

Klimatförändringar och hållbar vattenförsörjning

En rapport i IVAs projekt *Hållbar vattenförsörjning – tillgång till rent vatten i ett föränderligt klimat*

TEMA:
KLIMAT-RESURSER-ENERGI

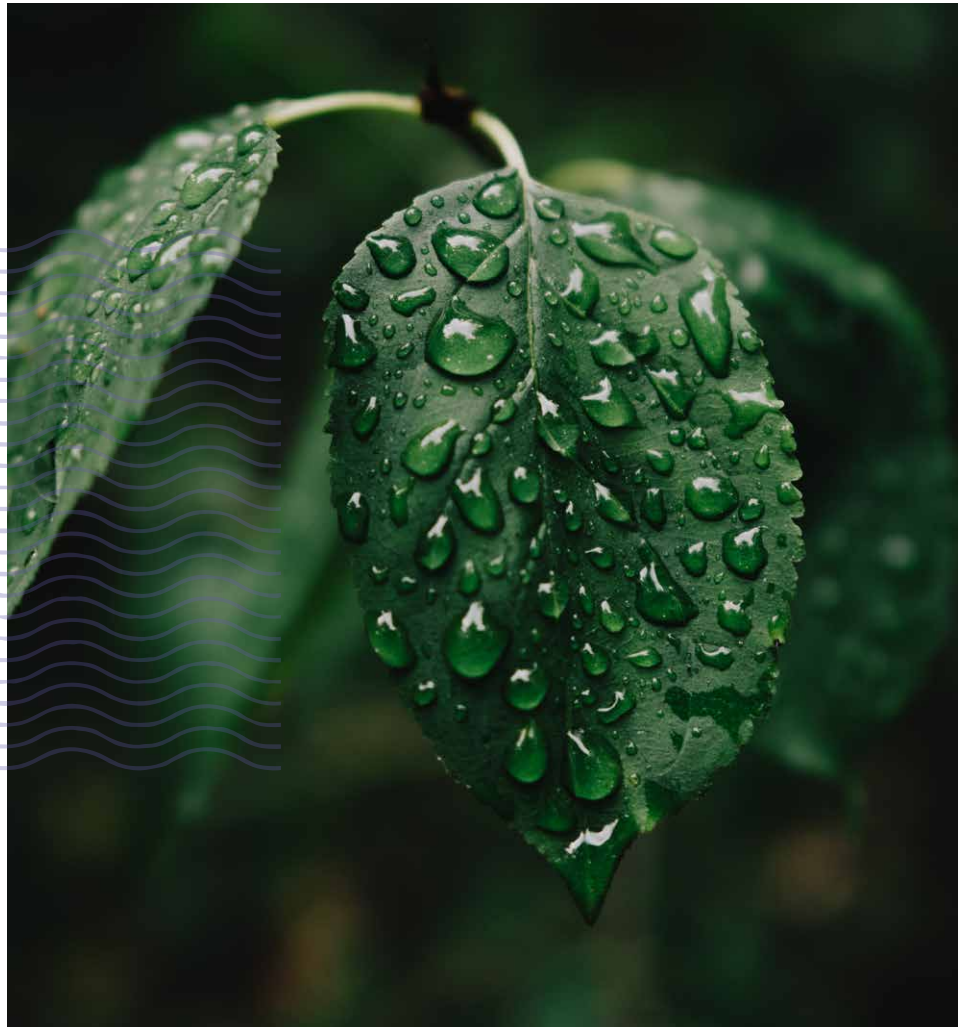
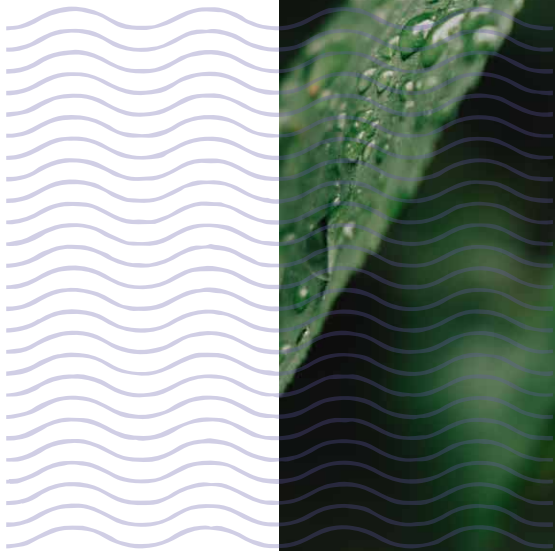
APRIL 2021



Kungl. Ingenjörsvetenskaps
Akademien

Innehåll

Förord	4
Sammanfattning	6
Klimatförändringarnas påverkan på vattnets kretslopp och vattenmiljöer	7
Klimatmodeller	8
Klimatförändringarnas effekter i samhället ur ett hydrologiskt perspektiv	8
Anpassning och beredskap	10
Bakgrund och syfte	12
Dagens vattenbalanser och flöden	14
Vattnets naturliga globala kretslopp	15
Sötvattnets vattenflöden och vattenbalans	16
Klimatförändring- och andra drivkrafter till vattenflödesförändringar	18
Hur använder vi vatten?	19
Klimatförändringarnas påverkan på vattenflöden och andra vattenförhållanden – kunskapsläget	22
Klimatmodeller och deras användning för att förstå klimatdrivna vattenförändringar	23
Klimatförändringars påverkan på hydrologin	27
Effekter på samhället	32
Skogsbruk	33
Jordbruk	37
Industri och processvatten	38
Vattenkraft och dammar	40
Kommunal vattenförsörjning	40
Ekosystem	42
Skadekostnader av klimatdrivna vattenförändringar	43
Anpassning och beredskap	46
Klimatanpassningsåtgärder	47
Behov av prognoser	48
Kostnader och dess fördelning på olika aktörer	48
Appendix	52
Litteraturlista	53
Ordlista	57



Förord

»Brist på rent vatten får allvarliga konsekvenser för ekosystem och människors försörjning och kan leda till konflikter.«

IVA driver projektet *Hållbar vattenförsörjning – tillgång till rent vatten i ett föränderligt klimat*. Rent vatten och sanitet är en utmaning för en hållbar utveckling i Sverige och i världen. Brist på rent vatten påverkar ekosystem som skogar, sjöar och vattendrag negativt. Hållbara städer kan inte skapas utan tillgång till vatten av god kvalitet och effektiva system för avloppsrening. Brist på rent vatten får allvarliga konsekvenser för människors försörjning och välbefinnande, och kan leda till konflikter med säkerhetspolitiska konsekvenser.

Projektet Hållbar vattenförsörjning behandlar olika problemställningar kring sötvatten.¹ Denna rapport – *Klimatförändringar och hållbar vattenförsörjning* är den första av tre underlagsrapporter. Rapporten belyser kunskapsläget och de bedömningar som görs av hur klimatförändringar kan komma att påverka vattenflöden, vattentillgång, vattenkvalitet samt risker och möjligheter relaterade till sådana vattenförändringar för samhälle och ekosystem.

De övriga två underlagsrapporterna belyser vatten som en gemensam resurs, vattenförsörjning i urbana miljöer och vattenförvaltning. Rapporterna innehåller faktaunderlag och "observationer". De ligger sedan till grund för en syntesrap-

port, i vilken projektet ger rekommendationer till politiker och andra beslutsfattare.

Denna rapport har tagits fram av en arbetsgrupp. Vi vill rikta ett stort tack till gruppen för dess engagemang.

Arbetsgrupp

Georgia Destouni, Stockholms universitet, ordförande

Markus Hoffman, LRF

Ing-Marie Gren, SLU

Maja Högvik, SKR

Helena Kjellson, SGU

Lars Lindblom, Samarkand

Anders Lindroth, Lunds universitet

Jonas Olsson, SMHI

Tomas Rahm, Södra Skog

Ulla Sandborgh, Näringsdepartementet

Philip Thörn, If

Karin Byman, projektledare IVA

¹ Bräckvattenförekomster på land eller användning av bräckvatten från Östersjön, ingår inte.



Sammanfattning

»Klimatförändringarna kan få stora återverkningar på vattnets kretslopp mellan land, sjöar, hav och atmosfär.«

Klimatförändringarna associeras ofta med en varmare värld. Men klimatet handlar inte bara om vilken temperatur det är på jorden, utan har också en stark koppling till vattnets kretslopp. Detta påverkar både samhällen och ekosystem.

Inom projektet *Hållbar vattenförsörjning* har arbetsgruppen för *Klimatförändringar och hållbar vattenförsörjning* fokuserat på klimatförändringarnas påverkan på de hydrologiska sötvattenssystemen. Rapporten belyser kunskapsläget och vilka förändringar vi bedömer att klimatförändringarna kan leda till, samt samhällets beredskap och anpassning till förändringarna. För ökad förståelse beskrivs dagens användning av vatten i några sektorer.

Tillgång till sötvatten har fundamental betydelse för allt liv på jordens landområden. Vattnet är i ständig rörelse. Nederbörden ger flytande sötvatten som infiltreras genom marken till grundvatten, vilket flödar vidare till lägre liggande vattendrag och så småningom ut i havet.

Mänskliga verksamheter har stor inverkan på de naturliga vattenflödena. Inverkan sker till exempel genom fördämningar och kanaler för att kontrollera och flytta vatten, direkta uttag av vatten för olika ändamål som dricksvatten, för industriella processer eller bevattning, samt förändringar i areella näringar, som expansion och intensifiering av jordbruk och skogsbruk, som kräver vatten för grödor och träd.

Klimatförändringarnas påverkan på vattnets kretslopp och vattenmiljöer

Klimatförändringar och förändrade vattenflöden hänger intimt samman. Men hur vattenflöden och den hydrologiska balansen påverkas av klimatförändringarna är osäkert. Klimatmodeller visar att den genomsnittliga nederbörden ökar med två procent för varje grad temperaturen stiger. Nederbördstillskottet blir dock mycket ojämnt fördelat över jorden.

Stigande medeltemperaturer kan få stora återverkningar på vattnets kretslopp mellan land, sjöar, hav och atmosfär.

Med ökad temperatur ökar avdunstningen från jordytan, och därmed luftfuktigheten, som senare återförs i form av regn eller snö.

En ökad halt vattenånga i atmosfären kondenserar och driver på lufrörelser vilket leder till kraftigare regnskurar, hagel- eller snöbyar. Även där nederbörden minskar kan regnen bli intensivare. Det gör att ett och samma område kan drabbas både av förvärrade problem med torka och ökad risk för tillfälliga översvämningar.

De nordiska länderna hör till de få regioner i Europa som kan räkna med en ökning av nederbörden på sommaren. För Sveriges del bedöms klimatförändringarna få följande påverkan:

- I södra Sverige väntas mycket av vinternederbörden falla som regn i stället för snö. Det leder till att vattenflödena under vintern förväntas öka, medan vårfloden blir mindre tydlig eller uteblir helt, något som till viss del redan observerats.
- I norra Sverige beräknas vårfloden bli mindre och komma tidigare. Det leder också till tunnare snötäcke och mindre isutbredning, vilket påverkar tjäldjupet och markens infiltration av vatten.
- Förväntade hydrologiska climateffekter utöver den förändrade vårfloden är till exempel en ökad översvämningsrisk som en följd av kraftigare skyfall och ökad risk för vattenbrist som en följd av längre torrperioder. Men dessa förändringar kan ännu inte bekräftas i observationer.
- Klimatscenerierna visar på lägre vattenflöden och längre perioder med låga flöden under somrarna. Detta är en följd av en ökad lufttemperatur och därigenom högre avdunstning.
- I sydöstra delen av landet väntas problem till följd av låga vattenflöden bli vanligare.

Förändringar i nederbördsmonster och temperatur påverkar både vattnets flöden och tillståndet i olika vattenmiljöer. En ökad vattentemperatur påverkar vattnets skiktning och vattenkemin. Det kan leda till ökad förekomst av syrefria bottenar och ökad tillväxt av bakterier i dricks- och badvatten.

Tunnare snötäcke och minskad isutbredning påverkar sjöar och havets fysikaliska egenskaper. I förlängningen påverkas den biologiska mångfalden och ekosystemens resiliens, det vill säga förmåga att motstå påverkan och förändringar.

Ökad nederbörd med fler översvämningar ökar risken för spridning av föroreningar och näringsämnen. Den ökar också risken för ras, skred och erosion. Minskad nederbörd ökar risken för torka och brist på dricksvatten då brunnar sinar.

Klimatmodeller

Det går inte att göra en entydig prognos för hur klimatet kommer att förändras. Frågan är alltför komplex och prognoserna är behäftade med stora osäkerheter. I stället arbetar klimatforskarna med olika scenarier för hur halten av växthusgaser kan förändras, beroende på hur utsläppen av dessa utvecklas. De fyra huvudscenarierna går från mycket kraftigt minskade utsläpp till att hittillsvarande utsläppstrender består.

För att bedöma framtida klimateffekter på hydrologin görs beräkningar och simuleringar med olika klimatmodeller. Resultaten appliceras i hydrologiska modeller.

