

DEN MODERNA HYDROLOGINS EXPANDERANDE PERSPEKTIV

Malin Falkenmark
*Naturvetenskapliga forskningsrådet
Sverige*

INLEDNING

Bakgrunden till denna översiktsartikel, illustrerande de växande kraven på den moderna hydrologin, är ett isländskt trippeljubiläum: Sigurjón Rist, den store pionjären inom isländsk hydrologi firade i oktober 1987 sin 70-årsdag, Hydrologisk avdelning sin 40-årsdag och Orkustofnun, den isländska vattenkraft-myndigheten sin 20-årsdag, dvs allt som allt ett hydrologiskt 130-års jubileum. Som ett led i den nationella hydrologiska manifestation som dessa jubiléer givit upphov till ingick nedanstående jubileumsföredrag, i vilket symposiets inledande isländska tillbakablick kompletteras med en global framåtblick. I några korta penseldrag skall här målas upp några av de nya utmaningar som framtidens hydrologer kommer att ställas inför:

- klimatförändringen och dess effekter
- gränsområdet hydrologi/ekologi
- Afrikas tilltagande vattenbrist
- miljöförstörelsen sedd ur ett hydrologiskt perspektiv.

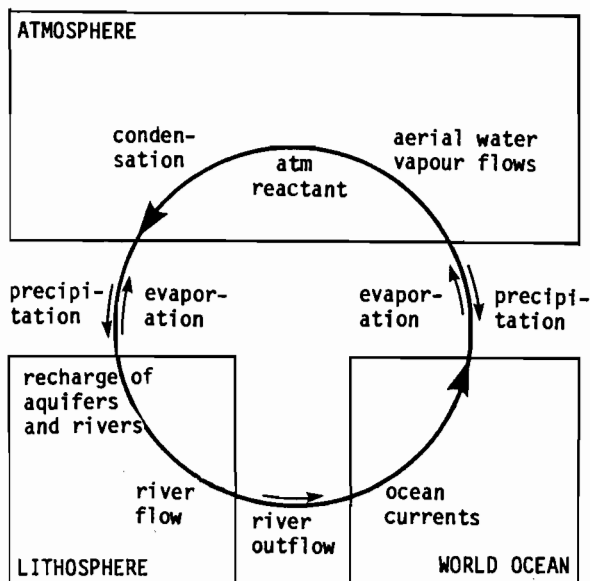
GEOSFÄREN OCH VATTENCYKELN

Vattencykeln ingår som en fundamental länk av geosfären (fig. 1). Denna utgörs i princip av tre olika sfärer: atmosfären, litosfären, och världshavet (det senare ibland omnämnt som hydrosfären - ett missvisande uttryck som enbart skapar oreda). De tre nämnda sfärerna är inbördes sammanlänkade av vattencykeln, som transporterar vatten mellan hav, atmosfär och

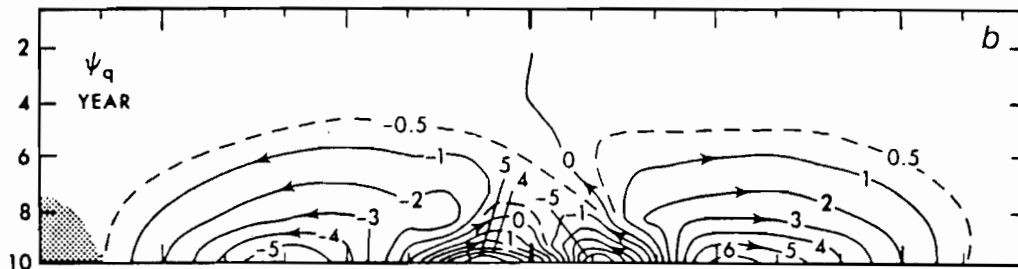
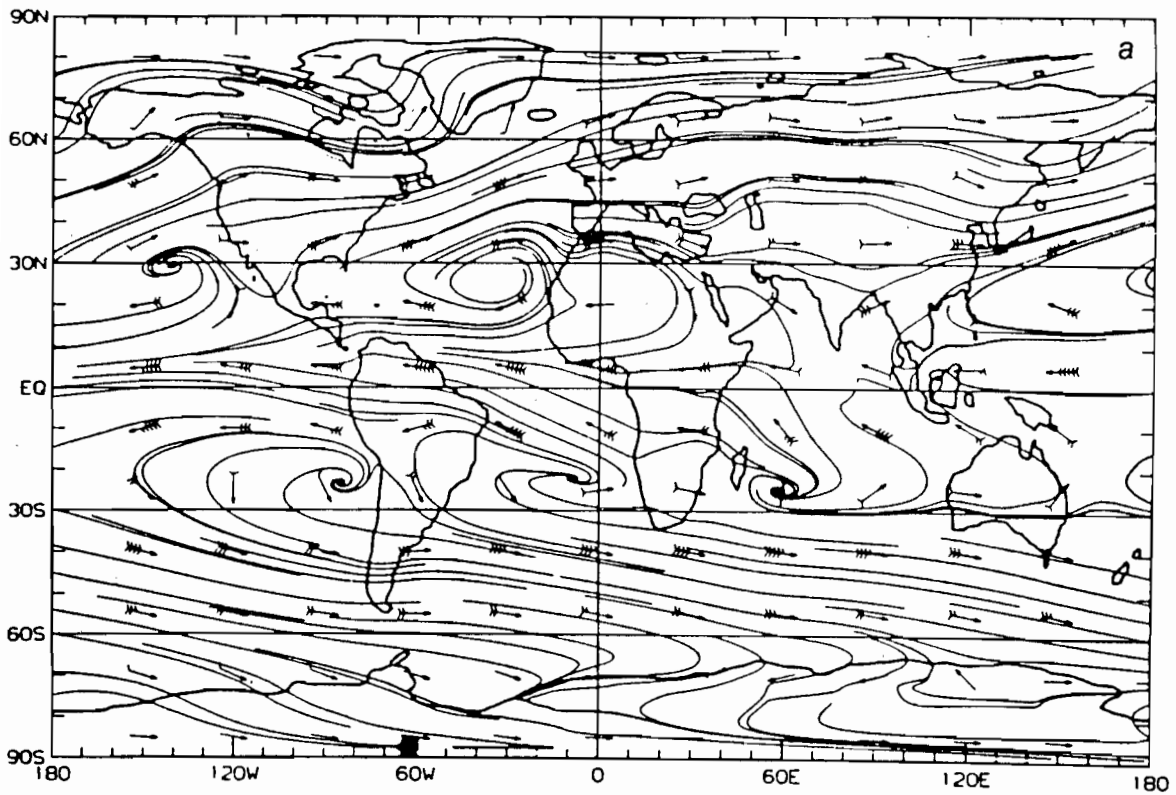
kontinenter i ett evigt, soldrivet kretslopp.

Inom geosfären har vattencykeln i princip tre grundläggande funktioner, av vital betydelse för livet på jorden (Falkenmark 1987a):

a. Den atmosfäriska distributionen av vatten från havet in över kontinenterna i ett oupphörligt vattenångeflöde (fig. 2). Detta flöde står i ett kontinuerligt utbyte av vatten med underliggande landtytor: intermittent avges nederbörd, kontinuerligt mottas avdunstning.



