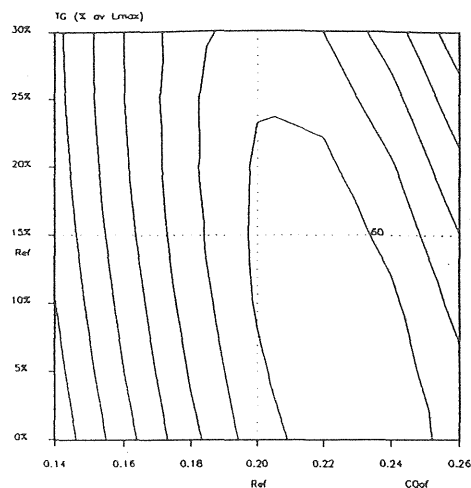
- Cqof lika känslig för ökande som minskande CQof.

- Tg något känsligare för ökande Tg vid ökande CQof och vice versa, dvs Tg något känsligare för minskande Tg vid minskande CQof.

- Tg påverkar i princip inte känsligheten för Cqof.

I likhet med den övre "växeln" kan en viss "koppling" mellan CQof och Tg konstateras. Responssytorna visar här nämligen att en höjning av CQof till viss del kan "kompenseras" av en minskning av Tg.

Lmax=75
[mm]



4.3.5 Responsfunktionerna

Figur 4.14 Parameterkombinationen
CK/CKif/Umax

Betydelsen av CKif i förhållande till CK ökar något med ökande Umax, generellt sett är dock CK av helt dominerande betydelse.

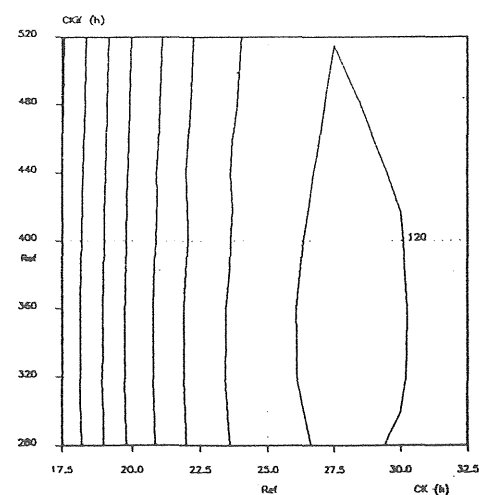
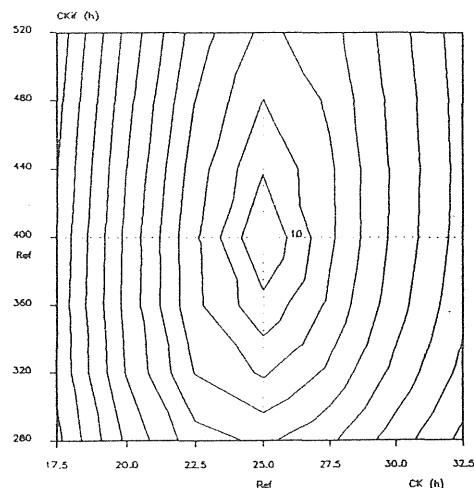
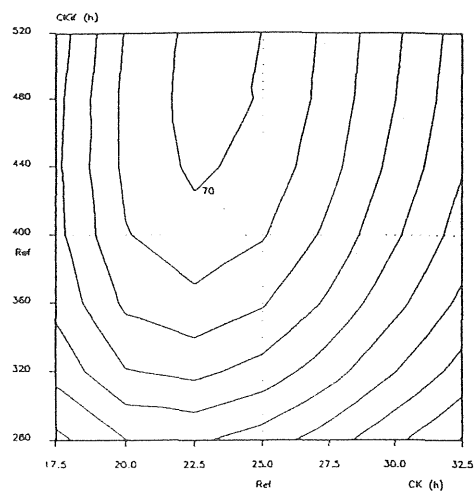
Umax=15
[mm]

Dessutom kan följande konstateras:

- CK känsligare för minskande CK
- CKif känsligare för minskande CKif
- CK och CKif påverkar i princip inte varandras känslighet.