Modelleringar ger ökad förståelse för olika samband. Men fortfarande finns stora osäkerheter kring hur klimatförändringarna kommer att påverka hydrologin, i synnerhet på regional och lokal nivå. Det finns dock en etablerad metodik för att bedöma klimatförändringens effekter på vattenflöden i Sverige. Den största nationella satsningen gjordes år 2015 och utmynnade i länsanalyser som beskriver de förväntade förändringarna på länsnivå.

Klimatförändringarnas effekter i samhället ur ett hydrologiskt perspektiv

Förändringar i hydrologin påverkar samhället på flera sätt. I rapporten ger vi några exempel från de areella näringarna, industrin och den kommunala vattenförsörjningen.

Skogens beskaffenhet har stor betydelse för vattenkvaliteten i Sverige

Sveriges yta är till 70 procent täckt av skog. Det gör att en stor andel av nederbörden filtreras genom skogsmark innan den når yt- respektive grundvatten. Därmed påverkar skogen vattnet och vattnet skogen.

Tillståndet i skogen och marken har en stor påverkan både på vattenflöden och på vattenkvaliteten i sjöar och vattendrag. Nederbörden kan "renas" genom att olika ämnen binds upp i skog och skogsmark. Vattenflödena genom skog och mark bidrar dock också till att ämnen av olika slag (kvicksilver, humus) följer med ut i vattendragen.

Ett ändrat klimat med högre temperatur och ökad nederbördsmängd, där svängningar i vattentillgången sannolikt blir allt större, kommer att påverka skogen, dess tillväxt, läckage av ämnen och den biologiska mångfalden. Ökad temperatur och nederbörd kan gynna skogen. Men perioder av torka kan minska tillväxten och öka risken för skogsbränder. En ökning av torrperioder eller tillfällen med hög nederbörd kan också medföra fler och större angrepp av skadegörare på träden.

Jordbrukets vattenhushållning handlar om att åstadkomma markvattenmagasin

Jordbruket är huvudsakligen beroende av vatten via nederbörd och ytvatten. Så gott som inget vatten från kommunal dricksvattenproduktion används där. Det mesta av vattnet, cirka två tredjedelar, går till bevattning för växtodling, inklusive djurfoder. Resten används som dricksvatten för djur.

Sverige har en hög medelvattennivå i grundvatten och ytvatten. Utmaningen för jordbruket är därför i de flesta fall för mycket vatten. All mark för livsmedelsproduktion är dränerad genom öppna diken eller dräneringsrör i marken. Allt fler lantbrukare förbereder sig dock också för återkommande torka genom att bygga bevattningsdammar för att samla vatten till torrperioderna.

Klimatförändringarna påverkar temperatur och nederbörd. Detta påverkar i sin tur vattenflöden, avdunstning och fuktighet i mark samt längden på växtodlingssäsongen. Detta möjliggör nya grödor, samtidigt som ett förändrat klimat ökar problemen med skadedjur, ogräs, och svampsjukdomar. Behov av dränering och bevattning blir mer svåröversägliga. Även djuren påverkas av torka och värmestress om det blir för varmt.

Vatten en viktig naturresurs för svensk basindustri

Svensk basindustri är vattenintensiv. Stor tillgång på sötvatten i ytvattentäkter är en viktig konkurrensfördel för industrin eftersom den inte behöver använda grundvatten i sina processer. Massa- och pappersindustrin står för det största uttaget av sötvatten följt av kemiindustrin samt järn- och stålindustrin.

Industrin påverkar vattnets kvalitet genom temperaturförändringar och i vissa fall föroreningar. Processindustrier har egna reningsverk, för både inkommande processvatten och utgående avloppsvatten.

Klimatförändringar påverkar vattenflöden och vattnets temperatur, siktdjup, pH-värde och syrehalt. Då industrins vatten mest hämtas ur ytvatten påverkas vattenhanteringen av förändringar i vattenflödena och vattnets kvalitet i sjöar och vattendrag. Hur känsliga olika industrier är för sådana klimatdrivna vattenförändringar beror på hur de använder vatten, var och hur vattenuttag sker, samt hur vatten återförs till naturen och till vilken recipient.

Förändrade vattenflöden till följd av klimatförändringar kan medföra översvämningar av förorenad mark. Gifter som

tidigare varit bundna i mark sprids då till vattendrag. Torrperioder kan medföra vattenbrist även för industrier. Varmare vatten till följd av temperaturhöjningar kan påverka tillgången på kylvatten.

Strömmande vatten en viktig kraftkälla

Strömmande vatten har sedan länge använts som en viktig resurs för att driva kvarnar och pumpar samt för att frakta virke. Idag används vattenkraften främst för att producera el. För att koncentrera och reglera vattenflödena för effektiv vattenkraftproduktion byggs dammar och tunnlar som har en direkt påverkan på vattensystemen. Regleringen genom dammar och kraftverk förändrar vattnets flödesmönster. Detta påverkar grundvattnet och dess samvariation med nivåer och flöden i närliggande sjöar och vattendrag.

Ökad nederbörd och större vattenflöden till följd av klimatförändringarna kan möjliggöra en ökad elproduktion med vattenkraft. Här finns dock viktiga målkonflikter. Vi vill ha mer förnybar energi för att kunna fasa ut fossila bränslen, samtidigt som regleringen av vattenflöden och vattendrag har negativ påverkan på ekosystem, biodiversitet, samt på vattentillgänglighet för andra mänskliga behov.

Kommunerna ansvarar för att invånarna ska ha god tillgång till vatten

Idag får cirka 90 procent av Sveriges befolkning sitt dricksvatten via den allmänna vattenförsörjningen som kommunerna ansvarar för. Klimatförändringar påverkar dricksvattenförsörjningen på många sätt. Under de senaste åren har flera kommuner i Sverige haft låga grundvattennivåer och brist på vatten. Många kommuner utfärdar bevattningsförbud vår och sommar men även långt in på hösten. Samtidigt förväntas det bli allt vanligare med häftiga skyfall och översvämningar. Detta sätter ökad press på ledningssystemen och riskerar att leda till att miljöföroreningar sprids till vattnet. Ökade temperaturer påverkar också vattenkvaliteten i sjöar och vattendrag. Brunifiering och en ökad tillväxt av alger och bakterier kan till exempel leda till ökade krav på rening.

1,2 miljoner människor har egna brunnar

När det inte finns tillgång till kommunalt vatten och avlopp ansvarar fastighetsägaren själv för sin vatten- och avlopps-lösning. Klimatförändringarna påverkar dessa genom att det vanligtvis regnar mer på vintern vilket kan orsaka översvämningar. Även torka påverkar genom att brunnarna kan sina helt, eller i havsnära boenden leda till saltvatteninträngning. Vattenbrist påverkar den enskilda vattenförsörjningen mer än den kommunala, vilket leder till att fler vill ansluta sig till kommunal vattenförsörjning.

Effekter av vattenförändringar för samhälle och ekosystem

Sötvattenekosystemen förser samhället med viktiga tjänster:

- **Försörjande** – de ger oss det vatten vi och allt liv på jorden behöver för att överleva och leva ett gott liv.
- **Stödjande** – de ger grundförutsättningar för att alla ekosystem och ekosystemtjänster ska fungera, som biologisk mångfald och naturliga kretslopp.
- **Reglerande** – de bidrar till att förbättra vår livsmiljö genom att till exempel förbättra vattenkvaliteten genom självreningseffekter i olika vattenmiljöer, som i våtmarker och genom grundvattnets strömning genom marken, samt det lokala klimatet genom avkylningseffekter av avdunstning och växters transpiration.
- **Kulturella** – de får oss att må bra genom att ge oss attraktiva rekreationsmiljöer och inspiration.

Fördämningar och vattenflödesregleringar för vattenkraft och andra ändamål är exempel på mänskliga aktiviteter

med stor påverkan på vattenekosystem, biologisk mångfald, såväl som vattentillgång för annan mänsklig användning. De stora av människan drivna förändringarna som redan skett i sötvattenekosystemen gör dem också mer sårbara för klimatdrivna förändringar.

Skadekostnader

Skadekostnader av vattenrelaterade klimateffekter är av flera slag, exempelvis minskad eller utebliven avkastning för jord- och skogsbruk, effekter på infrastruktur vid översvämningar och påverkan på hälsa till följd av otillräcklig vattenkvalitet.

Anpassning och beredskap

Klimatförändringarna sker i snabb takt. Det kan få stor påverkan på olika verksamheter, infrastruktur och hela samhällen. I denna rapport ger vi exempel från några sektorer som både är beroende av, och påverkar de hydrologiska systemen. Samhället är anpassat till dagens, eller kanske gårdagens klimat. Därför måste vi nu öka vår beredskap inför de nya och mer extrema vädersituationer som kan uppstå framöver och anpassa samhället till nya förutsättningar.²

Inom skogsbruket sker det redan idag en anpassning till klimateffekter genom det plantodlingsmaterial som används vid förnygring. En viktig del i att klimatanpassa skogsbruket är att använda rätt trädslag på rätt mark. För bättre planering och för att ta rätt hänsyn används olika former av vattenkartor med markprofiler samt klassning av vattendrag i form av blå målklasser i skogsbruksplaner. För att minska risken för läckage av näringsämnen och organiskt material vid skogliga åtgärder tas olika hänsyn.

2 I kommande/övriga rapporter inom projektet Hållbar vattenförsörjning fördjupas diskussionen om vattenförvaltning och vilka utmaningar vattensektorn står inför.

Figur 1: Barbro Näslund-Landenmark, MSB 2020-06-11.



Exempel på sådana är kantzoner med träd utmed vattendrag, körskadeförbyggande åtgärder vid arbete med maskiner, slamfickor och översilning vid dikesrensning och skyddsdikning. Kopplat till risk för bränder i skog och mark sker ett systematiskt förebyggande arbete för att minska risken att det uppstår skogsbränder som en följd av skogliga åtgärder.

Att bedriva jordbruk innebär en ständig anpassning till rådande klimat och ett många gånger svårförutsägbart väder. Jordbruket arbetar med olika typer av klimatanpassningsåtgärder. Ur ett hydrologiskt perspektiv handlar det om att minska sårbarheten för variationer i vattentillgång. Längre perioder av torka gör att det framtida behovet av bevattning förväntas öka. Genom att samla dräneringsvatten i dammar, kan man både nyttiggöra vattnet och minska förluster av växtnäring. Det finns även en potential att använda renat avloppsvatten för bevattning. De investeringar som sker idag måste kunna hantera de klimatiförändringar som sker i ett 20-års perspektiv och under stor osäkerhet.

För industrin kan förändrade vattenflöden innebära både för lite och för mycket vatten. Oberoende av vilket så är det viktigt att arbeta med vattenfrågorna ur ett helhetsperspektiv. Det är ofta flera aktörer som använder samma vattentäkt, exempelvis jordbruk och industrier. Det krävs ett samarbete för att hålla kvar vattnet i systemet, till exempel genom våtmarker.

I ett förändrat klimat behöver kommunerna arbeta förebyggande för att säkra dricksvattenförsörjningen. Ett första steg är att kartlägga vilka framtida vattenbehov som finns i kommunen, vilka sötvattenresurserna är och säkerställa att möjliga framtida dricksvattentäkter skyddas.

För samtliga sektorer, privata och offentliga, gäller att klimatiförändringarna sannolikt kommer att innebära högre krav på aktiv vattenhantering och styrning mot kontinuerligt uppdaterade prognoser för att klara ändrade förutsättningar. Redan nu uppstår problem med låga vattennivåer under högsommar och servinter som kan öka med kommande klimatiförändringar.



Bakgrund och syfte

»Vi vill öka kunskapen och förståelsen om hur vattenflöden och vattenkvalitet kan påverkas av klimatförändringarna.«

Klimatförändringarna blir allt tydligare, koldioxidhalten i atmosfären ökar, medeltemperaturen stiger och extrema väderfenomen blir allt vanligare. Allt detta kan vi observera. Klimatförändringarna hänger också intimt samman med förändringar i vattenflöden, vattentillgänglighet, vattenkvalitet samt risker och möjligheter för samhällen och ekosystem som är beroende av dessa. Hur de hydrologiska systemen kommer att påverkas är dock idag mycket osäkert, i synnerhet på regional och lokal nivå. Betydligt mer osäkert är dock hur regionala och lokala temperaturer påverkas.

Vattenförändringar omfattar flera olika aspekter och effekter. Ansvar för förvaltning av, och anpassning till, dessa många aspekter och effekter är också fördelat på många olika instanser, myndigheter och beslutsnivåer i samhället. Till exempel är hela fem av de totalt sju prioriterade utmaningarna i den nationella strategin för klimatanpassning från 2017 relaterade till vattenförändringar:

- Ras, skred och erosion som hotar samhällen, infrastruktur och företag.
- Översvämning som hotar samhällen, infrastruktur och företag.
- Brister i vattenförsörjning för enskilda hushåll, jordbruk och industri.
- Biologiska och ekologiska effekter (inklusive på vattenekosystem) som påverkar en hållbar utveckling.
- Ökad förekomst av skadegörare och sjukdomar (inklusive vattenrelaterad och vattenburen smittspridning) samt invasiva främmande arter (inklusive i vattenekosystem) som påverkar människor, djur och växter.