FIGUR 1. Vattencykeln gör den kontinuerligt cirkulerande länken mellan de tre geosfärerna: atmosfären, litosfären och världshavet.



FIGUR 2. Atmosfärens genomsnittliga ångflödesmönster enligt Peixoto & Oort (1983).
 a. Strömlinjerna för årliga medellångflödet. Varje tvärstreck på pilarna representerar 2 m/s.g/kg.
 b. Vertikala profiler för genomsnittliga meridionala ångflödet. Enhet 10^8 kg/s. Bilden visar källregioner på 15-30° latitud och sänkregioner på högre latituder. Den visar också ett nettoflöde från S till N hemisfären, som når jordytan huvudsakligen som monsunregn.

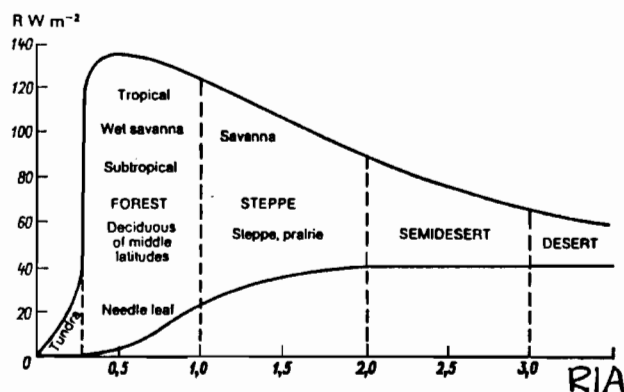
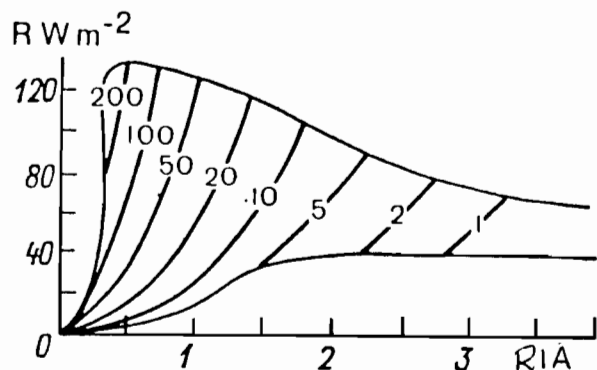
b. Vätningen av kontinenterna. I kombination med strålningsenergitillgången bestämmer denna de ekosystem som utvecklas (fig. 3a).

c. Produktionen av terrestert vatten i grundvattenakviferer och vattendrag. Flödesbildningen bestäms i princip av relationen mellan atmosfärens vattenattraherande förmåga, nederbörden samt strålningsenergin (fig. 3b). Detta är den endogena avrinningsbildningen, dvs nybildningen av vatten i den långa grenen av vattencykeln.

EKOSYSTEMEN OCH VATTENCYKELN

Ekosystemen drivs med vatten som upptas från rotzonen och växtproduktionen upphör vid vattenbrist där. Ekosystemens vattenförsörjning dominerar därmed den vertikala grenen av den terrestra vattencykeln. De ekosystem som tenderar att utvecklas i en viss omgivning styrs enligt nuvarande hypotes av en ekologisk optimalitet, som innebär en strävan hos ekosystemet att dels maximera vattentillgången i rotzonen, dels minimera vegetationens vattenstress (Eagleson 1986).

Enligt nämnda hypotes bestäms exempelvis den blandning av gräs- och trädvegetation som savannen på sikt utvecklar av den ömsesidiga konkurrensen om dels solenergi, dels vatten (Eagleson & Segarra 1985). Det grundrotade gräset får sitt vatten i den översta markzonen, medan de djuprotade träden lever på perkolerande överskottsvatten. De båda forskarna har visat att en modell uppställd på basis av nämnda grundantaganden förmår att rätt återge avståndet mellan träd i olika typer av savann. De har också visat att savannvegetationen har tre skilda jämviktslägen: enbart gräs, enbart skog eller en blandning av båda. Enbart blandningen är stabil mot vegetationsstörningar genom t ex mänsklig verksamhet (t ex betning, skogsavverkning). Denna teori ger därmed en ekohydrologisk förklaring till att så mycket av den ursprungliga afrikanska tropikskogen genom ett omfattande svedjebbruk kommit att ombildas till gles savann.



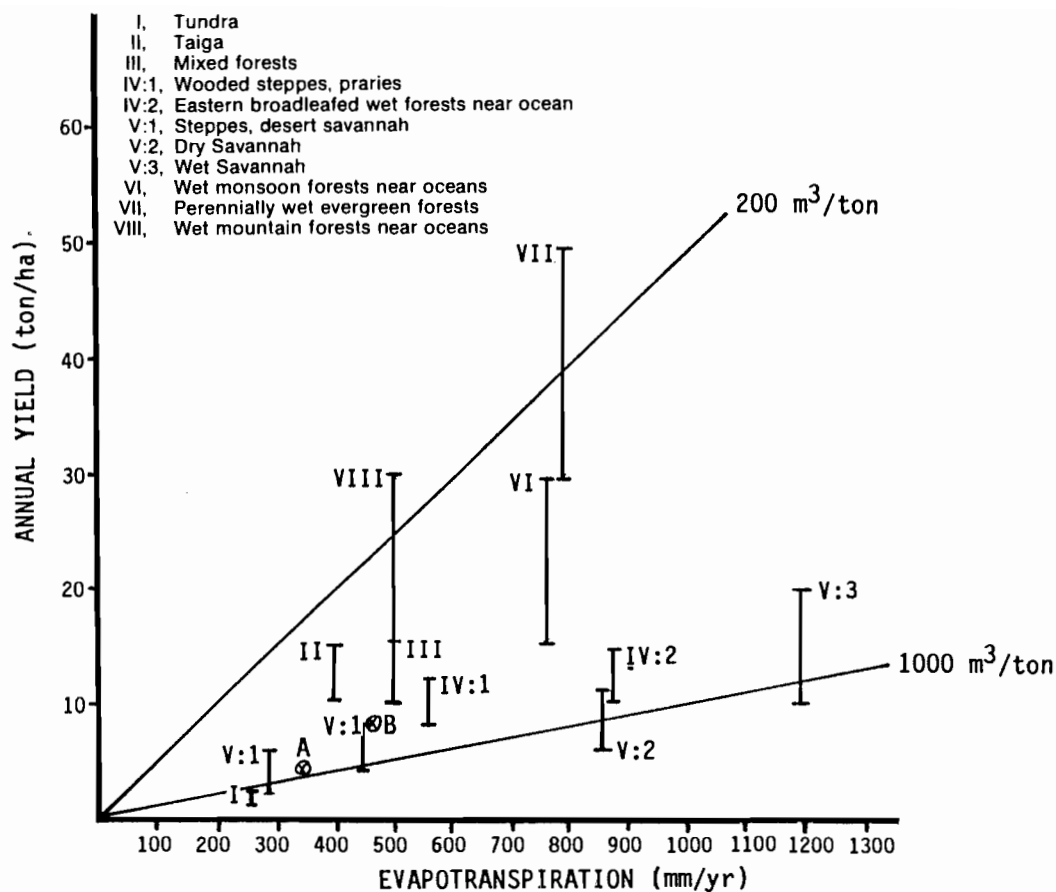
FIGUR 3. Den lokala vatten- och energibalansen bestämmer både geobotanisk zon och mängden nederbördsöverskott, som bildar endogen avrinning. Från Budyko (1986).

a. Geobotanisk zonalitet baserad på RIA (se nedan) och strålningsbalansen R.

b. Lokal påfyllnad av de terrestra vattensystemen i mm/år som funktion av RIA.