Umax=10
[mm]
(Ref)

Umax=5
[mm]



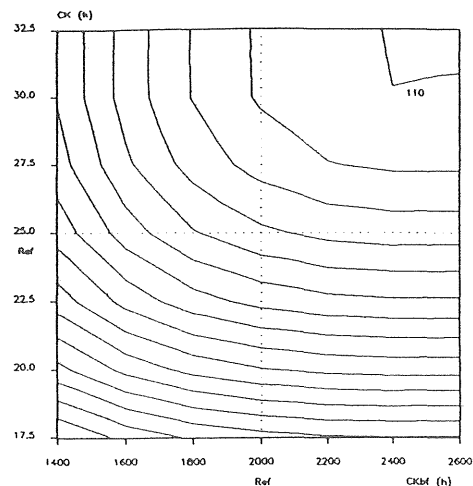
Figur 4.15 Parameterkombinationen CKbf/CK/CQof

Generellt är CK något känsligare än CKbf, dock kan det konstateras att betydelsen av CKbf i förhållande till CK ökar med minskande CQof och omvänt minskar med ökande CQof.

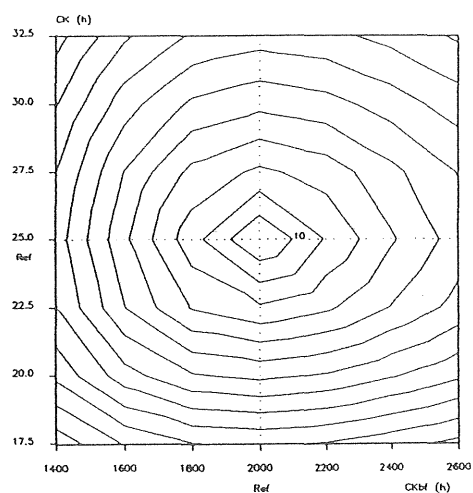
Dessutom kan följande konstateras:

- CK känsligare för minskande CK
- CKbf känsligare för minskande CKbf
- CK och CKbf påverkar i princip inte varandras känslighet.

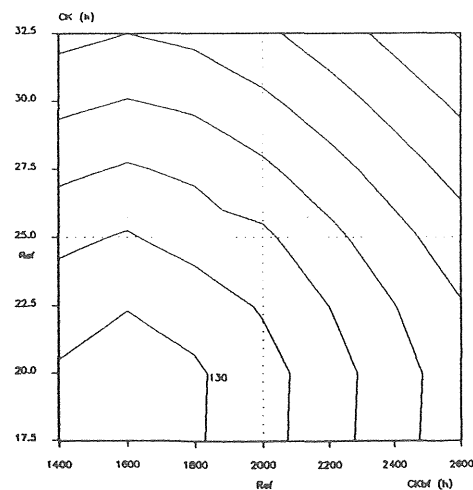
CQof=0.3



CQof=0.2
(Ref)



CQof=0.1



5. Slutsatser

För SIGMApeakrel-kriteriet uppvisar parametrarna **CK** och **CQof** klart störst känslighet. Detta gäller även SIGMArel-kriteriet, men ej så markant då även **CKbf**, **Umax** och **Lmax** har relativt hög känslighet. Minst påverkan fås för **TIF**.

Störst påverkan på totalt avrunnen volym fås vid ändring av parametrarna **Lmax** och **Umax** som båda ger ökad avrinning för minskade värden. Även **TG** ger en liknande effekt. Minst känsliga med avseende på totalt avrunnen volym är parametrarna **CK**, **CKbf** och **TOF**, där **CK** och **CKbf** ej påverkar totalt avrunnen volym under en längre hydrologisk period.

Parametrarna **CK**, **CKbf**, **Umax**, **Lmax** och **CKif** uppvisar alla större känslighet för minskande parametervärden. Tröskelvärdena **TOF**, **TG** och **TIF** uppvisar alla större känslighet för ökande parametervärden. **CQof** är lika känslig för ökande som minskande värden.

För de studerade parameterkombinationerna kan följande samband konstateras.

- Betydelsen av **Lmax** i förhållande till **Umax** minskar med minskande **CQof**.
- Känsligheten för **Umax** minskar med minskande **CQof**.
- Känsligheten för **Lmax** minskar med minskande **CQof**.
- TOFs** känslighet ökar med ökande **CQof**.
- TOFs** känslighet i förhållande till **CQof** ökar med minskande **Umax**.
- TGs** känslighet ökar med ökande **CQof**.
- TGs** känslighet i förhållande till **CQof** minskar med minskande **Lmax**.
- CKifs** känslighet i förhållande till **CK** ökar med ökande **Umax**.
- CKbfs** känslighet i förhållande till **CK** ökar med minskande **CQof**.