Det är slående hur många olika myndigheter är inblandade och ska samverka för de fem vattenrelaterade utmaningarna. Medan ansvarsfördelningen är betydligt mer fokuserad för de övriga två ej direkt vattenrelaterade utmaningarna (höga temperaturer som innebär risker för hälsa och välbefinnande för människor och djur; påverkan på inhemsk och internationell livsmedelsproduktion med fokus på marknad och handel). Alltför utspridd ansvarsfördelning är problematisk för samordnad, konsekvent och effektiv vattenförvaltning, anpassning till vattenförändringar, och hantering av målkonflikter mellan vattenrelaterade och andra hållbarhetsmål.

Syftet med detta projekt är att ge en bild av kunskapsläget om hur klimatförändringarna kan påverka vattenflöden, vattenkvalitet och andra vattenrelaterade aspekter och effekter, samt samhällets hantering av, beredskap för och anpassning till vattenförändringarna. För en ökad förståelse ges också en beskrivning av vattnets naturliga kretslopp och hur människan genom olika ingrepp och verksamheter påverkar vattenflöden genom landskapet och vilka konsekvenser det får.

Arbetet avgränsas till sötvattenssystemen. Klimatpåverkan på havsmiljöer ingår inte. Rapporten ger inte en uttömmande beskrivning av alla sektorer som påverkas. Men den ger exempel på områden av stor betydelse för de hydrologiska systemen.



Dagens vattenbalanser och flöden

»Vattnet är i ständig rörelse. Det infiltreras från ytan genom marken ner till grundvattnet, flödar vidare som grundvatten till närmsta lägre liggande vattendrag, sjö, våtmark eller kust.«

Vattnets naturliga globala kretslopp

Vattnet cirkulerar ständigt mellan hav, atmosfär och land, genom avdunstning, kondensation, nederbörd och avrinning. Det är solen som driver vattnets kretslopp. Solenergin överför vatten till vattenånga och gravitationen dränerar vatten från land tillbaka till haven. Avdunstningen från haven utgör 86 procent av den totala avdunstningen, men det mesta faller tillbaka till havet som regn. Knappt en tiondel förs in över kontinenterna med vinden och bildar tillsammans med avdunstning därifrån, nederbörd över land. (US Geological Survey 2020)

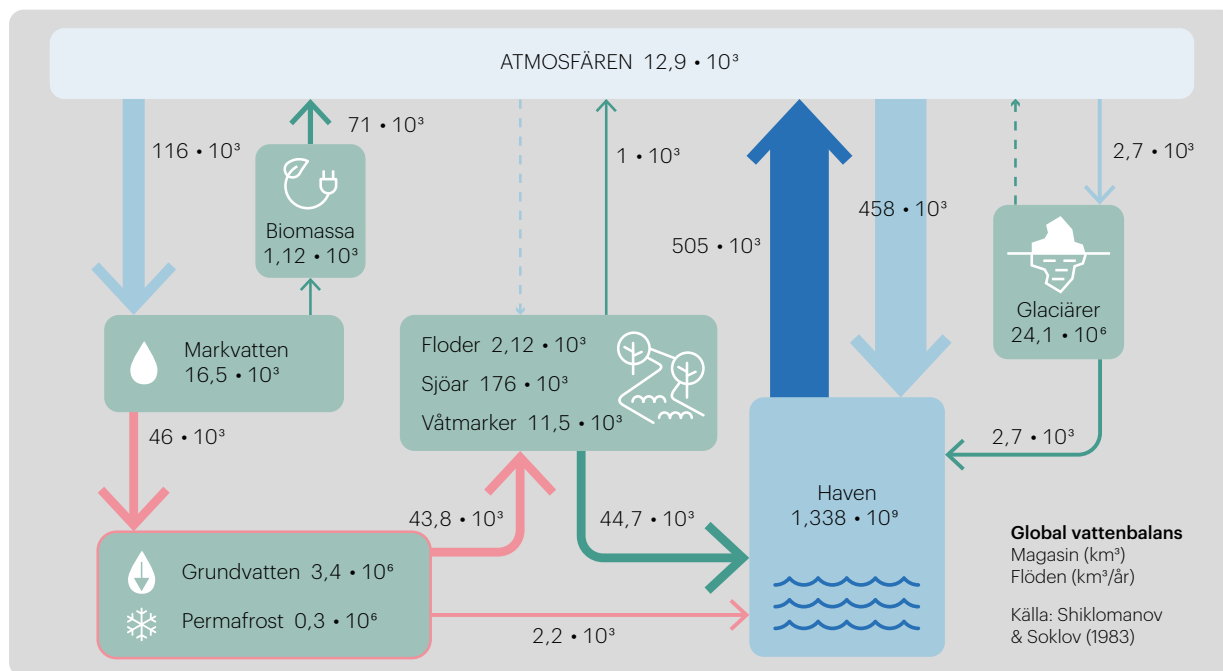
Nederbörden förser jorden med flytande sötvatten, vilket är av fundamental betydelse för livet på jorden. Det mesta av nederbörden på land infiltreras i marken, men markens beskaffenhet är av stor betydelse för i vilken utsträckning det sker. I städer med många hårdgjorda ytor rinner mycket vatten av på markytan. I skogs- och jordbrukslandskap däremot infiltreras en stor del av nederbördsvattnet. Det infiltrerade vattnet fyller på markvattenförråden, från vil-

HYDROLOGI
Läran om vattenförhållandena på jorden. Hydrologin omfattar vattnets cirkulation mellan hav, atmosfär och landområden. Inom hydrologin studeras processer som tillsammans svarar för vattnets kretslopp. Hydrologi innefattar även vattnets fysikaliska och kemiska egenskaper och dess samspel med allt levande, växter, djur och människor.

ka växterna hämtar sitt vatten. Överskottet sjunker vidare nedåt och bildar nytt grundvatten.

Grundvattnet är inte synligt för oss. Men det utgör det i särklass största magasinet av flytande sötvatten på jorden, med större vattenvolym är den totala volymen i jordens alla floder, sjöar och våtmarker.³ Grundvattnets flöde föder stora mängder vatten in till de ytvattenflöden som vi

3 Vidare läsning om grundvatten finns till exempel här <https://www.su.se/forskning/forskningsnyheter/onormalt-laga-grundvattennivaer-trots-regnig-sommar-1.516613>
https://www.usgs.gov/special-topic/water-science-school/science/groundwater-flow-and-water-cycle?qt-science_center_objects=0#qt-science_center_objects
https://www.usgs.gov/special-topic/water-science-school/science/groundwater-storage-and-water-cycle?qt-science_center_objects=0#qt-science_center_objects

Figur 2: Vattnets naturliga globala flöden. Pilarna anger flöden ($\text{km}^3/\text{år}$) och rektanglarna anger magasinerna (km^3).

ser genom vattendrag, sjöar och våtmarker och som till slut når kust och hav.

Vattnet stannar olika länge i kretsloppets skilda delar. I medeltal byts vattnet i atmosfären ut runt vart tionde dygn. Vattnets omsättningstider under naturliga förhållanden, ostörda av människan, har beräknats vara 4,5 år för jordens ytvatten på land, 500 år för världens grundvatten, 2600 år för världshaven och 9000 år för jordens glaciärer (Jacobson, 2000)

Figur 2 ovan visar uppskattade storheter i vattnets naturliga globala kretslopp, utan hänsyn till de pågående och accelererande förändringar som mänskliga aktiviteter leder till. Klimatförändringarna i kombination med betydande ingrepp i vattenflödena skapar stor osäkerhet om olika drivkrafters inverkan, och hur de förändrar flöden och förråd av sötvatten i dess olika former och system, på och under markytan (UN-Water 2020).

Sötvattnets vattenflöden och vattenbalans

Ofta tänker vi på vattnets rörelse och flöden på jorden som ett enkelt slutet kretslopp. Den enkla kretsloppsbilden stämmer om man ser på vattnet över hela planeten. Men om fokus är på sötvattnet på land, stämmer den inte.

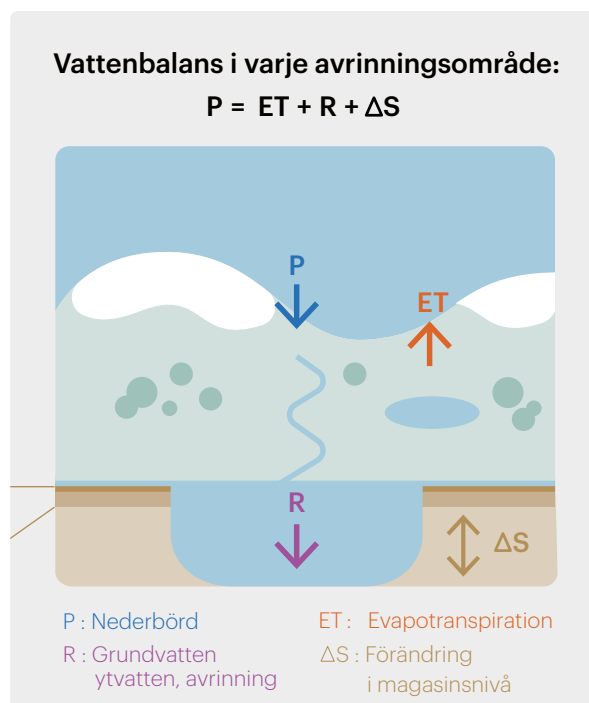
Sötvattenflöden kan definieras utifrån olika avrinningsområden. Ett sådant är det område från vilket vatten dräneras till ett vattendrag, sjö eller hav. Området begränsas av höjdryggar i naturen – "vattendelare" – som skiljer ett avrinningsområde från ett annat, och får nederbörd och smältvatten att rinna åt olika håll.

Avrinningsområden kan definieras för varje punkt i landskapet. De kan skilja sig mycket åt i storlek, från lokal skala på någon eller några kvadratkilometer upp till hela världsdelar

och jordens totala landyta. Urbana avrinningsområden är ofta mindre än en kvadratkilometer.

I Figur 3 nedan illustreras vattenflödena inom ett avrinningsområde. Vattenflödena är både horisontella; tillflöden respektive avrinning, och vertikala; nederbörd respektive avdunstning. Avrinning inkluderar både grundvattenflöden och ytvattenflöden. Avdunstningen sker direkt från vattnet på och i marken samt genom växternas transpiration. Den totala avdunstningen kallas med ett gemensamt namn för evapotranspiration.

Figur 3: Huvudsakliga vattenflöden (P, ET, R), nivåförändringar i vattenmagasin (ΔS) och deras balans i ett avrinningsområde, oavsett storlek.
Källa: Georgia Destouni, Professor i hydrologi, hydrogeologi och vattenresurser.



OBSERVATIONER AVSEENDE SÖTVATTENBALANSER

- Sötvatten finns i olika former: markvatten, grundvatten och ytvatten i form av sjöar, våtmarker, vattendrag och är alltid i rörelse genom landskapet mot kust och hav.
- Global uppvärmning förändrar mängden och fördelningen och tillgängligheten av sötvatten i tid och rum och mellan olika aggregationstillstånd (flytande, fast och gas), miljöer och platser.
- Lokala till globala klimatförändringar och andra mänskligt drivna samhälls- och miljöförändringar påverkar vattnets kvalitet och kvantitet, temperatur och dess spridning av olika vattenburna och lösta ämnen. Föroreningar (kan till exempel vara metaller, organiska föreningar, som bekämpningsmedel, eller patogener – sjukdomsalstrande mikroorganismer), närsalter, kol, mikro- och makroplaster med mera transporteras vidare till andra sötvattenmiljöer och slutligen till kust och hav.
- Förändringar i vattenförhållanden återkopplar tillbaka till, och förändrar, klimatet.
- Ett varmare klimat ger mer vatten som återförs från land till atmosfären genom växternas transpiration och avdunstning från öppna vattenytor. Det ger en avkylningseffekt vid markytan, det vill säga i den temperatur vi direkt känner.
- En varmare atmosfär kan också rymma mer vatten vilket ger:
 - Förändringar i nederbörd och därmed avrinning.
 - Förändrade årsmedelvärden och variationer i vattenflöden från år till år, samt mellan olika årstider, månader, dagar inom varje år.
 - Ändrad frekvens, storlek och varaktighet av extrema vattenhändelser såsom skyfall, översvämningar och torka.
 - En förstärkning till klimatförändringarna eftersom vattenånga är den viktigaste växthusgasen.

Den totala årliga evapotranspirationen kan uppgå till runt 50 procent av den årliga nederbörden i mellersta Sverige. Andelen ökar söderut på grund av ett varmare klimat och minskar norrut där det är kallare. Resten av vattnet blir kvar och rinner av genom landskapet. Det mesta infiltreras i marken och bidrar till påfyllnad av mark- och grundvattenmagasin och genom dessa vidare till mark- och grundvattenflöden ut i närmsta lägre liggande vattendrag, sjö, våtmark eller kust.