RIA är ett ariditetsindex som uttrycker kvoten mellan relativa energiöverskottet och den energimängd som skulle erfordras för att avdunsta all nederbörd.

Återflödet av vatten till atmosfären från växtproduktionen i olika naturliga ekosystem uppgår enligt Lvovich (1979) till mellan 200 och 1000 m³/ton biomassa (fig. 4). Den mindre vattenkonsumtionen motsvarar humitt klimat, den större aritt. I senare fallet utgörs troligen merparten av återflödet av avdunstning från markytan.

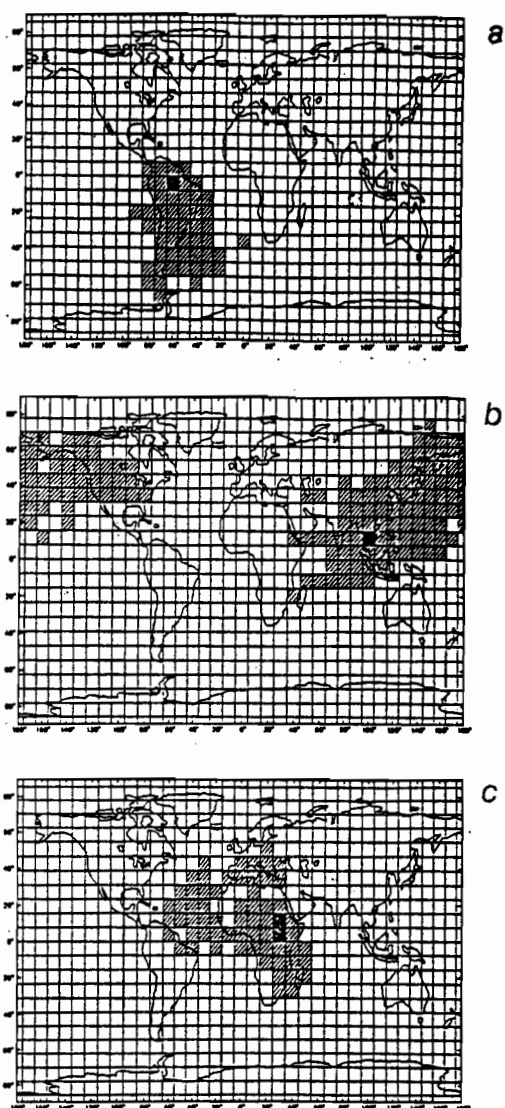


FIGUR 4. Vattenåtgång för produktion av biomassa. Data från Lvovich (1979). Diagrammet visar biomasseproduktionen i de viktigaste ekohydrologiska zonerna som funktion av verklig avdunstning. Diagonallinjer anger mängd vattenkonsumtion per ton producerad biomassa. Punkterna A (jungfrulig stepp) och B (rågåker) representerar ryska fältmätningar.

Det kontinuerliga vattenångeflödet i fig. 2 och betydelsen av vattenutbytet mellan ekosystem och atmosfär gör att storskaliga mänskliga ingrepp i vegetationen kan få kontinentala konsekvenser. Eaglesson (1986) har illustrerat detta för tre olika fall (fig. 5): skogsavverkning i Amazonasområdet resp SE Asien, samt storskalig reduktion av våtmarksavdunstningen i Jongleiområdet i och med den påbörjade shuntningen av Nilen. Underlaget är en global cirkulationsmodell kallad GCM, som betraktar atmosfären på basis av en uppdelning i rutor av dimensionen $10^\circ \times 10^\circ$.

INTERREGIONALA HYDROLOGISKA SKILLNADER

De nordiska länderna är djupt involverade i biståndsverksamhet i den semi-arida zonens länder i framförallt Afrika. Det torra klimatet ger vattenproblem en särställning i sådant bistånd, särskilt som det är välkänt att vattenprojekt kan ha en katalyserande effekt. Nordiska hydrologer ställs emellertid inför problem som vitt skiljer sig från de hydrologiska frågor de möter på hemmaplan.

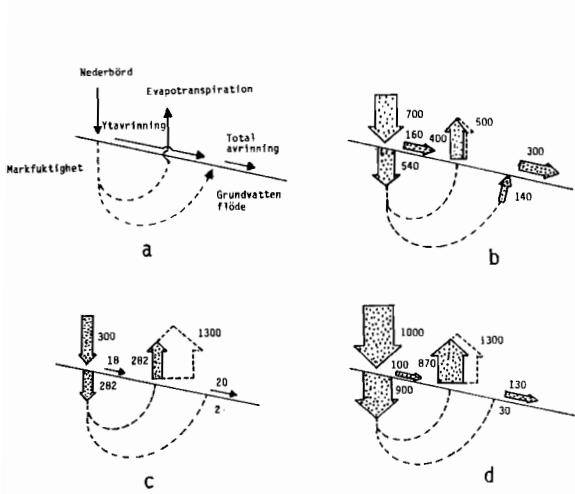


FIGUR 5. Influensområden för mänsklig intervention med regional avdunstning enligt Koster i Eaglesson (1986).

- a. Marsavdunstningen över Amazonas
- b. Marsavdunstningen över SÖ Asien
- c. Januariavdunstningen över Suddregionen i Afrika.

Fig. 6 illustrerar dessa skillnader: i savannzonen går merparten nederbörd till den korta vertikala grenen av vattencykeln, men detta till trots kan endast en ringa del av atmosfärens vattenattraherande förmåga tillgodoses. Följaktligen råder vattenunderskott sett ur växtlighetens perspektiv, även vid nederbördsmängder, större än de typiskt nordiska. Den mängd vatten som går till nybildningen i de terrestra vattensystemen i akviferer och vattendrag motsvarar enbart 10-20% av nederbörden. Merparten bildar snabbavrinnande flöden medan det tidsstabla, grundvattenmatade flödet är obetydligt. Av dessa skäl är det semiarida landskapet vattenfattigt utom under den begränsade årstid då regn förekommer.

