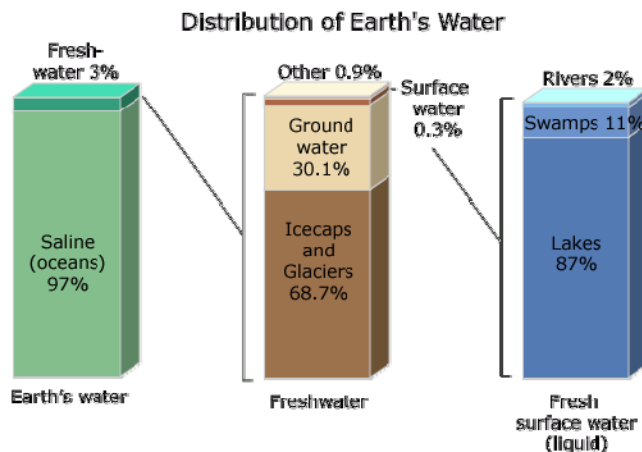


Кружење воде

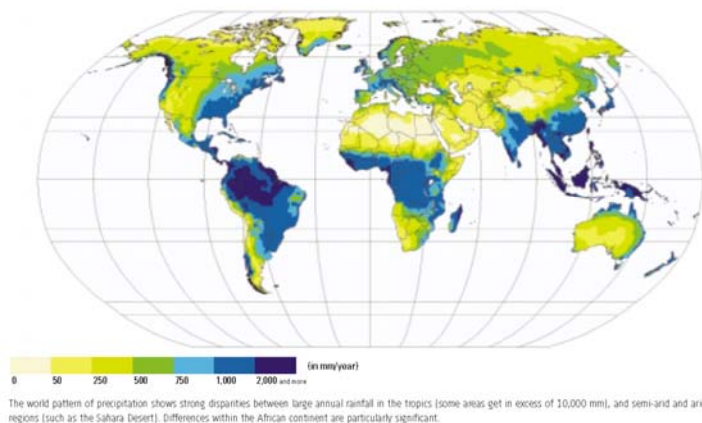
До дана данашњег, жива створења живе само на планети Земљи и то захваљујући јединственој комбинацији температуре и притиска – која дозвољава постојање воде у сва три агрегатна стања. Фрапантних 4,5 милијарде година од настанка планете током којих је живело и живи више од десетина милиона врста – биљака и животиња, које базирају свој метаболизам углавном на води, **количина воде**, створена у тренутку настанка Земље, се ни у најмањој мери **није променила!!** Разлог томе је чињеница да вода није заробљена ни у једном од агрегатних стања – могућа је трансформација, и то је управо оно што чини основу хидролошког циклуса – процеса рециклирања воде на Земљи. Другим речима, једна иста вода се изнова и изнова користи, и веома је могуће да је ова коју ћемо данас попити управо она иста вода коју је пре 40 хиљада година попио наш најближи предак.

Због тога што вода покрива 70% површине планете, оформљена је посебна наука која је проучава – ХИДРОЛОГИЈА. Ова наука се бави кретањем, расподелом и квалитетом воде на Земљи. Иако воде има у великој количини, само њен мали део се може користити за пиће (freshwater ~3%), и од те слатке воде врло мало је лако доступно (дубока подземна вода– groundwater, је за сада **ограничено** недоступна).



Међутим, са развојем цивилизације све је више и више воде потребно и ту хидрологија добија на значају. Вода је по правилу "погрешно" распоређена по планети и има је превише када није потребна, а премало када је неопходна. Такав тренд у расподели воде није везан само за простор него и за време (на слици је приказан просторни распоред падавина). Управо проучавањем циклуса кружења воде, кроз мерења појединих компоненти и применом закона одржања масе – тзв. билансирањем, хидрологија је постала незаменљива дисциплина за успешно управљање водама – на локалном и глобалном нивоу. Под управљањем се сматра довођење довољне количине воде, задовољавајућег квалитета, на место где је потребна.