Vattnets flöden påverkas också av mänskliga verksamheter som markanvändning, fördämningar och uttag av vatten för dricksvattenproduktion, bevattnings för livsmedelsproduktion, processvatten i industrin, vattenkraft och som kylvatten i energisektorn. Vatten kan också avledas och flyttas långa avstånd från blöta områden via kanaler till torrare.

Allt flytande sötvatten är därmed i ständig rörelse, med mycket varierande hastigheter för vattnets olika former på land (markvatten, grundvatten, sjöar, våtmarker, vattendrag). Endast en del av detta ständigt strömmande vatten kretsar inom samma avrinningsområde (flödena Pint och ETint i Figur 1).

Klimatförändring- och andra drivkrafter till vattenflödesförändringar

Klimatförändringar och förändrade vattenflöden hänger intimt samman. Ett varmare klimat innebär exempelvis att mer vatten avdunstar och går tillbaka från land till atmosfären. En varmare atmosfär kan också rymma mer vatten som i sin tur ger förändringar i nederbörden. Förändringar i de vertikala flödena nederbörd (regn och snö) och evapotranspiration (avdunstning och växternas transpiration), påverkar i sin tur den horisontella avrinningen och förråden av vatten i mark, grundvatten och ytvatten.

Avdunstningen och växternas transpiration av vatten påverkar energibalansen och temperaturen vid markytan. Detta sker genom att värme transporteras med vattenånga från markytan till atmosfären vilket medför att marken kyls av. Vattenånga är också den viktigaste växthusetgasen i atmosfären. Den beräknas stå för åtminstone tre fjärdedelar av den naturliga växthuseffekten (Naturvårdsverket 2020). Luftens innehåll av vattenånga påverkas av luftens temperatur, vilket ger en förstärkande återkoppling på växthuseffekten ("positiv återkoppling"). Ju högre lufttemperaturer, desto mer vattenånga och ökad värme. Det gör evapotranspirationen till en gemensam nämnare både för klimatsystemet i atmosfären och för sötvattensystemet på land.

Förändringarna för alla dessa kopplade klimat- och vattenvariabler handlar inte bara om årsmedelvärden. Det handlar också om ändrade flödesvariationer från år till år, samt mellan olika årstider, månader och dagar under ett år, som i sin tur innebär ändrad frekvens, magnitud och varaktighet av extremväder, som skyfall, översvämningar och torka. (Loon 2015), (Raymond 2020)

Förändringar i landskapets vattenflöden och vattenförråd beror inte bara på atmosfäriska klimatförändringar utan också på samhällsdriven utveckling av landskapet. De senare kan till exempel vara expansion och intensifiering av jordbruk, med eller utan, konstbevattnings, ökade vattendämningar och konstgjorda ytvattenmagasin för vattenförsörjning eller elproduktion, samt ökade uttag av grundvatten för olika ändamål.

De direkta förändringarna i landskapet under det senaste århundrandet har ökat evapotranspirationen på bekostnad av avrinning och grundvattennivåer, som sjunker även vid oförändrad nederbörd⁴ (Destouni et al 2013), (Destouni och Jaramillo, 2015), (Panahi 2020). Sammantaget får alla lokala ingrepp i vattenflöden effekter på global nivå (Jaramillo & Destouni, 2014 & 2015).

4 I denna rapport diskuterar vi de stora vattenflödena över skog och mark. På hårdgjorda ytor i städer är vattenavrinningen större och hanteras genom avloppssystem. Vattenflöden i urbana miljöer hanteras i en annan rapport inom projektet Hållbar Vattenförsörjning.

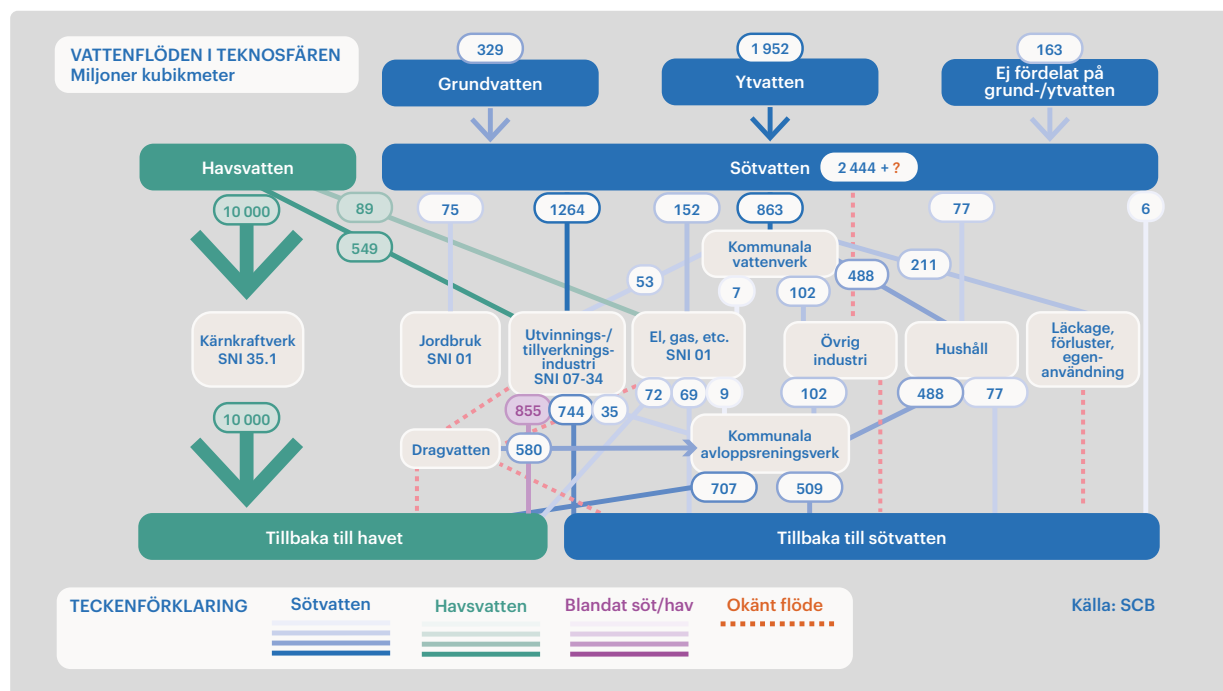


Samverkan mellan mänsklig inverkan på vattenflöden, klimatförändringar och återkoppling mellan klimat- och vattenförhållanden, gör att det är svårt att avgöra vilka vattenförändringar som beror på klimatförändringar respektive förändrad mark- och vattenanvändning. Detta är en av flera orsaker till den osäkerhet som råder om klimatförändringarnas effekter på vattenflödena. Detta diskuteras i avsnittet om klimatmodeller nedan.

Hur använder vi vatten?

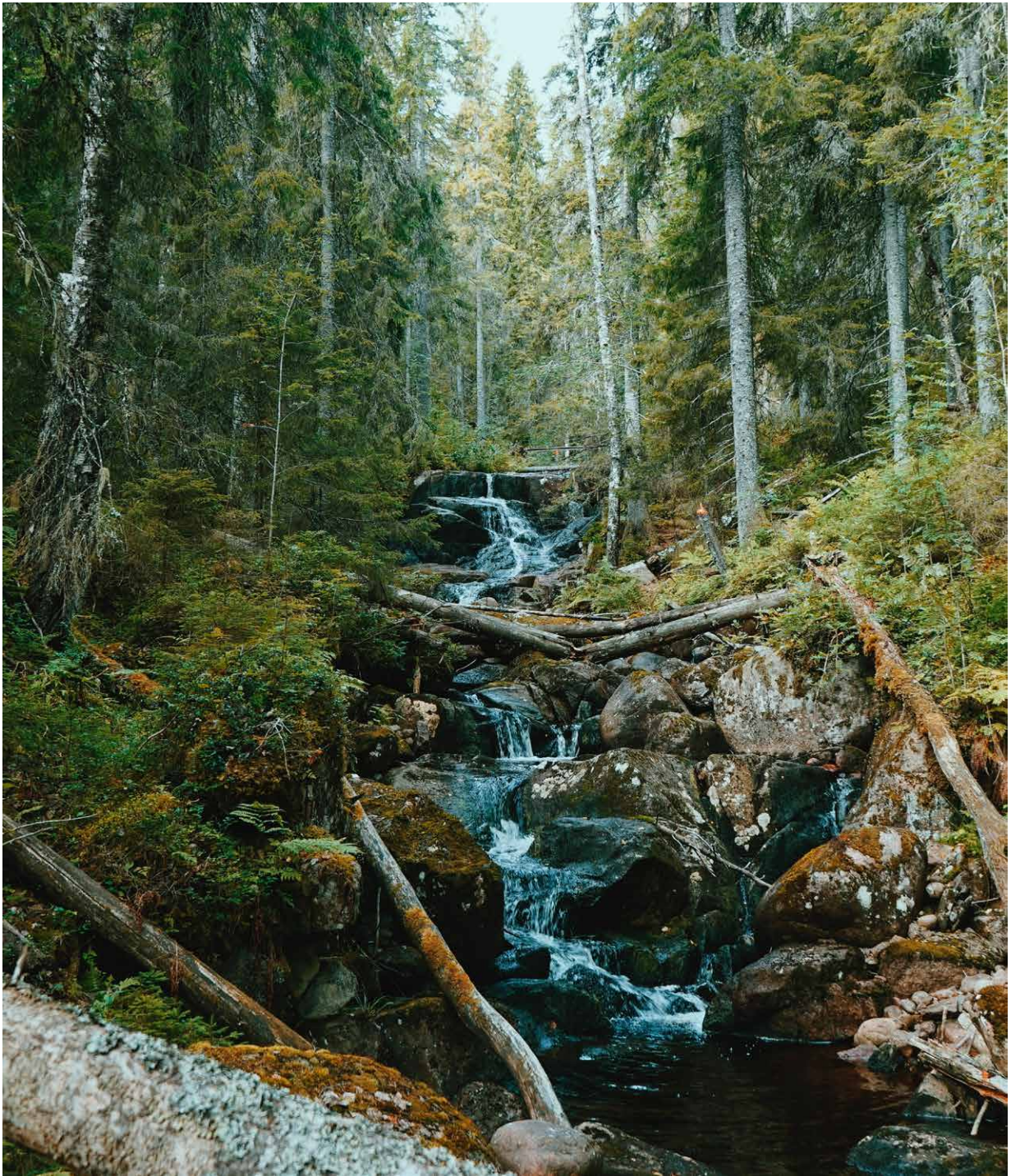
Vattnet ingår i ett ständigt kretslopp. Dess flöden och kvalitet påverkas av mänskliga aktiviteter och verksamheter. Det är alltså inte bara en vara eller produkt som tillverkas och konsumeras. Det är viktigt att definiera vad man menar med användning av vatten. Både vattenflöden och vattnets kvalitet påverkas, kan minska eller öka respektive försämrats eller förbättras genom mänskliga aktiviteter.

Figur 4: Vattenflöden i teknosfären, miljoner kubikmeter.
Källa: SCB Vattenanvändningen i Sverige 2015, 2017.



Direkta tekniska vattenuttag görs för dricksvattenproduktion, industriella processer och bevattning. Mänskliga aktiviteter som påverkar vattentillgång och vattenkvalité är till exempel de ökningarna i evapotranspiration som ändrad markanvändning för skogs- och jordbruk, eller fördämningar för bevattning och vattenkraft, kan leda till. Mänskliga aktiviteter kan också påverka vattnets kvalitet i landskapet, genom ökad tillförsel och ökat läckage av olika föroreningar (som närsalter, metaller, bekämpningsmedel), eller ökning av vattnets temperatur efter användning för kylning i någon energi- eller annan industriell process. Alla dessa typer av vattenanvändning ingår i beräkningarna av det mänskliga fotavtrycket för vatten (Hoekstra och Mekonnen, 2012)

Även för direkta vattenuttag är det svårt att ge en rättvisande bild av vattenflödena i samhällets teknosfär. Dels för att det saknas kunskap, dels för att flödena i sig är komplexa. De kommunala vattenverken står uppskattningsvis för runt en tredjedel av de totala sötvattenuttagen. Processindustrin står för mer än hälften, i stor utsträckning från vattendrag, och använder även havsvatten som kylvatten. Enskilda hushåll står för en mindre del av sötvattenuttagen direkt ur egna brunnar. Jordbruket, det vill säga växtodling och djurhållning, får i Sverige främst sitt vatten direkt från nederbörden. En del av vattnet som tas ut stannar också i produkterna. I Figur 4 ovan illustreras hur vattnet uppskattas flöda i samhällets teknosfär i Sverige.





Klimatförändringarnas påverkan på vattenflöden och andra vattenförhållanden – kunskapsläget

»Klimatmodeller visar att jordens medeltemperatur ökar. Hur vattenflöden påverkas av klimatförändringarna är osäkert.«

Flödet av vatten genom vattendrag och sjöar, det vill säga hydrologin, styrs av en samverkan mellan meteorologiska variabler, främst nederbörd, temperatur och avdunstning, och geografiska egenskaper, till exempel markanvändning, jordmån och lutning. Hydrologi är en del av klimatet och en förändring av klimatet innebär en förändrad hydrologi.