Växtproduktionen begränsas i den semi-arida zonen av markvattentillgången. Endast den period då markvattentillgången räcker till åtminstone halva atmosfärens vattenattraherande förmåga räknas som växtperiod. Fig. 7a visar den breda zon där växtperioden underskrider 150 dagar, dvs där risken för missväxt är för stor för ett regnmatat jordbruk pga den stora risken för återkommande torrår. I fig. 7b jämförs zonen ifråga med läget av de krisdrabbade länderna vid 1984-85 års torkkatastrof och i fig. 7c med den hydrologiska marginalzonen, där nybildningen av vatten i de terrestra systemen är obetydlig (0-10 mm/år). Överensstämmelsen ger en god bild av de hydrologiska faktorernas fundamentala betydelse för levnadsbetingelserna i den semi-arida zonen. Man kan föreställa sig det skriande behovet av hydrologer i denna zon, vars framtid står och faller med förmågan att bemästra hydrologiskt betingade problem. Situationen kan beskrivas som en sammansatt vattenbristsituation. Två klimatiskt betingade typer av vattenbrist förstärker varandra: å ena sidan det arida klimatet som sådant och den begränsning det medför för växtperiodens längd; å den andra en ständigt föreliggande risk för torrår, betingad av att nederbördens variabilitet ökar med avtagande årsnederbörd.

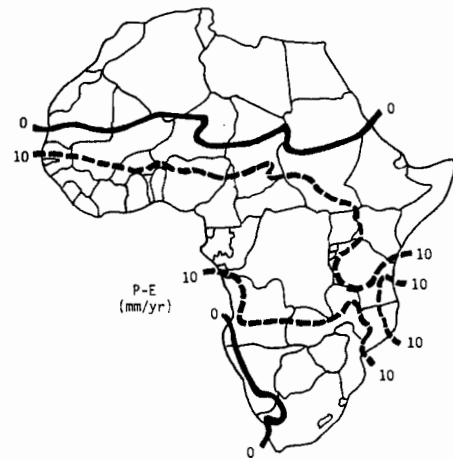
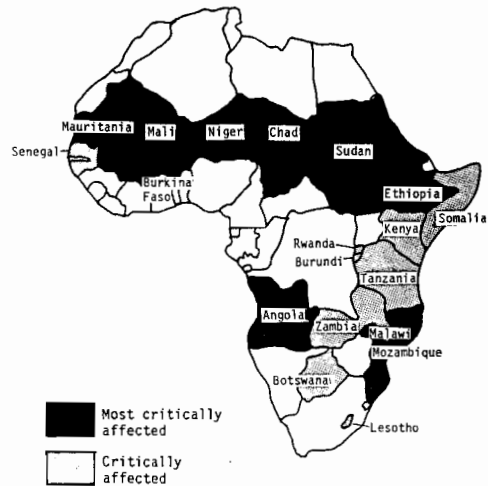
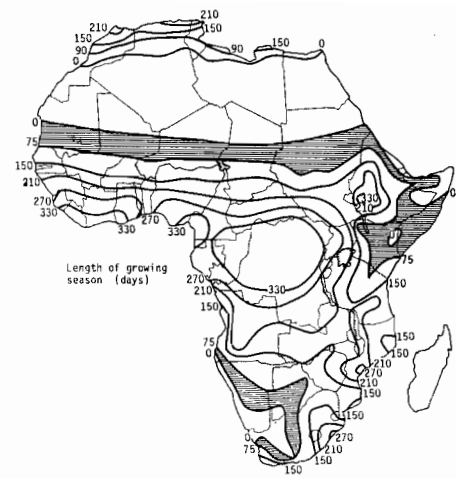


FIGUR 6. Den lokala vattenbalansen och dess komponenter i den korta vertikala resp den långa horisontella grenen av vattencykeln för barrskogs- resp savannzonen. Sort: mm/år. Data från Lvovich (1979).

- a. beteckningar
- b. barrskog
- c. ökensavann
- d. torr savann

FIGUR 7. Afrikas hungerbåge karakteriseras av vattenbrist i såväl korta som långa grenen av vattencykeln.

- a. Växetsäsongens längd under ett genomsnittsår i dagar. I strekat område (< 75 dgr) är marken för torr för annat än bete. I gråtonat område (75-150 dgr) innebär nederbördens år-från-årfluktuationer en ständig risk för missväxt genom torka. Enligt FN (1987).
- b. Av torkan 1984/85 drabbade länder i Afrika för vilka FN vädjade om livsmedelshjälp (från AMBIO, Vol, 15, No 4).
- c. Genomsnittlig årlig påfyllnad av terrestra vattensystem (grundvatten resp vattendrag). Sort mm/år. Data från Baumgartner & Reichel (1975). Från AMBIO, Vol 15, No 4).



Till dessa två typer av vattenbrist kommer så en tredje som dock är mänskligt betingad: den "vattenstress" i samhället som beror av att vattenkonkurrensnivån växer snabbt vid snabb befolkningstillväxt. Befolkningen skall ju försörjas från den hydrologiskt bestämda vattentillgången i de terrestra vattensystemen - denna begränsade tillgång utgör den samlade resursbasen för vattenförsörjning (inkl bevattning). Ju större befolkningen blir, desto mindre "har man råd med" i genomsnitt per person och desto större blir därför vattenstressen.

GALOPPERANDE VATTENBRIST I AFRIKA

Uppenbart är att det är hydrologiska fenomen som begränsar både den endogena vattentillgången i ett visst område, och mängden exogent vatten som tillförs via förbipasserande grundvattenakviferer eller vattendrag. I detta perspektiv innebär Afrikas befolkningsökning ett oerhört men knappast uppmärksammat problem (Falkenmark 1987b, 1988). Afrika vandrar snabbt mot en genuin vattenbrist, som hotar möjligheterna till traditionell samhällsutveckling. Fig. 8 illustrerar dilemmat, sett i den makroskala som det nationella perspektivet ger och uttryckt som vattenkonkurrensnivån (personer per flödesenhet vatten).

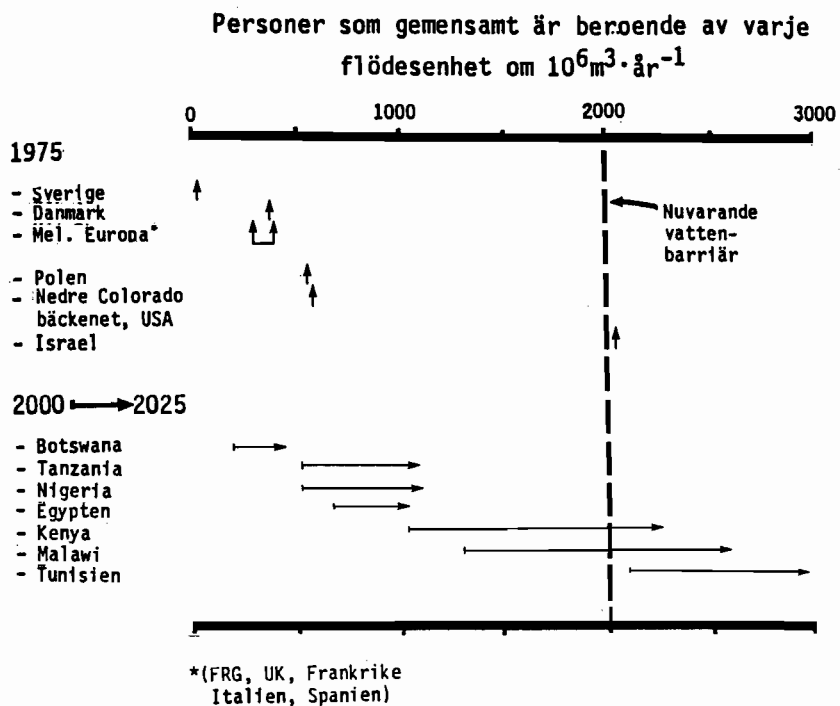
Erfarenheten från Europa och USA (fig. 8a) visar att samhällets vattenproblem snabbt ökar med antalet individer per flödesenhet. Väljer man 1 miljon m^3 år som flödesenhet, kan man betrakta länder med mer än 500 p/enhet som vattenstressade redan under tempererade förhållanden (ex Polen, Belgien). I aritit klimat är situationen då svårt *vattenstressad* (ex nedre Coloradobäckenet i USA). Över 1000 p/enhet kan vi tala om *absolut vattenbrist*, och vid 2000 p/enhet om en *vattenbarriär*. Detta är gränsen för vad det moderna samhället idag klarar av med avancerad teknologi och dagens metoder för vattenhushållning och -förvaltning (ex Israel).