Dessutom kan följande kopplingar konstateras:

- En ökning av **CQof** kan kompenseras av en minskning av **TG** och/eller en ökning av **TOF**.

Slutligen ges nedan en sammanställning av under vilka hydrologiska perioder som respektive parameter ger störst påverkan:

CQof, CK

-Ger kraftig påvekan vid varje nederbördstillfälle. **CQof** påverkar dock även under mellanliggande torrperioder.

CKbf

-Ger störst påverkan under kraftiga blöt- och torrperioder.

CKif

-Påverkar mest under perioder med låg avdunstning.

Lmax

-Påverkar mest under nederbördsrika perioder.

Umax

-Påverkar mest under perioder med hög avdunstning.

TG, TOF

-Påverkar mest under perioder med kraftig påfyllning av rotzonsmagasinet.

TIF

-Påverkar mest vid kraftiga nederbördstillfällen under perioder med hög avdunstning.

6. Förslag till fortsatta studier

Då denna studie genomförts inom ramen för ett examensarbete har vissa begränsningar införts vad gäller arbetets omfattning. Härvid har de mest intressanta parametrarna och sambanden mellan dessa studerats. För att erhålla en mer komplett känslighetsanalys borde dock ett antal ytterligare parametrar och samband studeras. Nedan ges motiv och en kort beskrivning för de intressanta fall som ej analyserats i denna studie.

Vattenbalansen styrs i huvudsak av dels den totala ytan som avvattnas via INE (Aine), dels de parametrar som styr avdunstningsprocessen, i huvudsak storleken på yt- respektive rotzonsmagasinet (U_{max} respektive L_{max}). Sambandet mellan dessa parametrar vore därför intressant att studera.

I NAM-modellen finns en parameter (Agof) som beskriver förhållandet mellan arean inom grundvattendelaren och arean inom ytvattendelaren. Vid praktisk användning av modellen i urbana sammanhang (beskrivning av INE-fenomen) har denna möjlighet hittills inte använts. Det har istället antagits att eventuella skillnader mellan yt- och grundvattendelare kan beskrivas med parametern CQof. För att verifiera detta antagande borde sambandet mellan dessa parametrar studeras.

Det är ett vanligt antagande vid kalibrering av NAM-modellen att tidskonstanterna för den snabba responsfunktionen i den övre delen av modellen har samma värde, dvs $CK = CK1 = CK2$. Det bör därför vara av intresse att studera sambandet mellan dessa parametrar för att ge ett bättre belägg för detta antagande.

Flödet från grundvattenmagasinet styrs förutom av grundvattendjupet av dels tidskonstanten CKbf, dels av en parameter (Sy) som beskriver markens vattenavgivningstal. Vid kalibrering av NAM-modellen används normalt endast parametern CKbf, medan parametern Sy oftast sätts till värdet 0.10. Ekvationen som beskriver flödet från grundvattenmagasinet indikerar också att en höjning av vattenavgivningstalet (Sy) direkt kan kompenseras av en höjning av tidskonstanten CKbf. En studie av sambandet mellan dessa parametrar borde dock utföras för att mer konkret visa detta.