Jämfört med normalperioden 1961–1990⁵ har Sveriges klimat blivit varmare och blötare (SMHI a 2019). För större delen av landet har temperaturen stigit med ungefär en grad celsius, medan det i delar av Lapplandsfjällen har blivit omkring en och en halv grad celsius varmare. I nästan hela landet har nederbörden ökat, med omkring 10 procent. I detta tidsperspektiv är temperaturökningen tydligast under vintern och nederbördsökningen under sommaren, men i ett längre tidsperspektiv kan det se något annorlunda ut (SMHI, 2020b, c).

Vad gäller hydrologin avspeglas denna förändring tydligast i vårfloden, det vill säga den flödestopp som sker i samband med snösmältningen. På många håll i Götaland har en tidigare vårflod ersatts av höga vinterflöden då nederbörd faller som regn i stället för snö. Även i Svealand och längre söderut syns en trend mot en allt tidigare och mindre vårflod, medan vårfloden fortfarande är relativt oförändrad längre norrut.

Klimatmodeller och deras användning för att förstå klimatdrivna vattenförändringar

För att bedöma framtida climateffekter på hydrologin används klimatmodeller. Till skillnad från en väderprognosmo-

OBSERVATIONER AVSEENDE KLIMATMODELLER

- **För att bedöma framtida climateffekter på hydrologin används klimatmodeller.** För att bedöma hydrologiska climateffekter används utdata från klimatmodeller, främst nederbörd och temperatur, som indata till en hydrologisk modell, som beräknar vattenflöden i landskapet.
- **Det finns en etablerad metodik för att bedöma klimatförändringens effekter på vattenflöden i Sverige.** Den främsta nationella satsningen gjordes år 2015 och utmynnade i så kallade länsanalyser som beskriver de förväntade förändringarna på länsnivå.
- **Generellt sett finns ingen "bästa modell".** Beräkningar görs med många olika typer av klimatmodeller och hydrologiska modeller, som alla har sina styrkor och svagheter. Modelleringar ger ökad förståelse för olika samband, men fortfarande finns stora osäkerheter kring hur klimatförändringarna kommer att påverka hydrologin, i synnerhet på regional och lokal nivå.

dell, som används för att förutsäga vädret på en plats vid en given tidpunkt, beskriver en klimatmodell själva klimatet, som enkelt uttryckt är "medelvädret" under en längre period och över ett större område. Eftersom klimatet är globalt måste beräkningarna ta hänsyn till de globala processerna i atmosfären. Modellen måste beskriva hela jorden och tillräckligt högt upp i atmosfären för att komma ovanför moln och vindar. Sådana modeller kallas globala klimatmodeller.

5 Från och med nästa år kommer nya referensvärden att gälla då "normalperioden" sätts till 1991–2021.

KLIMATSCENARIER – REPRESENTATIVE CONCENTRATION PATHWAYS (RCP)

Det går inte att göra en entydig prognos för hur klimatet kommer att förändras. Frågan är komplex och behäftad med stor osäkerhet. I stället arbetar klimatforskarna med olika scenarier. Dessa baseras på hur halten av växthusgaser kan komma att förändras i framtiden, givet hur utsläppen av växthusgaser utvecklas.

FNs klimatpanel har formulerat fyra representativa scenarier som beskriver förändringar av klimatpåverkan fram till 2100. De kallas RCP-scenarier, vilket står för Representative Concentration Pathway, och syftar på halten växthusgaser och partiklar i luften, och dess inverkan på strålningsbalansen i atmosfären. De fyra scenarierna är:

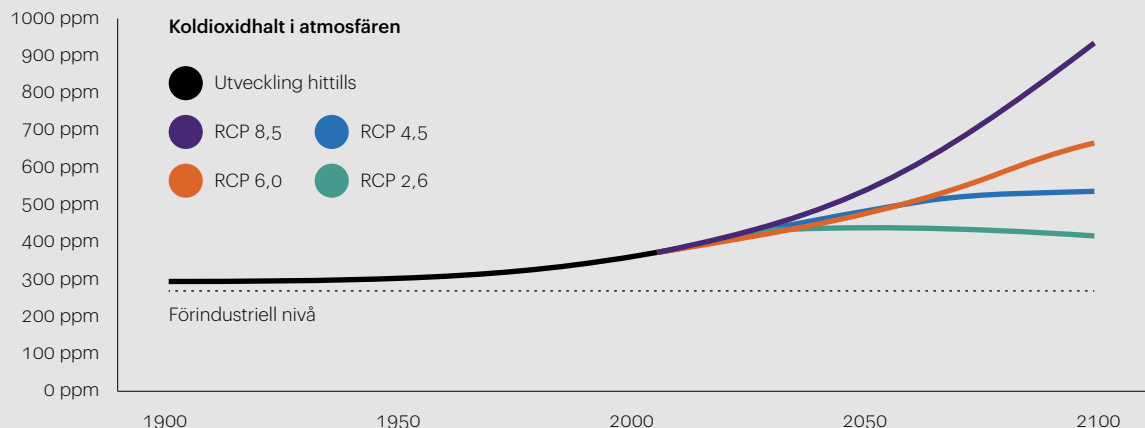
- RCP8,5: Hittillsvarande utsläppstrender håller i sig seklet ut, och innebär att utsläppen av koldioxid tredubblats.
- RCP6,0: Utsläppen av koldioxid kulminerar runt 2080, och luftens koldioxidhalt fortsätter att stiga för att nå 670 ppm 2100.
- RCP4,5: Utsläppen av koldioxid kulminerar runt 2040, och luftens koldioxidhalt fortsätter att stiga för att nå 540 ppm 2100.
- RCP2,6: Förutsätter mycket kraftig minskning av människans klimatpåverkan. Utsläppen av koldioxid kulminerar runt 2020 för att därefter minska i snabb takt. Luftens koldioxidhalt fortsätter ändå att stiga till seklets mitt då den når drygt 440 ppm.

Idag ligger halten växthusgaser på 400 ppm och vid förindustriell tid var halten 280 ppm.

Siffrorna 8,5; 6,0; 4,5 och 2,6 syftar på strålningsdrivning (solens instrålade energi fångas upp i ökad omfattning) i förhållande till förindustriell nivå och räknas i W/m².

Ppm: Part per million, d.v.s. miljondelar av den totala luftvolymen.

Figur 5: Koldioxidhalterna i atmosfären enligt RCP-scenarierna. Källa: En varmare värld. Växthuseffekten och klimatets förändringar (tredje upplagan). Naturvårdsverket 2016.



För att simulera framtidens klimat görs projektioner utifrån de globala klimatmodellerna genom att använda antaganden om hur koncentrationen av växthusgaser förändras, under olika alternativa utvecklingsvägar eller scenarier för samhällets klimatpåverkan, så kallade RCP:er (*Representative Concentration Pathways*). Se faktaruta på sid 24. Dessa beskriver klimatet på en regional skala. För att beskriva lokala effekter används så kallad nedskalning, som främst görs genom att applicera en mer detaljerad klimatmodell för en viss region (regional klimatmodell).

För att bedöma hydrologiska climateffekter används utdata från klimatmodeller, främst nederbörd och temperatur, som indata till en hydrologisk modell, vilken beräknar vattenflöden i landskapet. Baserat på resultaten beräknas slutligen hydrologiska indikatorer som representerar olika effekter på samhället, till exempel vattentillgång och översvämnings-

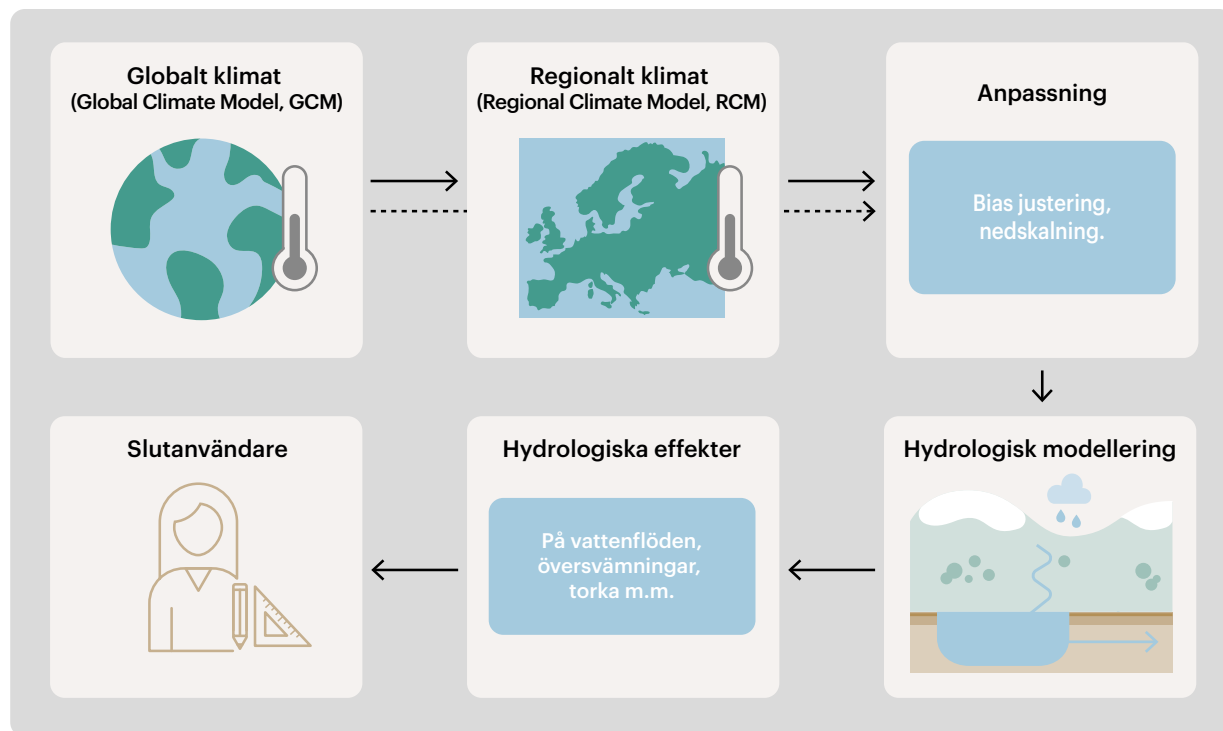
risk. Exempel är medelvattenflödet under ett år samt, det vill säga det flöde som överträffas i genomsnitt vart tionde år.

Förväntade hydrologiska climateffekter utöver den förändrade vårfloren är till exempel en ökad översvämningsrisk som en följd av kraftigare skyfall och ökad risk för vattenbrist som en följd av längre torrperioder. Men dessa förändringar kan ännu inte bekräftas i observationer.

Osäkerheter i klimatmodeller och för klimatdrivna vatteneffekter

En central aspekt av all klimatmodellering och climateffektmodellering är den mängd av osäkerhetsfaktorer som måste beaktas, varav de viktigaste är:

Figur 6: Den hydrologiska klimatmodellkedjan. Källa: Jonas Olsson, SMHI.



- **Global klimatmodell:** Olika klimatmodeller ger skilda resultat, både vad gäller hur väl de beskriver det historiska klimatet och framtida förändringar. Generellt sett finns ingen "bästa modell". De olika modellerna kompletterar varandra.
- **RCP-scenarier:** De utvecklingsvägar som beskrivs av RCP:er ger olika klimatförändring. Vi kan idag inte säga vilken som är mest sannolik.
- **Regional klimatmodell:** En nedskalning av utdata från samma globala klimatmodell med olika regionala klimatmodeller kommer ge olika resultat. På samma sätt som för de globala modellerna finns generellt ingen bästa regionala modell.
- **Bias-justering:** Olika metoder för att justera klimatmodellutdata innan effektmotivering ger olika resultat och kan påverka den framtida förändringssignalen.
- **Hydrologisk modell:** Olika hydrologiska modeller ger olika resultat. På samma sätt som för klimatmodellerna går det generellt inte att utse någon bästa hydrologiska modell.
- **Effektmodeller:** Andra typer av vattenrelaterade modeller, såsom modeller för vattenkvalitet, ekosystemförändringar, eller utveckling/epidemiologi av vattenrelaterade sjukdomar, använder utdata från klimatmodeller, till exempel nederbörd och temperatur, som sina indata.

För att bedöma den sammanlagda effekten av alla osäkerheter behöver man alltså använda utdata från olika globala klimatmodeller, drivna av olika RCP:er. De nedskalas med regionala klimatmodeller, bias-justeras med olika metoder och körs avslutningsvis genom olika hydrologiska modeller. I verkligheten används ofta en samling av data från olika globala modeller, drivna av RCP:er och nedskalade med olika regionala modeller. Detta förfarande motiveras av att de flesta studier tyder på att den största andelen av den totala osäkerheten kommer från klimatmodeller och RCP:er.

För att tillgängliggöra resultat från klimateffektstudier utvecklas klimattjänster. Syftet med dessa är att hjälpa organisationer och individer att ta bra och klimatsmarta beslut. En klimattjänst är normalt en webbaserad portal där beräknade framtida förändringar presenteras för olika variabler, regioner och tidshorisonter. Ofta kan modelldata laddas ned för egna analyser.