Vid 1000 p/enhet har man, om 100% av tillgången är åtkomlig, "råd med" 1000 m^3 /p år

(motsvarar vattenbehovet idag i Egypten, Syrien m fl). Om endast 20% av tillgången är åtkomlig pga stora säsongvariationer och dåligt utvecklade magasineringsmöjligheter "har man råd med" enbart 200 m^3 /p år. Detta är allena 1/3 av per capitabehovet i Sverige. Höga nivåer på vattenkonkurrensen innebär således en svår begränsning av utvecklingsmöjligheterna i länder med torrt klimat, liksom betydande problem med den eftersträvade självförsörjningen, som i den torkdrabbade zonen beror av en säkrad markvattenförsörjning (bevattning). Vattenbrist-problematikens omfattning i ett tidsperspektiv om 2 - 3 decennier kan illustreras med hjälp av ett tvåsiffrigt vattenbristindex. Andra siffran anger graden av vattenkonkurrens, uttryckt i antal personer som gemensamt beror av varje flödesenhet vatten. Första siffran utgör ett index på behovet att höja jordbrukets avkastning för att kunna nå självförsörjning. Se fig. 8 b.

Avkastningen idag begränsas främst av ständig risk för missväxt genom det torra klimatet. Man kan alltså utgå från att tillskapande av vattensäkerhet i rotzonen ingår som ett fundamentalt led i en avkastningshöjande jordbruksutveckling. Detta är liktydigt med ett tilltagande vattenbehov oavsett om vattensäkerheten tillgodoses genom regelmässig bevattning eller med alternativa metoder för vattenhushållning. I båda fallen skall nämligen den ytterligare vattentillförseln till vegetationen tas från vattencykelns långa gren.

I fig. 9 visas vattenbristens omfattning vid den av FN förutsagda befolkningen dels år 2000, dels år 2025. Kartan visar den massiva omfattning som vattenbristen är på väg att få. Redan år 2000 kommer 500 miljoner människor att leva i länder, som är vattenstressade på åtminstone Nedre Coloradobäckenets nuvarande nivå. 25 år senare kommer befolkningens mängd i sådana länder att ha ökat till 1100 miljoner människor. I båda fallen gäller att 2/3 av Afrikas sammanlagda befolkning kommer att leva i länder med svår vattenbrist.



Avkastningsökning för självförsörjning	Personer per flödesenhet	0	100	500	1000	2000
		1	2	3	4	5
Ingen	1	11	12	13	14	15
måttlig	2	21	22	23	24	25
hög	3	31	32	33	34	35
västvärldens nivåer räcker ej	4	41	42	43	44	45

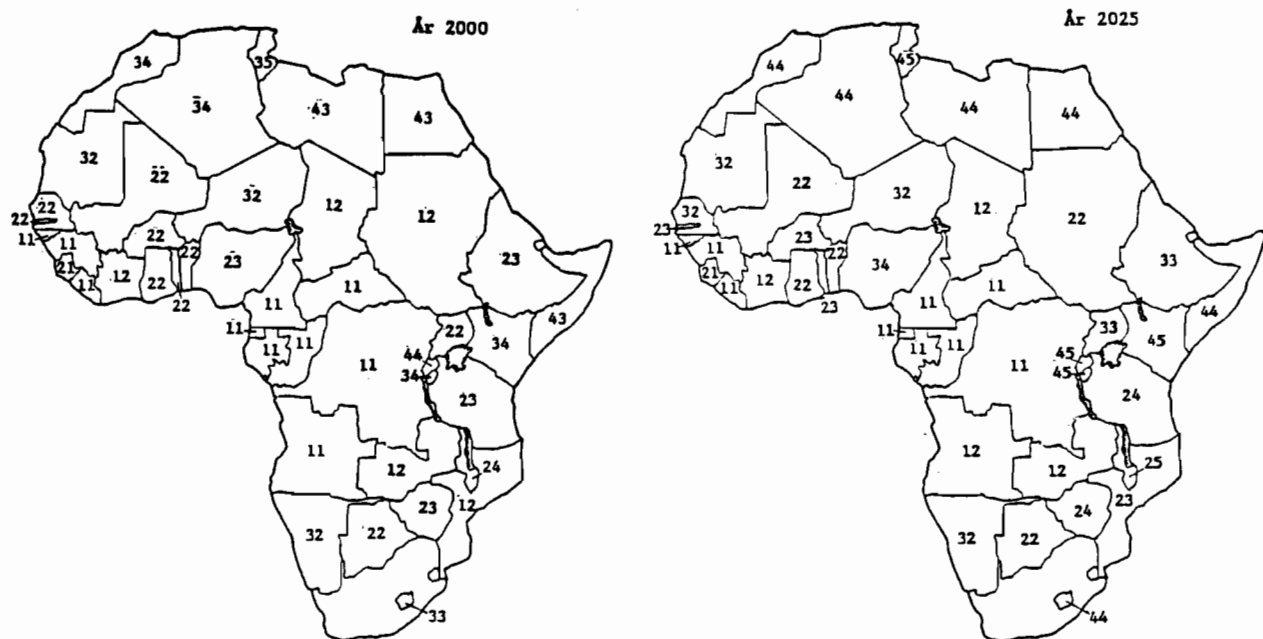
FIGUR 8. Relativa vattenkonkurrensnivån i olika länder.

Övre diagrammet jämför nuläget i ett antal västländer (1975 års befolkning) med det förutsebara läget i ett antal länder i Afrika (befolkning år 2000 resp 2025). Från AMBIO, Vol 16, No 4.

Undre matrisen visualiserar innebörden av olika vattenkonkurrensnivåer. Varje kub motsvarar en flödesenhet (i miljon kubikmeter per år), varje prick 100 personer. Matrisen visar kodsiffrorna för dels den avkastningsökning som krävs för självförsörjning (första siffran), dels relativa vattenkonkurrensnivån.