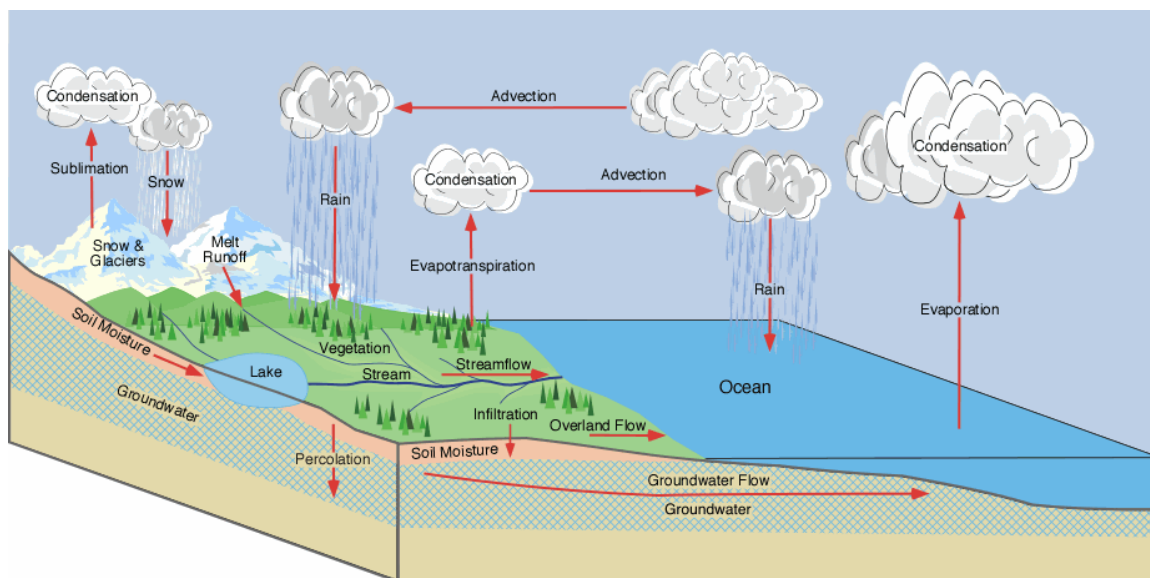
Map 4.2: Mean annual precipitation



Хидролошки циклус и биланс воде у њему

Напред је већ поменуто да хидролошки циклус представља процес перманентног кружења воде у природи код ког вода:

- мења агрегатна стања
- мења квалитет
- задржава се дуже или краће у неком "резервоару"



Елементи хидролошког циклуса:

А. Вертикални

1. Падавине P (киша, снег, град)
2. Евапорација E (испаривање са водених површина и из земље) и транспирација T (испаривање са листова биљака) – често под једним именом ЕвапоТранспирација ET
3. Инфилтрација – вертикално течење воде са површине кроз порозну средину (земљиште, испуцале стене) и она директно утиче на земљишну влагу (Soil Moisture)
4. Перколација – процуривање воде у земљишту (супротно је капилярно пењање)

Б. Хоризонтални

1. Отицај по површини (Overland Flow) – дешава се када је спречена или смањена могућност инфилтрације
2. Проток подземне воде (Groundwater Flow) – који се дели на подповршински и базни (базни постоји увек, а подповршински само у случају кише када има инфилтрације)

В. Резервоари

Океани, језера, реке, земљиште (у виду земљишне влаге), ледници, облаци, задржавање на лишћу биљака тзв. интерцепција

Биланс, тј. закон одржања масе, је ништа више него једноставна једнакост:

$$\text{Улаз} - \text{Израз} = \text{Промена стања}$$

Он се може применити на резервоаре воде у циклусу: копно, океане и атмосферу. Количина воде на Земљи је константна, али томе треба додати да је и маса воде у појединим резервоарима такође константна, гледана у дужем временском периоду. То се једноставно може схватити посматрањем океана. У случају кише, количина воде у океану се повећава, али та вода временом и испарава, тако да ако се посматра кроз неки дужи период – океан не губи ни не добија на маси. Доказ би био то да се површина континента не смањује кроз време (океан се не шири).

Процена је да од укупне годишње евапорације 84% испари са површине океана, а 16% са копна. Од свих годишњих падавина, 75% падне на површину океана, а 25% на копно, што значи да је 9% евапорације са океана преко атмосфере као резервоара пребачено на копно. Биланс се комплетира тако што се тих 9% евапорације враћа у океане површинским и подземним отицајем.

Треба напоменути да је осим запремине појединих резервоара, врло важно време задржавања воде у њему, одн. време његовог пражњења под условом да је улаз једнак нули. Ово време представља обновљивост појединог извора воде.