Det finns en etablerad metodik för att bedöma klimatförändringens effekter på vattenflöden i Sverige såväl som i andra delar av världen. Den främsta nationella satsningen gjordes år 2015 och utmynnade i så kallade länsanalyser som beskriver de förväntade förändringarna på länsnivå (SMHI g 2016).

Kunskapsluckor avseende klimatmodeller

Det finns ett antal kunskapsluckor som kan fyllas genom forskning:

- Detaljeringsgraden (det vill säga upplösningen) i dagens regionala klimatmodeller är otillräcklig för att beskriva till exempel lokala extremer såsom skyfall. Detta begränsar möjligheterna att ta fram underlag för lokal klimatanpassning. Den nya generationen väldigt högupplösta regionala klimatmodeller kommer förhoppningsvis innebära en förbättring i detta avseende. De kommer även att öka möjligheten att studera samverkan mellan klimatförändringen och förväntad samhällsutveckling (till exempel urbanisering).
- Det behövs ett förbättrat stöd för olika typer av slutanvändare för att tolka och använda resultaten från hydrologisk klimateffektmodellering. De klimattjänster som utvecklas måste i möjligaste mån vara skräddarsydda till de förväntade kunderna, till exempel att informationen är tydlig och begriplig samt att format är anpassade till vanliga system. Specifikt behövs stöd för hur man bör resonera kring osäkerheter.
- Trots att det finns ett trettiotal expertmyndigheter som sitter på mängder av detaljerad kunskap är det svårt för kommunerna att ta reda på vilka specifika sårbarheter som råder lokalt eller regionalt. Idag

lägger kommunerna stora resurser på att låta konsulter och andra privata aktörer sammanställa fakta och bistå med underlag. SKR (Sveriges Kommuner och Regioner) anser i stället att staten, via länsstyrelserna, behöver tillhandahålla kostnadsfria underlag om de lokala klimatriskerna som är på en sådan nivå att det kan användas för kommunernas översiktsplanering.

Klimatförändringars påverkan på hydrologin

Kunskapen är fortfarande begränsad om vilka konsekvenser klimatförändringarna kommer att få. Men klimatmodellerna ger ändå en tämligen entydig bild av att jordens medeltemperatur ökar. Hur vattenflöden och den hydrologiska balansen kommer att påverkas av klimatförändringarna är dock mycket osäkert.

Den fortsatta uppvärmningen bedöms få stora återverkningar på vattnets kretslopp mellan landmiljöer, sjöar, hav och atmosfär. Med ökad temperatur ökar avdunstningen från jordytan, och därmed luftfuktigheten, som senare återförs i form av regn eller snö. Klimatmodellerna visar att den genomsnittliga nederbörden ökar med 2 procent för varje grad temperaturen stiger, men nederbördstillskottet blir mycket ojämnt fördelat över jorden (Bernes 2016). En ökad halt vattenånga i atmosfären som kondenserar, driver på luft rörelser som leder till kraftigare regnskurar, hagelbyar eller snöbyar. Även där nederbörden minskar kan regnen bli intensivare. Det kan innebära att ett och samma område både drabbas av förvärrade problem med torka och risk för tillfälliga översvämningar. Torka och extremväder är svåra att modellera och förutsäga, och skiljer sig dessutom mycket mellan olika regioner.

I Europa bedöms årsnederbörden stiga i norr och minska i söder. Vintertid tycks vi kunna räkna med en ökad nederbörd i större delen av Europa, medan regnmängderna minskar på större delen av kontinenten sommartid. De nordiska länderna hör till en av få regioner i Europa som kan räkna med en ökning av nederbörden på sommaren (Bernes 2016).

OBSERVATIONER AVSEENDE KLIMATFÖRÄNDRINGARNAS PÅVERKAN PÅ HYDROLOGIN

- I vissa avseenden har vi otillräcklig kunskap även om hur dagens klimat påverkar hydrologin, i synnerhet extremvärden eftersom observationer inte sträcker sig tillräckligt långt tillbaka i tiden.
- Den fortsatta uppvärmningen bedöms få stora återverkningar på vattnets kretslopp mellan landmiljöer, sjöar, hav och atmosfär. Flödena förändras till följd av varmare vintrar. Samtidigt blir variationerna större med ökad risk både för torka och översvämningar.
- I södra Sverige väntas mycket av vinternederbörden falla som regn i stället för snö. Det leder till att vattenflödena under vintern ökar och att vårfloden blir mindre tydlig eller uteblir helt, något som redan observerats.
- Snötäcket minskar i norra Sverige, vilket påverkar tjäldjupet och markens infiltration av vatten/grundvatten. I norra Sverige beräknas vårfloden bli mindre och komma tidigare.
- Risken för översvämningar ökar som en följd av kraftigare skyfall och ökad risk för vattenbrist som en följd av längre torrperioder, men dessa förändringar kan ännu inte bekräftas i observationer.
- Under somrarna visar klimatscenerierna på lägre vattenflöden och längre perioder med låga flöden. Detta är en följd av en ökad lufttemperatur och därigenom högre avdunstning.
- I sydöstra delen av landet väntas problem till följd av låga vattenflöden bli vanligare.
- Totalt sett bedöms vattentillgången komma att öka, förutom i sydöstra Sverige där antalet dagar med låg vattenföring beräknas att öka kraftigt.

I landets södra delar väntas mer och mer av vinternederbörden falla som regn istället för snö. Det leder till att vattenflödena under vintern beräknas öka och att vårfloden blir

Tabell 1: Klimatscenarier för RCP4,5 (mellan) och negativa konsekvenser i vatten- och havsmiljön. Detta omfattar endast förändringar i de naturliga processerna. Påverkan på naturliga funktioner och strukturer på grund av förändrat samhälle och mänskliga verksamheter i ett förändrat klimat tillkommer. Källa: Havs- och vattenmyndighetens arbete med handlingsplan för klimatanpassning, rapport 2018:9.

Förändrat klimat	Funktioner och strukturer som förändras i vattenmiljöerna	Exempel på förändrat tillstånd i vattenmiljöerna
Ökad temperatur	Vattentemperatur, skiktning, vattenkemin.	Ökad förekomst av syrefria bottenar genom minskad omblandning, minskad löslighet av syrgas och växthusgaser, havsförurning, gynnsamma tillväxtförhållanden för cyanobakterier, högre tillväxt av bakterier i dricksvatten och badvatten.
Tunnare snötäcke och mindre isutbredning	Vattentemperatur, albedo, avrinning och vattenytans exponering mot vind.	Påverkan på sjöars och havets fysikaliska egenskaper. Risk för minskning av artbestånd, biologisk mångfald och ekosystemens resiliens.
Ökad nederbörd	Förändrad grundvattenbildning, avrinning och sötvattentillförsel till havet.	Risk för översvämning, ökad spridning av föroreningar och näringsämnen, risk för förändringar i salthalt och förändrad skiktning, risk för ras och skred samt ökad erosion.
Minskad nederbörd	Grundvattenbildning, avrinning och sötvattentillförsel till havet.	Risk för dricksvattenbrist och torrperioder.
Högre vattenstånd	Havsvattennivån	Risk för översvämningar, ökad erosion, saltvattenträngning.

mindre tydlig eller uteblir helt, något som redan börjar synas i observationer (SMHI d 2020). Även i de norra delarna av landet beräknas vårfloden bli mindre och komma tidigare. Klimatscenarioerna visar däremot på mindre vattenflöden och längre perioder med låga vattenflöden under somrarna. Detta är en följd av en ökad lufttemperatur och därigenom högre avdunstning. I sydöstra delen av landet väntas problem till följd av låga vattenflöden bli vanligare (SMHI e 2019).

Totalt sett bedöms vattentillgången öka, förutom i sydöstra Sverige där antalet dagar med låg vattenföring kan komma att öka kraftigt (SMHI f 2020). Detta kan påverka möjligheterna till bevattning och dricksvattenproduktion. Vad gäller översvämningrisk kopplad till extrema vattenflöden, till exempel 100-årsflöden är indikationerna olika för olika delar av landet. I Norrlands inland och norra kustland samt delar av Svealand beräknas 100-årsflödena minska. I dessa områden inträffar vanligtvis de högsta flödena under vårfloden, som i ett framtida varmare klimat blir lägre än idag. I nordvästra Norrland, södra Norrlands kustland, i de södra

fjälltrakterna samt i stora delar av Götaland beräknas istället 100-årsflödena att öka, på grund av den ökade nederbörden. Översvämningrisk kopplad till extrem kortvarig regnintensitet (skyfall) bedöms generellt öka, eftersom skyfallen blir intensivare och mer frekventa i ett varmare klimat (Olsson, 2017).

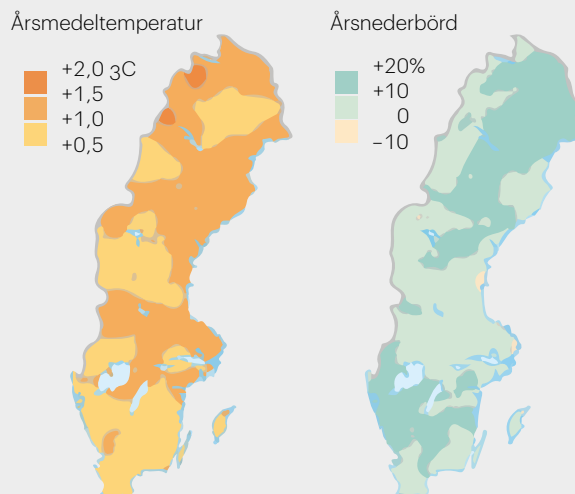
I Tabell 1 ovan visas konsekvenser i de naturliga vattenmiljöerna, enligt IPCCs mellanscenario (se faktaruta Klimatscenarier sid 24). Observera att tabellen inte inkluderar påverkan från mänskliga verksamheter eller förändrade strukturer i samhället. Nedan beskrivs de olika förändringarna mer ingående.

Högre temperaturer

Den tydligaste konsekvensen av klimatförändringarna är att medeltemperaturen på jorden kommer att öka i en historiskt snabb takt. Detta minskar is- och snötäcket och leder till

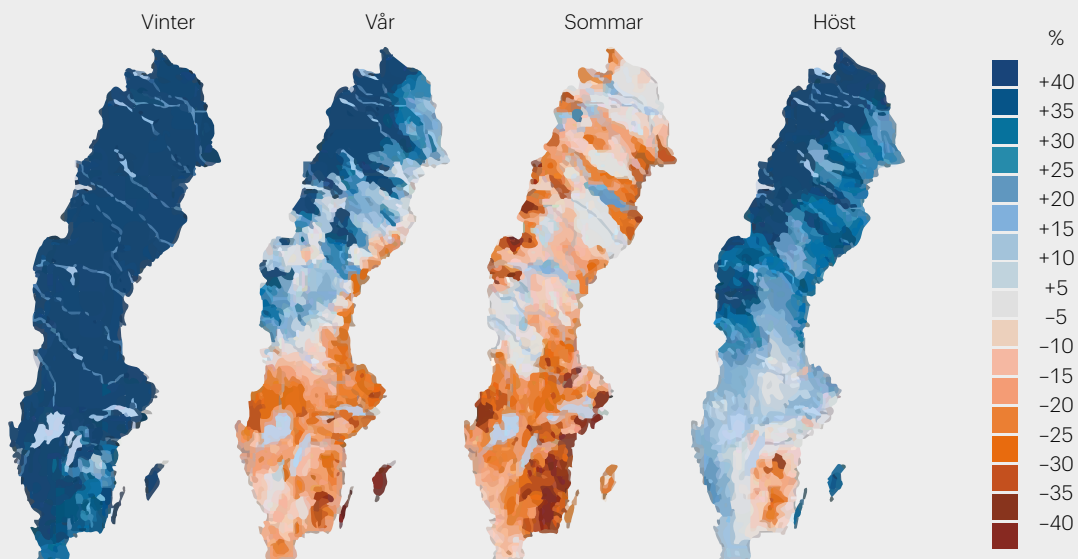
Figur 7: Vi ser redan nu effekterna av ett ändrat klimat. Källa: En varmare värld, Claes Bernes. Naturvårdsverket 2016.

KLIMATFÖRÄNDRINGAR I SVERIGE FRÅN 1961–90 TILL 1991–2015



Figur 8: Avrinningsförändringar under olika årstider. Källa: En varmare värld, Claes Bernes. Naturvårdsverket 2016.

AVRINNINGSFÖRÄNDRINGAR UNDER OLIKA ÅRSTIDER



I Sverige kan vi räkna med att flödena i vattendragen ökar på vintern men minskar på sommaren. Kartorna visar beräknade förändringar från 1963–1992 till 2069–2098. Liksom kartorna ovan bygger de på ett scenario med fortsatt ökande utsläpp (RCP8,5). Med måttligare utsläpp blir också avrinningsförändringarna måttligare, men deras fördelning över tid och rum lär bli ungefär densamma.

en högre vattentemperatur. Det kommer ha stor betydelse för hela vattenmiljöns fysiska och kemiska egenskaper. Det kommer att förvärra miljöproblem och livsbetingelser för levande organismer.