Man kan dra slutsatsen att *hydrologin blir en vetenskap som får avgörande betydelse för Afrikas möjlighet att bemästra en fundamental naturresurskris*, som hittills i stor utsträckning gått obemärkt.

Det är exempelvis anmärkningsvärt att inte ens den just avslutade World Commission on Environment and Development (den sk Brundtlandkommissionen) uppmärksammat den galopperande vattenbristen i Afrika såsom ett fundamentalt utvecklingsproblem vars effekter kan väntas få globala dimensioner (WCED 1987).



FIGUR 9. Galopperande vattenbrist i Afrika, driven av befolkningsökning i länder med torra klimat. Kodsiffrorna:

- Första siffran anger betydelsen av minskat klimatberoende för ett självförsörjande jordbruk:
 - 1 nuvarande arealavkastning tillräcklig.
 - 2 måttligt ökad arealavkastning nödvändig.
 - 3 västvärldens avkastningsnivå nödvändig.
 - 4 d:o otillräcklig.
- andra siffran anger vattenkonkurrensnivån. Jfr fig. 8 b.

DE STORA MILJÖPROBLEMEN

Hydrologiska fenomen är djupt involverade i flertalet av de stora globala miljöproblemen. De typer av *markförstöring* som ofta omtalas under benämningarna ökenutbredning resp. kalhuggning av tropiska regnskogar är båda hydrologiskt betingade. Den förra är resultatet av en igensättning av markytan, som hindrar nederbörden från att infiltrera och/eller en på organisk substans utarmad rotzon, som därmed förlorat sin vattenhållande förmåga. Därmed uttorkas jordens ytskikt, vegetationen förtvinar och nytillkommande nederbörd rinner hastigt av i snabba flöden med yterosion som bieffekt. Längre nedströms i vattendraget uppkommer spegelvända effekter: sedimentation, igensatta reservoarer samt översvämningar. Dessa tilltar av två skäl: större flödesvolymen resp genom sedimentationen höjda flodbottnar.

I fallet tropisk skogsavverkning råder istället ett vattenöverskott. Långa grenen tillförs mera vatten i och med att interception och transpiration från den täta trädvegetationen försvinner. Därmed ökar de redan tidigare stora möjligheterna till utlakning av näringsämnen. Härtill kommer att häftiga regn sätter igen markytan och framkallar häftiga flöden med åtföljande erosionseffekter.

Att *vattenföroreningsproblematiken* är djupt vattenrelaterad är trivialt att konstatera. Vatten är emellertid inblandat inte bara som offer utan också som generator, dvs som bärare av lösliga ämnen. Två motsatta planeringsperspektiv kan ha intresse (Falkenmark 1987c, fig. 10).

- vart tar vattnet vägen: betraktelsepunkten är här den punkt på markytan där ett förorenande ämne introduceras, och intresset fokuseras kring frågan var en resulterande vattenförorening är att vänta och när
- varifrån kommer vattnet: betraktelsepunkten är nu en sektion i vattendraget, där det passerande vattnet utgör en blandning av vattenfraktioner, som genererats i olika markavsnitt i tillrinningsområdet.

I det förstnämnda perspektivet är det vattnets vandringssvågar, som är av intresse och deras resp

transittider. I det skandinaviska moränlandskapet skiljer man på tre typer av grundvatten (fig. 10a):

- ytligt grundvatten med kort vandringstid
- medeldjupt grundvatten med medellång vandringstid
- djupt grundvatten med lång vandringstid.

Det senare perspektivet å sin sida kommer till stor hjälp då det gäller att tolka vattenkemiska data från en vattendragssektion, vars flöde är sammansatt af fem olika fraktioner (fig 10b). Under olika delar av året förekommer dessa fraktioner i skiftande proportioner och blandningsförhållanden.

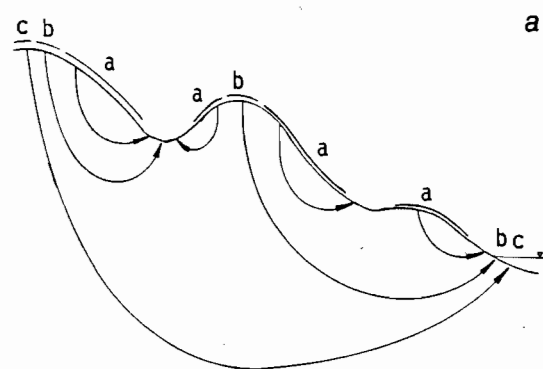
TRE HUVUDKATEGORIER AV MILJÖEFFEKTER

Begreppet miljöeffekter är synnerligen torftigt och i hög grad ovetenskapligt. Det utgör ett samlande paraplybegrepp, som innefattar både primära men icke avsedda bieffekter av mänskliga ingrepp i biosfären, sekundära konsekvenser av sådana primäreffekter i senare led av det hydrologiska kretsloppet, samt högre ordningens konsekvenser på dels hydrokemiska, dels biologiska förhållanden. *Vattnets fundamentala funktioner i ekosystem gör att både hydrologiska och hydrokemiska effekter lätt avspeglas i högre ordningens effekter på både flora och fauna.*

För egen del finner jag det angeläget med en strukturering av miljöproblem. Exemplevis leder en indelning efter den aktivitet som vållar problemen resp de transporterande system som vidarebefordrar dem naturligen över till de sinsemellan olika strategier som krävs för att undvika/bemästra dem.

I tabell 1 återfinns en strukturering av miljöeffekter i tre huvudkategorier:

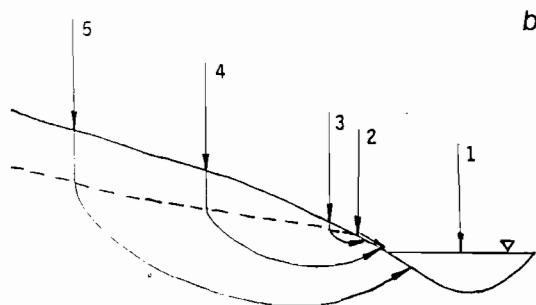
- A. *tillförsel av förorenande ämnen till geofären*, där de fångas av strömmar i atmosfär/ocean eller av vattenkretsloppet
- B. *markanvändning*, som kräver ingrepp i systemet mark/vatten/vegetation och leder till oundvikliga bieffekter av olika slag, bl a vad gäller uppdelningen av inkommande nederbörd på korta resp långa grenen samt



a

FIGUR 10. Vatten är inte bara offer för förorening. Det medverkar också kemiskt samt bär förorenande substanser genom undermarkslandskapet. Fenomenen kan betraktas ur två komplementära perspektiv:

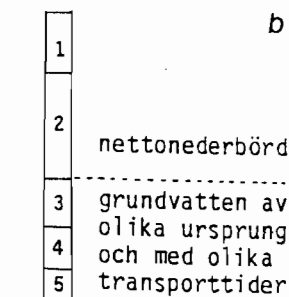
a) Vart tar vattnet som träffar en viss punkt i landskapet vägen, dvs var och när är förorenings effekter att vänta? Svaret blir olika beroende på om platsen passeras av trajektorier för ytligt grundvatten med kort vandringstid, medeldjupt grundvatten med medellång vandringstid eller djupt, regionalt grundvatten med lång vandringstid.



b

b) Varifrån kommer vattnet i en viss vattendragssektion? Vattendraget integrerar tillrinningen från hela avrinningsområdet och är en ständigt fluktuerande blandning av fem grundtyper av vatten med olika ursprung, som blandas i skiftande proportioner:

1. nettonederbörd över vattenytor
2. nettonederbörd över fuktiga närområden
3. närproducerat grundvatten
4. sluttningsproducerat grundvatten
5. fjärproducerat grundvatten



b

på snabbarvrinnande flöde resp grundvattenbildning

C. utnyttjande av naturresurser dels förnyelsebara (ex energi, vatten), dels icke förnyelsebara (ex mineral, fossila bränslen). I båda fallen nödvändiggörs ingrepp i naturliga system, vilket leder till oundvikliga bieffekter.