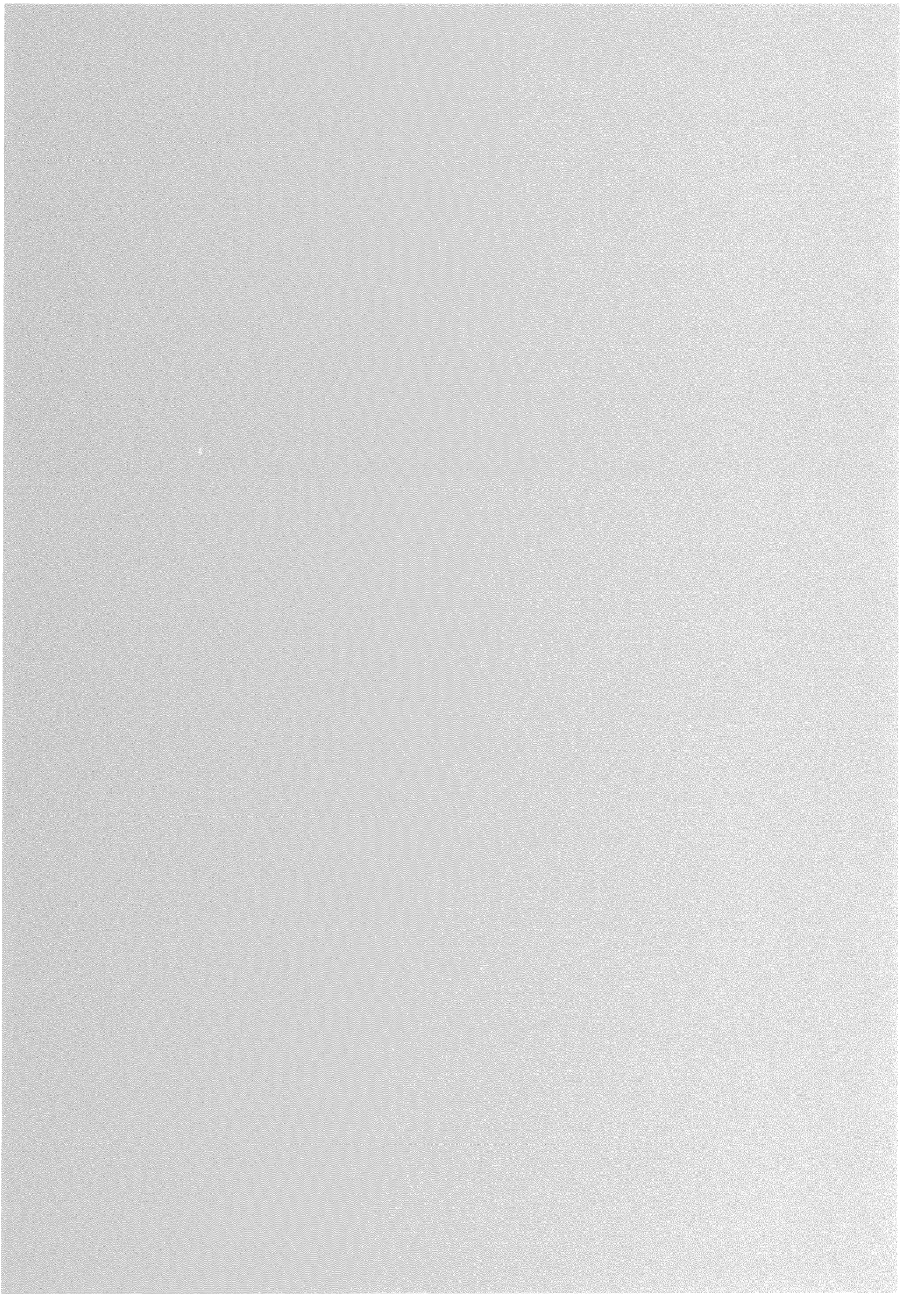
NAM-modellen inkluderar även beskrivning av en kapillär vattentransport från grundvattenmagasinet till rotzonsmagasinet (den omättade markzonen). Denna vattentransport har hittills ej aktiverats i urbana tillämpningar, det vill säga parametern GWLFL1 har satts till noll. Det har därmed antagits att dessa fenomen antingen ej uppstår (vid

indirekt nederbördspåverkan) eller att de kan beskrivas med de övriga parametrarna, T_g , L_{max} etc. En noggrannare studie av detta antagande borde dock vara intressant. Sammanfattningsvis borde studier av följande samband vara av intresse, exempelvis enligt metoder liknande de som använts i detta examensarbete:

- Vattenbalansen
 $A_{ine} / L_{max} / U_{max}$
 A_{ine} / U_{max}
- Fördelningen mellan ytavrinning och infiltration
 $Agof / CQof$
- Responsfunktionen för ytavrinning
 $CK1 / CK2$
- Responsfunktionen för basflöde
 $S_y / CKbf$
- Kapillär strömning från mättad till omättad zon
 $GWLFL1 / ?$

Referenser och övrig litteratur

- /1/ **Development and application of conceptual runoff model for Scandinavian catchments.**
Sten Bergström, SMHI, Norrköping (1976).
- /2/ **Nederbördens varaktighet och mängd vid Lundby i Göteborg 1921-1939.** CTH-meddelande nr:10.
- /3/ **Indirekt nederbördspåverkan i duplikata spillvattensystem. Metodik för flödessimulering.** Gävle kommun VBB/Ledningsförnyelse (1990).
- /4/ **NAM. Documentation and User's guide. MIKE11.** Dansk Hydraulisk Institut (DHI), Hørsholm, Danmark (1989).
- /5/ **Det hydrologiska kretsloppet (kapitel 2), Hydrologiska avrinningsmodeller (kapitel 3).**
Sten Bergström, SMHI utbildning, Norrköping (1988).
- /6/ **Principles and confidence in hydrological modelling.** Sten Bergström, SMHI, Norrköping (1991).