Tunnare snötäcke och mindre isutbredning

Snötäcket är en viktig lagring av vatten i framför allt norra Sverige. Det styr också tjäldjupet i marken och därmed infiltrationen av grundvatten. Snösmältningen är kraftigt styrande för vårfloden, de årligen höga flödena, i norra Sverige. Vårfloden är viktig för artrikedomen i både akvatiska system och landekosystem. Om snösmältnings-tillfällena sprids ut över en längre period kommer det ha effekter på sjöar och vattendrag, men också på de grunda vattenområdena vid kusten. Tunnare snötäcke innebär mindre tjäle, och fler tillfällen med tjällossning. Det minskar markens bärighet för skogsbruket, vilket ger körskador och påverkan på vattenmiljöerna (Havs- och vattenmyndigheten 2018).

Ökad och minskad nederbörd

Redan idag kan vi observera ökad nederbörd som en effekt av ett förändrat klimat. Nederbördsökningen kommer inte att vara jämnt fördelad över landet utan variera mellan olika platser, framför allt vintertid. Skyfall ökar risken för översvämningar, vilket i sin tur kan leda till erosion, slamströmmar, ökad transport av näringsämnen från jordbruksmark, ökad spridning av föroreningar och ökad risk för ras och skred (Havs- och vattenmyndigheten 2018).

Även om nederbörden ökar totalt sett, kommer vissa platser i Sverige att i ökad omfattning få mindre nederbörd och drabbas av torka. Det gäller framför allt de områden som redan idag har vattenbrist och som kommer få en allt svårare situation i ett framtida klimat.

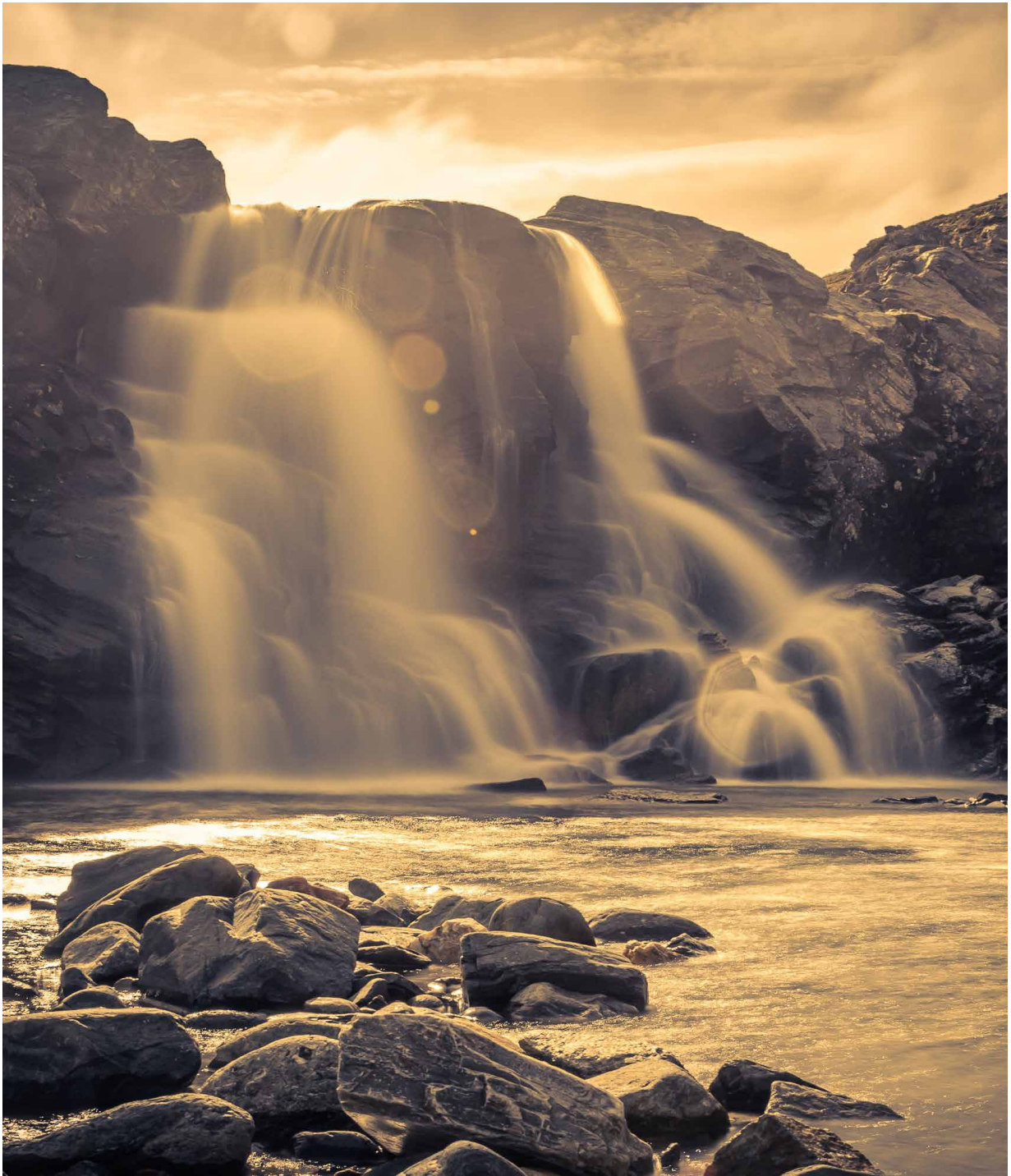
Vattenbrist drabbar både mänskliga verksamheter och ekosystemen. De områden som idag har vattenbrist har

i flera fall haft ekologisk vattenbrist under lång tid genom allt för stora uttag av yt- och grundvatten. Det är lätt att tänka i termer av att olika verksamheter, såsom jordbruk och industrier, behöver få sina behov tillgodosedda, men man måste beakta hela ekosystemen. Det går inte att titta på enskilda verksamheter var för sig, utan man måste tänka i termer av hela kedjan från källa till havet. Om vattennivåerna blir för låga, kommer också viktiga ekosystemtjänster att gå förlorade (Havs- och vattenmyndigheten 2018).

Högre havsvattenstånd

Havsnivån stiger genom att glaciärer och inlandsisar smälter och rinner ut i havet, och att havsvattnet blir varmare och utvidgas till följd av klimatförändringarna. Det kan bli, och är redan delvis, ett stort problem i låglänta områden och för kustnära bebyggelse. För Sverige kompenseras havsnivåns höjning delvis av den pågående landhöjningen sedan den senaste istiden. Det är skillnad mellan olika delar av landet. I norra Sverige längs Bottniska viken, där landhöjningen är som snabbast, höjer sig marken med cirka 10 millimeter per år, medan landhöjningen är 0,8 millimeter per år i de södra delarna av Skåne (SMHI h 2020).

I södra Sverige förväntas medelvattenståndet i havet att stiga i högre takt än landhöjningen. Havet kommer att tränga längre in över land, och vid stormar kan havsnivåerna och stranderosionen öka.





Effekter på samhället

»Den mänskliga påverkan på och användningen av sötvatten uppskattas vara en begränsande faktor för hållbar utveckling.«

I föregående avsnitt diskuteras hur klimatförändringar och förändrade vattenflöden hänger samman. I detta avsnitt beskrivs effekter på och av vattenförändringar i några olika sektorer. Figur 9 på sid 34 sammanfattar schematiskt klimat- och andra drivkrafter till förändringar i sötvatten och deras effekter i samhälle och ekosystem.

vegetation, avdunstar, rinner av som ytvatten eller tränger ner i marken. Den del av vattnet som tränger ner i marken under vegetationsperioden tas till större del upp av träd och växter och avdunstar. Under vinterhalvåret, då växligheten är i vila, fylls vattenmagasinen i marken på. Under sommaren råder i allmänhet underskott på vatten, medan det är överskott på vintern.

Skogsbruk

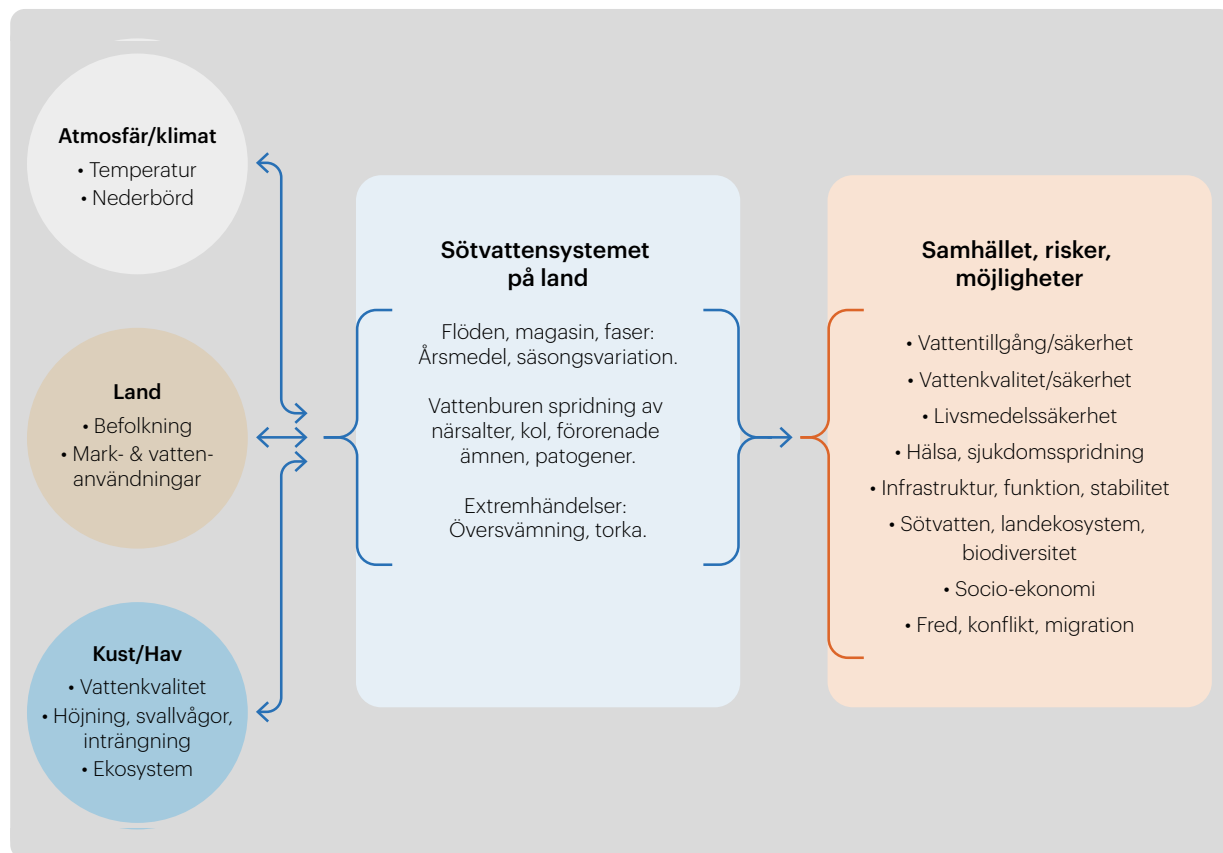
Sveriges yta är till 70 procent täckt av skog (SCB 2019). Det gör att en stor andel av nederbörden filtreras genom skog och skogsmark innan den når yt- och grundvatten. Därmed påverkar skogen vattnet och vattnet skogen. Den nederbörd som faller över skogsmarken fångas upp av träd och

Skogens vattenbalans styrs av de två stora vertikala flödena: nederbörd och evapotranspiration. Skillnaden mellan dessa avgör hur mycket vatten som tränger ned i marken och rinner ut i vattendragen (den totala avrinningen i Figur 3). Evapotranspirationen sker till större delen genom växternas klyvöppningar, det vill säga genom transpirationsdelen av den totala evapotranspirationen. Det finns ett starkt samband mellan evapotranspiration och årsmedeltemperatur. Enligt

OBSERVATIONER AVSEENDE HYDROLOGIS BETYDELSE OCH KLIMATFÖRÄNDRINGANAS EFFEKTER I SAMHÄLLET

- **Skogens** beskaffenhet har stor betydelse för vattenflöden och vattnets kvalitet i Sverige. Nederbörden kan "renas" genom att olika ämnen binds upp i skog och skogsmark. Men vattenflöden genom skogen och marken kan också bidra till att ämnen av olika slag (kvicksilver, humus) följer med ut i vattendragen.
- Klimatförändringar medför längre vegetationsperioder och troligen större svängningar i nederbörden med både blötare och torrare perioder. Det kan innebära ökad tillväxt i skogen men samtidigt ökar risken för skador och påverkan på biologisk mångfald
- Ett torrare och varmare klimat ökar risken för skogsbränder.
- **Jordbruket** tar huvudsakligen ut vatten via nederbörd och ytvatten, men använder betydligt mer vatten än så genom grödornas upptag och transpiration till atmosfären, som inte återgår som nederbörd i samma område. Både förändringar i denna vattenanvändning (vattenförlust från området) och klimatförändringar leder till ökad osäkerhet kring markvattenmagasinens vatteninnehåll.
- Utmaningen för både jordbruk och skogsbruk är i allmänhet för mycket vatten under höst, vinter och vår, men med klimatförändringar kan också för lite vatten, uppkomma mer frekvent och ge tillfällig torka och vattenbrist.
- **Svensk basindustri** är vattenintensiv. Stor tillgång på sötvatten i ytvattentäkter är en viktig konkurrensfördel för industrin. Industrin påverkar vattnets kvalitet genom temperaturförändringar och i vissa fall föroreningar. Förorenad mark och fast avfall kan påverka vattenkvaliteten vid ökade eller nya vattenflöden.
- Klimatförändringarna påverkar dricksvattenförsörjningen på många sätt; större variationer med fler och längre perioder med låga grundvattennivåer, skyfall och översvämningar. Dessa bidrar också till att mer miljöföroreningar sprids till olika miljöer och ekosystem.
- Om inget görs kan samhällets kostnader på grund av climateffekter uppgå till flera miljarder kronor per år, men beräkningarna varierar stort beroende på antagande om klimatscenario.