Време задржавања воде у глобалним "резервоарима"

$$\text{Време задржавања} = \frac{\text{Запремина}}{\text{Протицај}} [=] \frac{\text{km}^3}{\text{km}^3 / \text{god}}$$

Резервоар	Запремина [x1000 km ³]	Протицај [x1000 km ³ /god]	Време [god]
Океани	1338000	505	2649.50
Атмосфера	12.9	577	0.02
Континенти	47972	119	403.13

Познато је рецимо да је време задржавања воде у рекама 2 – 6 месеци, у језерима 50 – 100 година, док је у дубљим слојевима земље подземној води потребно чак **десетине и стотине** хиљада година да се замени. У случају загађења, биће јој потребно доста времена да се пречисти – одн. да се сва вода замени. Ово, између осталог, значи да је вода која се црпи из дубљих слојева земље, што је рецимо случај у земљама Сахаре, доспела на то место пре **више милиона година**. Исто тако, у случају да се претера са црпљењем воде, могуће су последице које се **тешко могу исправити**.

Основна јединица за билансирање вода је слив. Слив је део површине земљишта са ког се вода која тече по површини слива у одређени водоток или реку и на крају пролази кроз један пресек, излазни пресек водотока или реке.

$$P = ET + Q$$

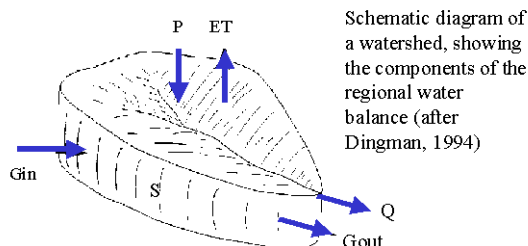
P – падавине

ET – евапотранспирација

Q – отицај

Просек са целу Земљу:

$$P = 800\text{mm}, ET = 490\text{mm}, Q = 310\text{mm}$$



Рецимо слив Дунава се простира на територији чак десет земаља. За потребе пловидбе и очувања одговарајућег квалитета воде, тј. за правилно управљање, неопходно је било удруживање тих земаља, одн. формирање Дунавске комисије (ICPDR).

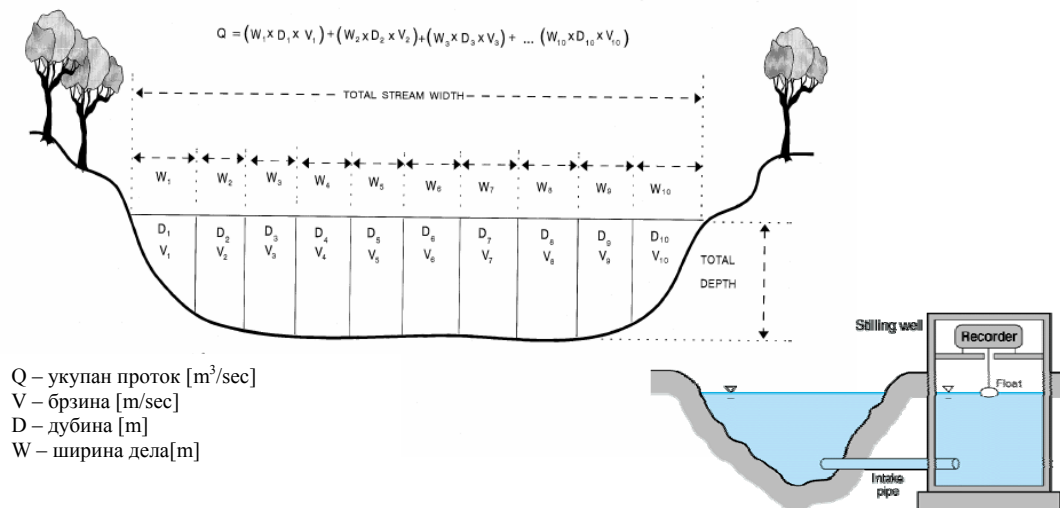


Билансирање количина воде има веома практичне примене. Нпр. протицај или ниво на појединим рекама је неопходан полазни податак за димензионисање било ког објекта који се налази у њеној непосредној околини. Да би се одредила, рецимо, висина моста, неопходно је проценити које су то **меродавне** највеће воде које се јављају на том водотоку.