Initiella värden:

Vatten i ytmagasinet: $U=0$ mm
Vatten i rotzonsmagasinet: $L=60$ mm (40% av L_{max})
ytavrinning: 0 mm/h
Interflow: 0 mm/h
Grundvattendjup: 9.70 m

Definition av referensområde:

Ytmagasin	$U_{max}=10$ mm
Rotzonsmagasin	$L_{max}=150$ mm
Ytavrinningsskoeff.	$CQOF=0.2$
Tidskonstant Interflow	$CKIF=400$ h
Tidskonstant Basflöde	$CKBF=2000$ h
Tidskonstant Ytavrinning	$CK=25$ h
Tröskelvärden	$TIF=15$ % av L_{max} $TG=15$ % av L_{max} $TOF=15$ % av L_{max}

Area som avvattnas via indirekt nederbördspåverkan.	$A_{ine}=50$ km ²
Snösmältningsskoeff	0 mm/°C/d
Förhållande mellan arean inom grundvattendelaren och arean inom ytvattendelaren.	$Agof=1.0$
Vattenavgivningstal	$S_y=0.1$
Maximalt grundvattendjup som genererar basflöde	$GWLBFo=10.00$ m
Grundvattendjup för kapillärlös strömning	$GWLFL1=0.00$ m

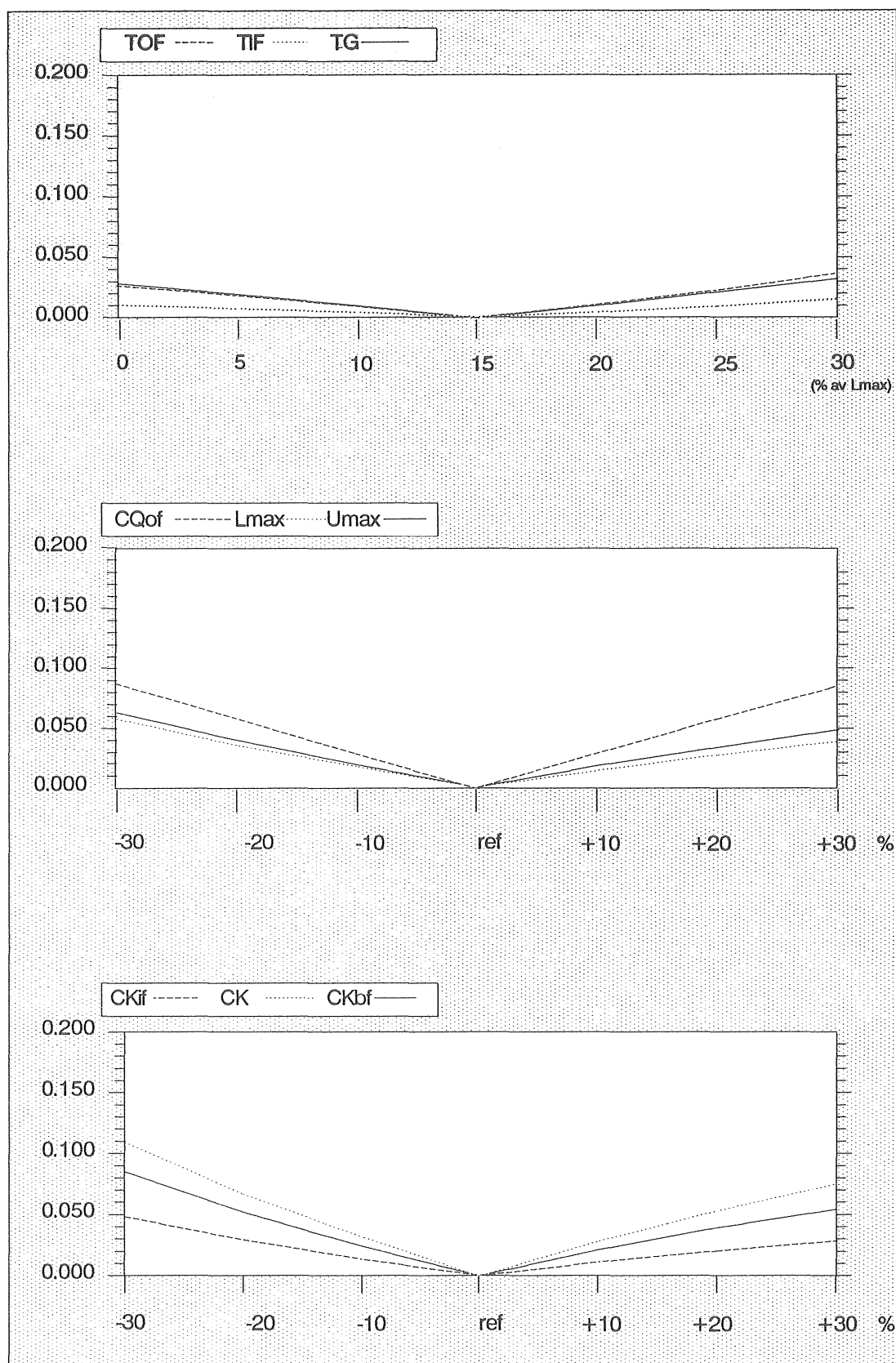
Examensarbete