Naturlega strategier för att bemästra högre ordningens effekter av dessa tre kategorier är olika: i fall A att så långt som möjligt *udvika*

föroreningstillförsel til biosfären, i fall B og C att *balansera* oundvikliga effekter mot nödvändiga ingrepp.

När det gäller att för politiker och beslutsfattare av olika slag klargöra hur effekter genereras och fortplantas i vattenkretsloppet kan illustrativa matriser vara ett intressant hjälpmedel. Tabell 2 visar hur grundprinciper, introducerade av IIASA (1986), kan användas för att tydliggöra effekter, förmedlade via vattencykeln. Grundprincipen är

TABELL 1. Olika kategorier av miljöproblem - exempel

Kategorier av miljö-störande verksamhet	Primära spridningsmekanismer som producerar distanseffekter			Lokala förändringar t ex i landskap
	luftströmning	strömning i vatten- kretsloppet	havsströmning	
A. utsläpp av förore- nande ämnen	<ul style="list-style-type: none"> . sur nederbörd . växtskador genom deposi- tion av luftburna föro- reningar . ozonhållet över sydpolen . bilavgaser . korrosion av byggnader, monument och material 	<ul style="list-style-type: none"> . skogsdöd genom markvattenförgiftning . försurning av sjöar . grundvattenförorening . ytvattenförorening från nedgrävt avfall . eutrofiering från punktutsläpp 	<ul style="list-style-type: none"> . skador på täl från klorer- rade kolväten . tungmetalldeposition i havssediment 	<ul style="list-style-type: none"> . nedskräpning . florasförändringar från lokal för- bränning
B. markanvändning	<ul style="list-style-type: none"> . metanproblemet . klimatförändring vid ökenranden . jordflykt 	<ul style="list-style-type: none"> . försaltnings/försumpning vid felaktig bevattning . jordförstöring genom vattenerosion . utlakning av närsalter till sjöar och mynnings- områden . jordförstöring efter tro- pisk regnskogsavverkning . försurning från dagbrott . nitrat i grundvatten 	<ul style="list-style-type: none"> . eutrofiering av havsområden . förorening av hafssediment 	<ul style="list-style-type: none"> . motorvägsbyggen . dagbrott . gruståkt . förbuskning . kalavverkning, skogsröjning . stadsbebyggelse
C. utvinning av naturresurser	<ul style="list-style-type: none"> . klimatförändring genom förbränning av fossila bränslen . stoftspridning från täktverksamhet 	<ul style="list-style-type: none"> . förorening från gruv- upplag (ex Bersbo) . transportolyckor med farligt gods över vattentäkt 	<ul style="list-style-type: none"> . oljespill vid offshore- arbeten . olyckor vid havstransporter . mineralutvinning på kon- tinentalsocklarna 	<ul style="list-style-type: none"> . torrlagda flod- fåror . regleringsma- gasin i sjöar . utrotning av djur och växter . utfiskning

TABELL 2. Miljöeffekter som förmedlats via vattencykeln

Ändrade miljö- komponenter	Störningar									
	atmosfäriska		terrestra					akvatiska		
	luft temp	luft kval	asfal- tering	mark bearb	vege- tation	göd- sel	kemiskt avfall	grundv uttag	vatten av- ledn	avl utsl
nederbörd	0									
markbördighet	0	0	0	0	0	0	0			
grundvatten bildning	0		0	0	0					
" beskaffenhet		0				0	0			
vattendragsflöde medel	0		0	0	0			0	0	
d:o extremer				0	0					
ytvattenbeskaffenhet		0		0	0	0	0		0	
vattenstånd	0		0	0	0		0	0		0
slamtransport				0						
vattentemperatur	0									
mynningsområde beskaffenhet		0				0	0		0	

att varje nämnvärd störning av geosfären (atmosfären, terrestra eller akvatiska system), åstadkommer någon typ av ändring av en eller flera fundamentala processer. Den ändringen leder i sin tur till förändrade vattenkaraktäristiska, vilka i sin tur medför högre ordningens effekter på flora, fauna och mänsklig hälsa.

Vattenkretsloppets kontinuitet gör att varje primär ändring i någon hydrologisk process vidarebefordras, och automatiskt leder till ändring också i andra hydrologiska processer. Tabell 2 visar slutresultatet i form av en enkel matris, utvisande några av de miljökomponenter som påverkas vid störningar av olika fenomen i geosfären.

SLUTSATSER

I denna uppsats har belysts hur djupt involverade hydrologiska fenomen är, då dagens stora miljöproblem betraktas ur olika perspektiv. Klimatförändringen kommer till stor del att träffa det mänskliga samhället just via vattencykeln, med hänsyn till dennas centrala roll icke blott i geosfären som sådan utan även i dels ekosystemen, dels det mänskliga samhället (Falkenmark 1987a). Vattenbristproblemen är på väg att växa Afrika över huvudet, och kommer icke att kunna bemästras utan tillgång till en betydande kader av hydrologer. Många miljöproblem är genererade av vattnets rörlighet i kombination med dess kemiska aktivitet. Andra avser det intrikata samspelet mellan mark/vatten/vegetation, där markzonens roll av fördelningsstation mellan korta och långa grenen i den terrestra vattencykeln gör att effekterna kan bli betydande speciellt i hydrologiska marginalområden.

Frågan är nu om hydrologerna är beredda att axla det vidgade ansvar som krävs för att möta dessa problem från klimatförändringens, vattenföroreningarnas, de ekologiska förändringarnas och vattenbristens globala problemsfär. Härför krävs att de utvecklar sitt intresseområde väsentligt och medverkar till en snabb utveckling av hydrologiområdet ur vetenskaplig synpunkt.

Men hydrologerna måste samtidigt lära sig att

kommunicera med andra vattenprofessioner för att belysa hur hydrologisk kunskap kan underlätta för dem att angripa och lösa problem. Ett grundläggande problem är härvidlag ofta betydande *perceptionsskillnader* (Falkenmark & Rosswall 1987). Olika professioner tenderar att koncentrera sig på olika av vattnets fyra huvudfunktioner i relation till samhället:

- A. vatten som aktiv komponent i växtproduktionen där återflödet till atmosfären är ett led i produktionen av biomassa;
- B. vatten som flödesresurs i terrestra vattensystem i akviferer och vattendrag;
- C. vatten som landskapselement av stor betydelse både för fiskproduktion, rekreation och livskvalitet;
- D. vatten som unikt men samtidigt rörligt lösningsmedel i kontinuerlig undermarksrörelse i landskapet.