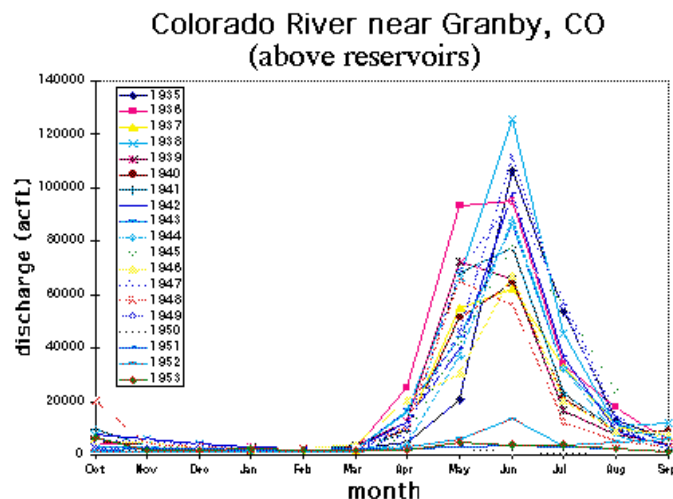
Једини научно прихватљив начин да се дође до потребних података је мерење. Међутим, како није физички могуће мерити, рецимо, падавине на целој површини (исувише захтеван поступак), потребно је одредити где и колико често је потребно мерити имајући у виду да постоји јасно изражена просторна и временска неравномерност. Такође је битно дефинисати и шта су све величине које су битне за поједини процес и шта је то што треба мерити – у случају кише, то би, пре свега, била висина кише (количина пале кише по јединици површине). Међутим ни мерење појединих величина нам не гарантује да ће поједини елементи биланса бити правилно процењени. Простор за грешке се ствара код индиректно мерених величина. Рецимо падавине и евапорација се тешко мере у пределу изнад окена. У ту сврху се користе сателитски снимци, на бази којих се врше процене и моделирају те величине. Слично је тешко одредити влажност земљишта и ЕТ, које се одређују на основу осредњених карактеристика земљишта или процењене производње и потрошње органске материје. Како би се ове несавршености некако анулирале, потребно је стално пратити водни биланс, стално мерити, и по потреби преправљати везе које мислимо да постоје међу појединим величинама.

Површинске воде

За ове воде је карактеристично то да је површина воде слободна, у додиру са ваздухом, и да сама вода тече по површини земљишта: реке, језера, океани... Најбитнији податак је проток. Мерење протока није нимало наиван задатак када се ради о већим водотоцима. Начелно се сам профил реке (попречни пресек) подели на делове и онда се у центрима тих делова мере брзине (хидрометријским крилима – то су пропелери код којих се број обртаја претвара у брзину). Онда се врши „интеграција“ по целом пресеку. Поступак је укратко приказан на скици. Овај поступак мерења протока није практичан када је потребно имати податак за сваки дан. Онда се тежи да се нађе веза између нивоа и протока – та веза се зове **КРИВА ПРОТОКА**, и онда се само на основу мерења нивоа може одредити проток.