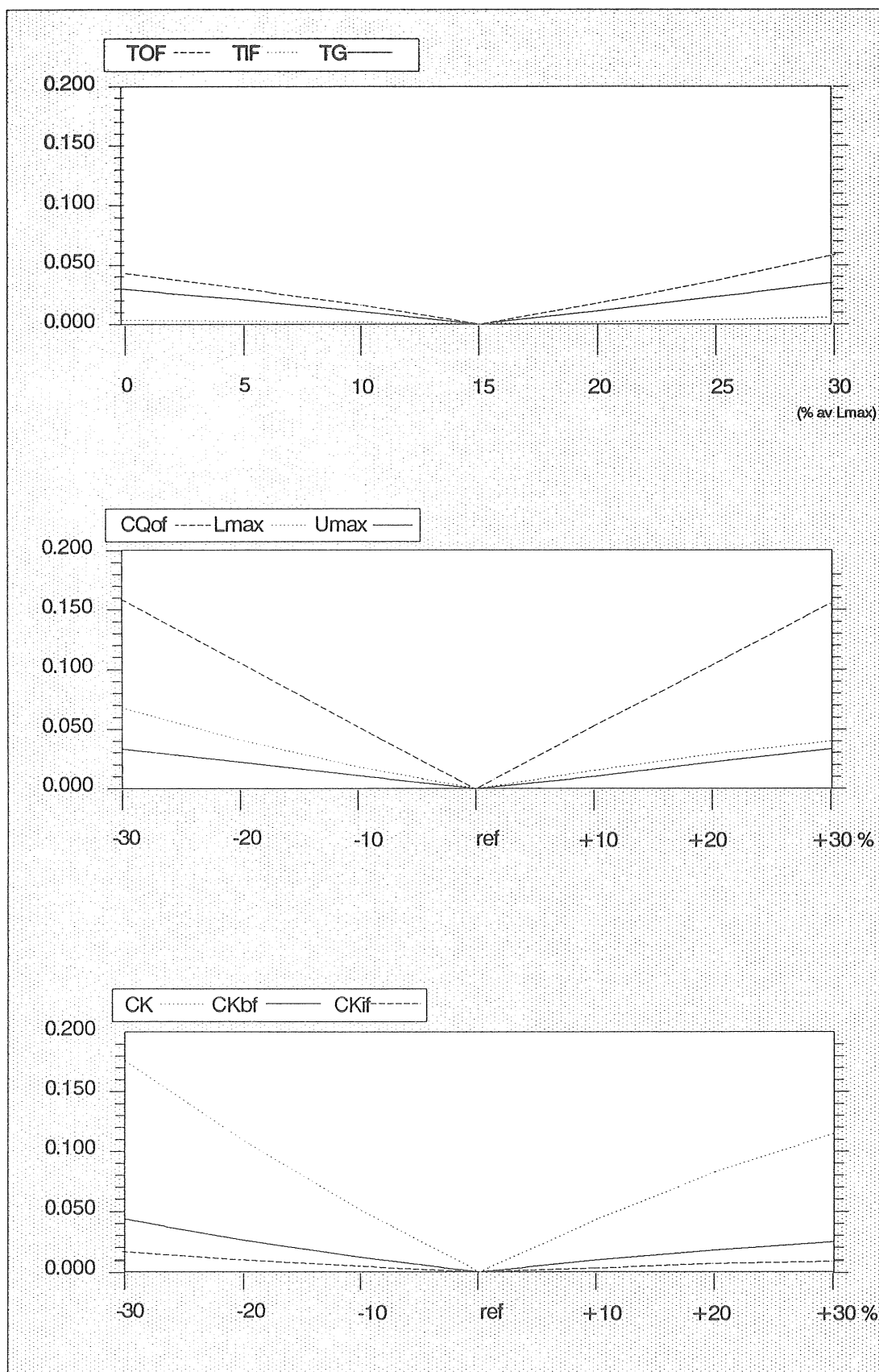
NAM-modellen
Sensitivitetsanalys

Värden på i analysen ingående parametrar för variationsspannet $\pm 30\%$.

%	U _{max} (mm)	L _{max} (mm)	CQ _{of}	CK (h)	CK _{if} (h)	CK _{bf} (h)
-30	7	105	0.14	17.5	280	1400
-20	8	120	0.16	20.0	320	1600
-10	9	135	0.18	22.5	360	1800
Ref.	10	150	0.20	25.0	400	2000
+10	11	165	0.22	27.5	440	2200
+20	12	180	0.24	30.0	480	2400
+30	13	195	0.26	32.5	520	2600

	TOF (% av L _{max})	TG	TIF
	0 5 10	0 5 10	0 5 10
Ref	15	15	15
	20 25 30	20 25 30	20 25 30





Resultat SIGMArel och SIGMApeakrel, övriga värden

	Lmax (mm)	σ_{rel}	$\sigma_{peakrel}$	Umax (mm)	σ_{rel}	$\sigma_{peakrel}$
-30%	105	5.76	6.77	7	6.26	3.33
-20%	120	3.56	4.07	8	4.01	2.20
-10%	135	1.66	1.83	9	1.93	1.10
Ref	150	0	0	10	0	0
10%	165	1.45	1.54	11	1.76	1.04
20%	180	2.73	2.87	12	3.41	2.17
30%	195	3.84	4.04	13	4.95	3.27