Perspektiv och perceptioner varierar mellan professioner. I diskussioner om den torra klimatzonens utveckling ligger tonvikten ofta vid B, och vatten fokuseras som teknisk försörjningsfaktor med ingenjörer som dominerande profession. FN:s internationella dricksvattendekad bidrar till betoningen av detta perspektiv. Akvatiska ekologer och miljöexperter fokuserar huvudsakligen perspektiv C och har först nyligen börjat inkludera perspektiv D i sina mentala paradigmer. Aspekt A är fokus för terrestra ekologer, lantbruksingenjörer och skogsmän. Andra professioner kan gömma detta perspektiv under vilseledande begrepp som agrometeorologi, torka, ökenutbredning etc.

Olikheter i grundläggande perspektiv kan medföra betydelsefulla konsekvenser. Exempelvis är det välkänt att majoriteten av hydrologer tenderar att samlas i den sektor av hydrologin som inriktas på vattendrag och sjöar för att lösa ingenjörsmässiga problem. Endast få hydrologer studerar vattencykelns betydelse för ekosystem, och hydrologin i den korta grenen av vattenkretsloppet (Eagleson 1986). Det föreliggande 10-årsprogrammet för forskning rörande klimatförändring är exempelvis uppgjort

helt utan medverkan av hydrologer (ICSU 1986).

Betoningen av den långa grenens vattenproblem influerar säkerligen det sätt på vilket begreppet "hydrologi" tenderar att tolkas inom ekologiområdet, något som *bidrar till att gapet mellan ekologi och hydrologi består*. Det är att hoppas att dagens hydrologer börjar ägna ökad uppmärksamhet åt dessa missförstånd och begreppsfrskjutningar, så att alla de viktiga samhällsproblem som berörs i denna artikel verkligen får det stöd från det hydrologiska vetenskapsområdet som är en förutsättning för att komma vidare.

REFERENSER

- Baumgartner, A. & Reichel, E. (1975): The world water balance, (Elsevier).
- Budyko, M.I. (1986): The Evolution of the Biosphere, (D. Reidel Publishing Company).
- Eagleson, P.E. (1986): The Emergence of Global-Scale Hydrology, (Water Resources Research No 9, 1986, p 6s-14s).
- Eagleson, P.E. & Segarra, R.I. (1985): Water-Limited Equilibrium of Savanna Vegetation Systems, (Water Resources Research No 10, 1985, p 1483-1493).
- Falkenmark, M. (1987): Integrerad mark/vattenplanering - en ny möjlighet, Sommarkonferens Köpenhamn, 1 - 2 juni 1987, Föreningen för Vattenhygien.
- Falkenmark, M. (1986): Fresh Water - Time For a Modified Approach, (AMBIO, No 4, 1986).
- Falkenmark, M. (1987): Hydrological Phenomena in Geosphere-Biosphere Interactions - Outlooks to Past, Present and Future, IAHS, (IUGG Premeeting Workshop, On the role of the IUGG in the Geosphere-Biosphere, Global Change Program, Vancouver 7-8 August).
- Falkenmark, M. (1987b): Water Related Constraints to African Development in next few Decades, Proceedings for the Rome Symposium on Water for the Future, (IAHS, Publication No 164).
- Falkenmark, M. (1988): Den afrikanska savannzonen - hotat hem på den hydrologiska marginalen, (Ymer).
- Falkenmark, M. & Rosswall, T (1987): Societal interactions with soil, vegetation and water - Some fundamental research issues, Nio artiklar om Tema, Linköpings universitet.
- FN (1987): Water Resources: Progress in the Implementation of the Mar de Plata Action Plan. Review of the situation with regard to the development of water resources in the drought-stricken countries of the African region, United Nations, Committee on National Resources, Tenth session 6-15 April. Economic and Social Council E/C.7 1987/6.
- ICSU (1986): The International Geosphere Biosphere Programme. A Study of Global Change, (Final Report of Ad Hoc Planning Group, ICSU 21 General Assembly, Berne, September 1986).
- IIASA (1986): Sustainable Development of the Biosphere, (Eds. W.C. Clark & T Munn), Cambridge University Press.
- Lvovich, M.I. (1979): World Water Resources and their Future, (Translation by the American Geophysical Union LithoCrafters, Inc, Chelsea, Michigan, p 250 ff).
- Peixoto, J.P. & Oort, A.H. (1983): The Atmospheric Branch of the Hydrological Cycle and Climate, (Variations in the Global Water Budget, p 5-65, D. Reidel Publ. Comp).
- WCED (1987): Our Common Future. (Oxford University Press, Oxford, UK. World Commission on Environment and Development).

ÚTDRÁTTUR

Aukin viðfangsefni í nútíma vatnafræði.

Erindi þetta fjallar um þá heimsmynd, sem við blasir, þegar reynt er að rýna í framtíð vatnafræðinnar og þau nýju viðfangsefni og vandamál, sem vatnafræðingar framtíðarinnar þurfa að fást við. Þar má tilnefna:

- loftslagsbreytingar og áhrif þeirra
- samspil vatnafræði og vistfræði
- vaxandi vatnsskortur í Afríku
- umhverfisbreytingar og mengun í ljósi vatnafræðinnar.

Höfundur dregur fram, hvernig sérhver loftslagsbreyting hefur áhrif á hringrás vatnsins á og í jörðu, þar sem sérhver breyting á vatnsbúskapnum hefur síðan áhrif á hið vistfræðilega umhverfi og þar með hið mannlega líf. Lögð er áhersla á, hvað lífefnaframleiðslan er háð tiltæku vatni úr hringrásinni á hverjum stað og hvernig hún bregst, þegar vatnið þrýtur.

Sérstaklega er fjallað um vatnsvandamál í Afríku, þar sem ekki er aðeins við staðbundin þurrkavandamál í sérstökum beltum að stríða, heldur stefnir fólksfjölgun þar á stórum svæðum að því, að gjörnýting alls aðgengilegs vatns er fyrirsjáanleg í náinni framtíð, svo að þar er engu við að bæta. Þetta á einnig við um stór svæði annars staðar í heiminum.

Ítarlega er fjallað um, hvernig ýmis konar mengunarvaldar berast inn í hringrás vatnsins á ýmsum stöðum í ferlinum og geta síðan valdið óbætanlegu tjóni annars staðar, svo sem súrt regn, eyðing ósonlagsins og gróðurhúsaáhrifin eru glögg dæmi um.

Að lokum ræðir höfundur um nauðsyn þess, að vatnafræðingar framtíðarinnar kynni sér mjög rækilega alla þessa þætti vatnafræðinnar, því að það verði oft hlutskipti þeirra að miðla málum milli mismunandi hagsmunahópa um hagnýtingu þeirra vatnsdropa, sem eru til ráðstöfunar á hverjum stað og á hverjum tíma.