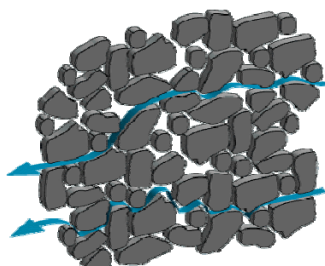


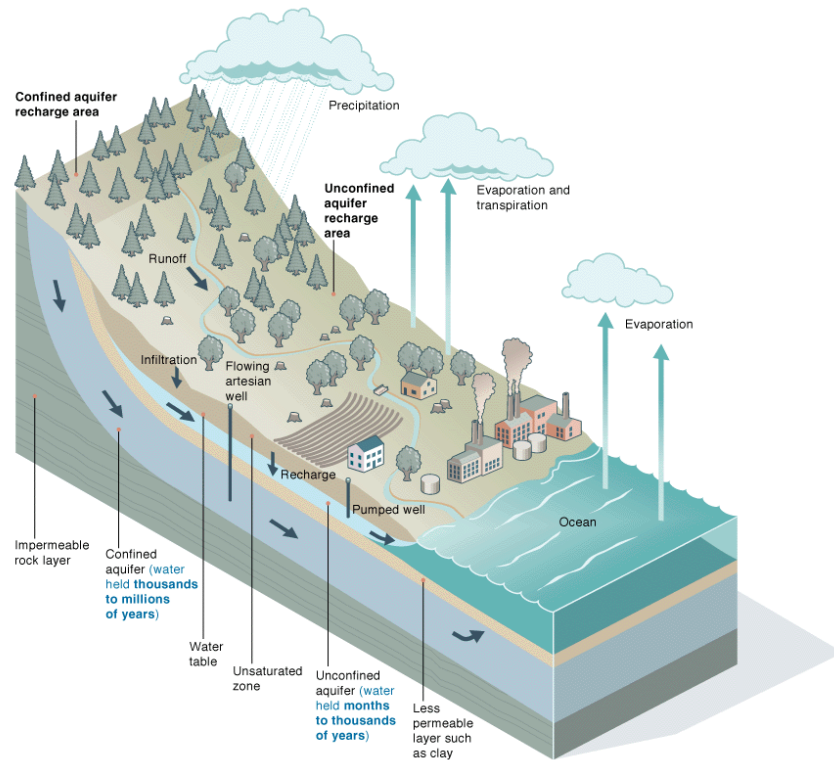
Ниво је могуће мерити у одређеним тренуцима – неком мерном летвом, или континуално помоћу специјално направљене конструкције (базиране на принципу спојених судова). На основу мерења протицаја се формира дијаграм који приказује промену протока у једном одређеном пресеку водотока кроз време – ХИДРОГРАМ. Треба приметити да се хидрограми разликују од године до године и године – постоје водне и мање водне године. Исто тако, постоје одређени сезонски екстреми – у пролеће и јесен када има пуно падавина или се топи снег. За реку Колораду фамилија хидрограма изгледа некако овако:



Подземне воде

Ову воду карактерише течење кроз порозну – рупичасту, средину какве су неvezане седиментне стене, испуцале стене итд. Битни појмови су **аквифер** (добро пропусни слој земљишта) и **аквитард** (слабо пропусни). У зависности од положаја ова два слоја, разликују се два могућа облика течења: течење воде са слободном површином (тада изнад аквифера нема аквитарда) и течење под притиском (када се аквифер налази између два непропусна слоја). Ова два случаја су приказана на скици – течење са слободном површином је Unconfined aquifer, а течење под притиском је Confined aquifer.



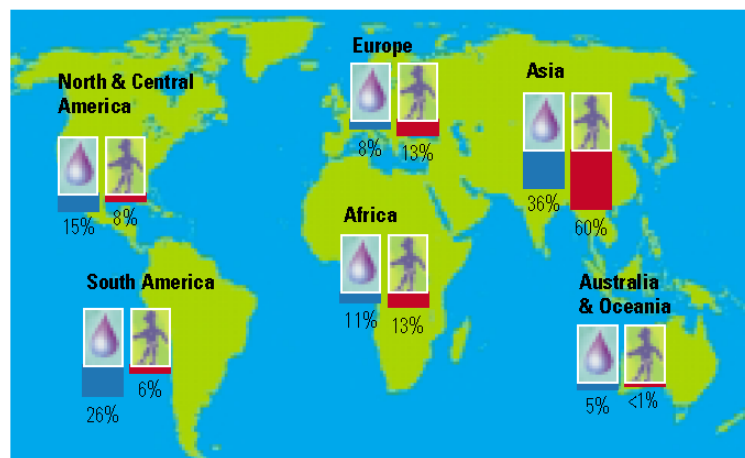


Кретање подземне воде зависи од разлике нивоа воде и коефицијента филтрације. Коефицијент филтрације је параметар који описује течење у порозној средини и зависи од врсте флуида који тече (вискозности) и од врсте материјала кроз који тече (порозности). Битни показатељи струјања подземних вода су ниво подземне воде и коефицијент филтрације (неопходан за процену протока).

Није на одмет поново напоменути да је велики део воде за пиће управо у облику подземне воде. Оно што је незгодно је што је индустријализација и небрига о испуштању загађења почела значајно да угрожава квалитет те исте подземне воде. Сада се треба присетити времена задржавања воде у рекама и у подземљу и извести закључак: када би се склонио извор загађења, подземној води је потребно више од 100 пута више времена него површинској да се сама очисти (да се комплетно замени).