	CK (tim)	σ_{rel}	$\sigma_{peakrel}$	CQof	σ_{rel}	$\sigma_{peakrel}$
-30%	17.5	10.85	17.57	0.14	8.85	16.02
-20%	20	6.74	10.87	0.16	5.87	10.64
-10%	22.5	3.15	5.06	0.18	2.92	5.29
Ref	25	0	0	0.20	0	0
10%	27.5	2.79	4.36	0.22	2.89	5.25
20%	30	5.26	8.26	0.24	5.76	10.44
30%	32.5	7.47	11.46	0.26	8.60	15.60

	CKif (tim)	σ_{rel}	$\sigma_{peakrel}$	CKbf (tim)	σ_{rel}	$\sigma_{peakrel}$
-30%	280	4.82	1.73	1400	8.53	4.43
-20%	320	2.86	0.99	1600	5.21	2.62
-10%	360	1.28	0.45	1800	2.40	1.16
Ref	400	0	0	2000	0	0
10%	440	1.07	0.34	2200	2.07	0.99
20%	480	1.98	0.65	2400	3.86	1.81
30%	520	2.75	0.88	2600	5.44	2.52

% av Lmax	TIF		TOF		TG	
	σ_r	σ_{pr}	σ_r	σ_{pr}	σ_r	σ_{pr}
0	1.03	0.34	2.66	4.28	2.78	3.04
5	0.72	0.25	1.86	2.99	1.89	2.06
10	0.39	0.12	0.98	1.57	0.97	1.06
15	0	0	0	0	0	0
20	0.43	0.12	1.09	1.75	1.02	1.11
25	0.92	0.28	2.32	3.72	2.08	2.27
30	1.46	0.47	3.66	5.91	3.20	3.50