Доступност воде

Вода је неравномерно расподељена и просторно и временски. Глобално гледано, велики је проблем воде у Азији где живи 60% светске популације која располаже са свега 36% укупних падавина. Недостатак воде, који је уско повезан и са хидричним инфекцијама, је далеко већи узрок смрти (посебно код деце) од најгорих болести (нпр. AIDS-a).



Због постојања проблема доступности воде, наметнула се идеја да је потребно потпуно другачије прићи проблему коришћења воде. Задатак ВОДОПРИВРЕДЕ је управо то – да се домаћински стара о водама. Шема показује везу три циља водопривреде (троугао) и основна начела на којима је базирана (углови).

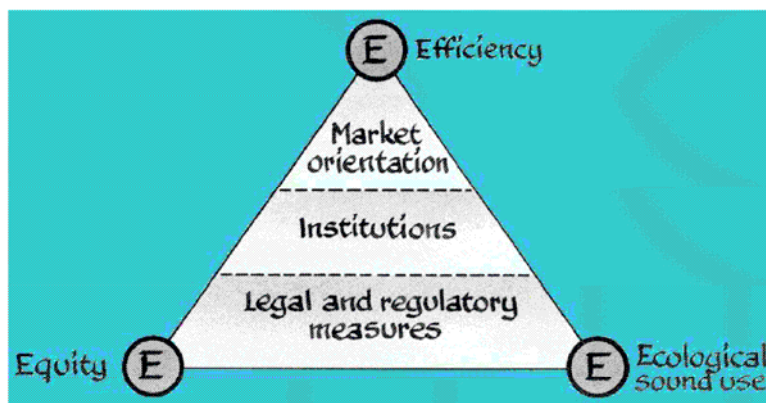


Figure 2.2. A schematic figure illustrating the three objectives of water policy and the three major regulatory measures are interrelated. It is implied that the legal and regulatory measures are of basic importance and that they will be indispensable for the institutional reform and also for the market oriented measures.

По питању коришћења воде, не постоји универзални корисник него се потребе морају усклађивати између пољопривреде, комуналних потреба, индустрије, воде за пиће... Битно је напоменути да се потребе за водом не описују само количином која је потребна већ и квалитативним оценама: друштвени значај (вода за пиће има далеко већи значај за друштво од, рецимо, воде потребне индустрији) и економски значаја (вода употребљена у индустрији доноси далеко већи профит од воде у пољопривреди – наравно све гледано у јединицама количине по глави човека годишње). За правилно подмиривање потражње, треба узети сва три фактора у обзир.

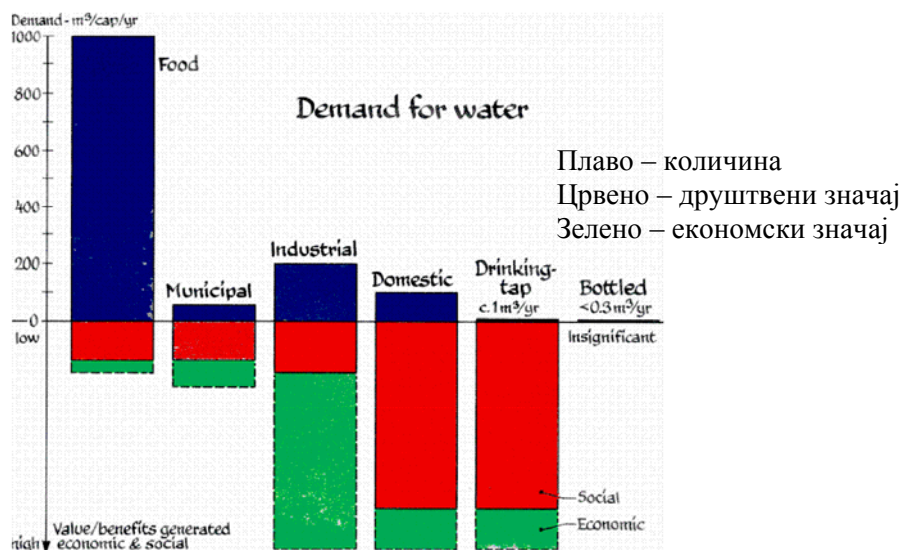


Figure 2.2 Demand for water (indicative for semiarid circumstances) in $m^3/cap/year$.