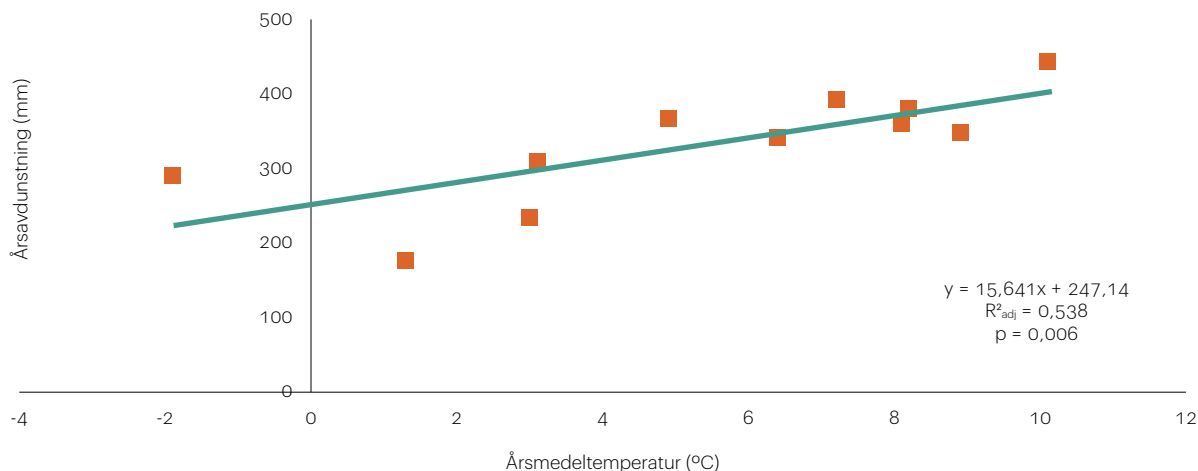
Figur 9: Sammanfattande schematisk illustration av klimat- och andra drivkrafter till sötvattenförändringar och deras vidare effekter i samhället.



EFFEKTER PÅ OCH AV VATTENFÖRÄNDRINGAR

- Både klimatförändringar och förändringar i mänsklig aktivitet och vatten- och markanvändning påverkar sötvattnets hydrologi (UN-Water 2020).
- Havshöjning och andra kustvattenförändringar påverkar sötvattenförhållanden på land, till exempel genom ökad saltvatteninträngning och försämrad grundvattenkvalitet i kustområdena (Mazi et al 2013).
- Förändringar i vattenflöden påverkar även vattnets kvalitet genom att ändra vattnets förmåga att mobilisera, bära med sig och sprida vidare närsalter och föroreningar till andra miljöer (Loon 2015), (Destouni, et al 2017)
- Människors, djurs och ekosystems hälsa påverkas av vattenförändringar som sämre vattenkvalitet, mer omfattande vattenburen spridning av sjukdomsalstrande mikroorganismer, eller mer stillastående och varmare vatten som främjar sjukdomsbärande mygg, (Lindgren, et al 2012) (Ma 2020)

Figur 10: Årlig evapotranspiration (total avdunstning och transpiration) mot årsmedeltemperatur för elva nordiska skogar för ett referensår utan påverkan av torka (efter Lindroth et al., 2020).



en nyligen publicerad studie⁶ ökar den årliga evapotranspirationen med 15 mm per grad stigande årsmedeltemperatur, vilket illustreras i Figur 10 (Lindroth et al 2020).

Hälften av nederbörden kommer att rinna iväg som rörligt ytvatten och resten avdunsta eller tränga djupare ner i marken. Variationen är stor under året. Den kan också vara stor mellan olika år beroende på väderförhållanden. Vidare är förhållandena olika i landet (Skogsstyrelsen 2015). Idag finns nettotillväxt i den svenska skogen. Samtidigt innebär inte ökade virkesförråd i den svenska skogen att mängden avrinnande vatten från skogslandskapet skulle minska (Brandt 1992).

Ett ändrat klimat med högre temperatur och ökad nederbördsmängd, där svängningar i vattentillgången sannolikt blir allt större, kommer att påverka skogen, dess tillväxt och

den biologiska mångfalden. En stigande temperatur innebär att vegetationsperioden blir längre vilket ökar risken för vattenbrist. Ökande temperatur i sig kommer innebära att träden växer mer. Vissa arter kommer dock att missgynnas på grund av torka. En ökning av torrperioder eller ökad nederbörd i perioder kan medföra fler och större angrepp av skadegörare. Effekterna och kostnaderna för ökade skador på träd och skog är svåruppskattade. En ökad tillväxt på grund av längre vegetationsperiod kan kompensera för skadorna men troligen endast delvis.

Effekter uppstår även på skogens omgivande ekosystem. De kemiska egenskaperna hos nederbörden ändrar sig över tid och påverkar träd, växter och kvalitet på avrinnande vatten. I nederbörden (och luften) är det framför allt svaveldioxid, kvävedioxider och en del tungmetaller som påverkar de

⁶ I en nyligen publicerad studie; (Effects of drought and meteorological forcing on carbon and water fluxes in Nordic forests during the dry summer 2018, Lindroth et al., 2020) av effekter av torka på kol- och vattenbalanser i elva nordiska skogar i Sverige, Finland, Estland och Danmark redovisas bland annat årsmedelvärden av evapotranspiration för referensår utan torka. Av dessa skogar var tre rena tallskogar, tre granskogar, fyra blandskogar tall/gran samt en bokskog i åldersspannet 30 – 110 år. Årsavdunstningen var 331±61 (medel ± std) för samtliga skogar. Det fanns ett relativt starkt samband mellan årsmedeltemperatur och årsavdunstning (se diagram). där årsmedeltemperaturen förklarade cirka 54 procent av variationen i årsavdunstning. För varje grad av ökad årsmedeltemperatur ökade årsavdunstningen med 15 mm.

kemiska förhållandena och pH-värdet. Den sura nederbörd som belastat framför allt västra delarna av Sverige har under senaste 20 åren minskat och pH värdena i vatten ökat. (SLU, IVL, SGU, Naturvårdsverket 2019).

Skogen är ett slutet system både med avseende på kväve och fosfor. Läckaget av kväve från skogsmarken är därför lägre, utom i extrema lägen, än det som tillförs via nederbörden. Men även om skogen tar upp större delen av det kväve och fosfor som tillförs via luften, läcker en del av näringsämnen ut till vattendrag och hav. Även om halten av näringsämnen i avrinningen är låg gör den omfattande arealen och därmed vattenvolymen som totalt rinner av från skogsmark, att mängden näringsämnen som når havet kan bli stor. Dock är mängden kväve liten i förhållande till det totala svenska läckaget av kväve till havet. Utsläppet av kväve från skogsbruket (det antropogena utsläppet) är cirka en procent av det totala läckaget till Östersjön (Löfgren 2006).

På merparten av den svenska skogsmarken bedrivs ett aktivt skogsbruk. Det kan leda till att olika skogsbruksåtgärder ökar risken för läckage av näringsämnen och organiskt material. Största risken är sannolikt vid slutavverkning, vilken varje år sker på cirka en procent av den produktiva skogsmarken. Slutavverkning leder till en tillfällig avrinningsökning. Denna tillsammans med det läckage som uppstår vid avverkning minskar i takt med att hyggesvegetation och därefter träd återkoloniserar ytan. Då plantskogen övergått till ungskog är oftast den tidigare balansen återställd.

Den höjda grundvattenytan i hyggesfasen ger mindre utrymme för magasinering av nederbörd, varför ytavrinning lättare kan uppstå efter långvariga regnperioder. Det kan innebära en ökad fara för översvämningar om stora skogsområden avverkas eller vid ett tillfälle blir skadade av brand eller insekter. Körskador av maskiner påverkar också ytavrinningen vilket kan ge negativa miljöeffekter.

Med ett eventuellt läckage av organiskt material följer också att olika former av metaller kan följa med det organiska materialet

(Skogsstyrelsen 2015). Eftersom markerna varierar och hyggesbehandlingen kan vara olika är det dock svårt att generalisera effekterna av avverkning. Exempelvis kan kväveläckaget undvikas genom att vid slutavverkning lämna en högskärm⁷ (Akselsson, Westling och Örlander 2007). I dag diskuteras också möjligheterna att minska kalavverkningarna genom att införa andra brukningsmetoder, så kallat kontinuitetsskogsbruk på marker där detta är lämpligt. Med en sådan brukningsmetod undviker man att kalavverka marken genom att vid varje skördetillfälle avverka utvalda träd i en mindre del av skogen.

I en stor andel av sjöarna i norra Europa och Nordamerika har sjövattnet under senaste två decennier blivit brunare i färgen. Orsaken är framför allt de bruna humusämnen som är nedbrytningsprodukter från växter på land. Dessa dominerar det naturliga lösta organiska material som finns i inlandsvatten i framför allt barrskogsregioner.

Sannolikt är det en kombination av flera olika orsaker som ligger bakom den ökande andelen vattendrag med brunt vatten. Exempel på faktorer som kan påverka är återgång till högre pH-värden i vattendrag, ökad virkesvolym som innebär att det finns mer organiskt material och ökad mängd nederbörd som gör att mer organiskt material spolas ut. Ökande mängder av humusämnen i våra vatten innebär bland annat att transporten av ämnen kopplade till humuspartiklar som fosfor och metaller kan öka.

Kvikksilver i olika former är ett exempel på metall som kan följa med humuspartiklar ut i vattendrag och som sedan ackumuleras i olika näringskedjor. Till viss del vägs det upp av att biotillgängligheten för metaller oftast minskar när de är bundna till humusämnen. Syrefattiga miljöer gör att kvikksilverföreningar från fossila bränslen, omvandlas till giftigt metylkviksilver som kan följa med humus ut i vattendragen och förgifta insjöfisk.

Ökande halter av humusämnen i vattnet skapar dessutom problem i vattenverk, då de utöver det rent estetiska kan orsaka tillväxt av mikroorganismer i ledningsnätet. För att

7 Träd som lämnas kvar efter en avverkning.

motverka detta kan man antingen filtrera råvattnet eller behandla det kemiskt (Sonesten, L 2010).

Ökad risk för skogsbränder

Klimatförändringarnas påverkan på hydrologin får också följeffekter i form av ökad risk för skogsbränder. Riskerna för en skogsbrand styrs av sannolikheten för antändning och förutsättningarna för branden att sprida sig i terrängen (MSB, SLU, RISE, SMHI 2017).

Antändningsrisken styrs av fuktigheten i marken, typ av material (humus, mossor eller förna) och vad det är som antänds. I de flesta fall är det människor som orsakar bränder, exempelvis genom grillning eller glöden från en cigarettfimp. Om väl en antändning har skett i torra ytskikt kan en glödbland sedan fortplanta sig i betydligt fuktigare material.

Förutom snabba insatser från brandförsvaret, påverkas spridningsrisken av fuktkvoten i marken, luftfuktigheten och vindstyrkan. Hur fuktig marken är påverkas av nederbörden i form av snö och regn, ackumulering av vatten, avsmältning, avrinning och avdunstning. Klimatförändringarna påverkar lufttemperaturen och nederbörden, och därmed risken för skogsbränder.

Risken för skogsbrand är störst i de södra delarna av landet och upp längs norrlandskusten. Grovt räknat omfattar brandsäsongen idag mellan 6–7 månader i södra Sverige och 4–5 månader i norra Sverige. Det är troligt att de skillnader som finns i landet idag kommer att förstärkas under de kommande decennierna. Dagens analyser indikerar en längre brandsäsong för hela landet, med ett minskat antal riskdagar i norra Sverige och ett ökat antal i södra Sverige (MSB, SLU, RISE, SMHI 2017).

Jordbruk

Det svenska jordbruket gör direkta vattenuttag på ungefär 75 miljoner kubikmeter per år. Det motsvarar tre procent av de totala vattenuttagen i Sverige. Det används huvudsak-

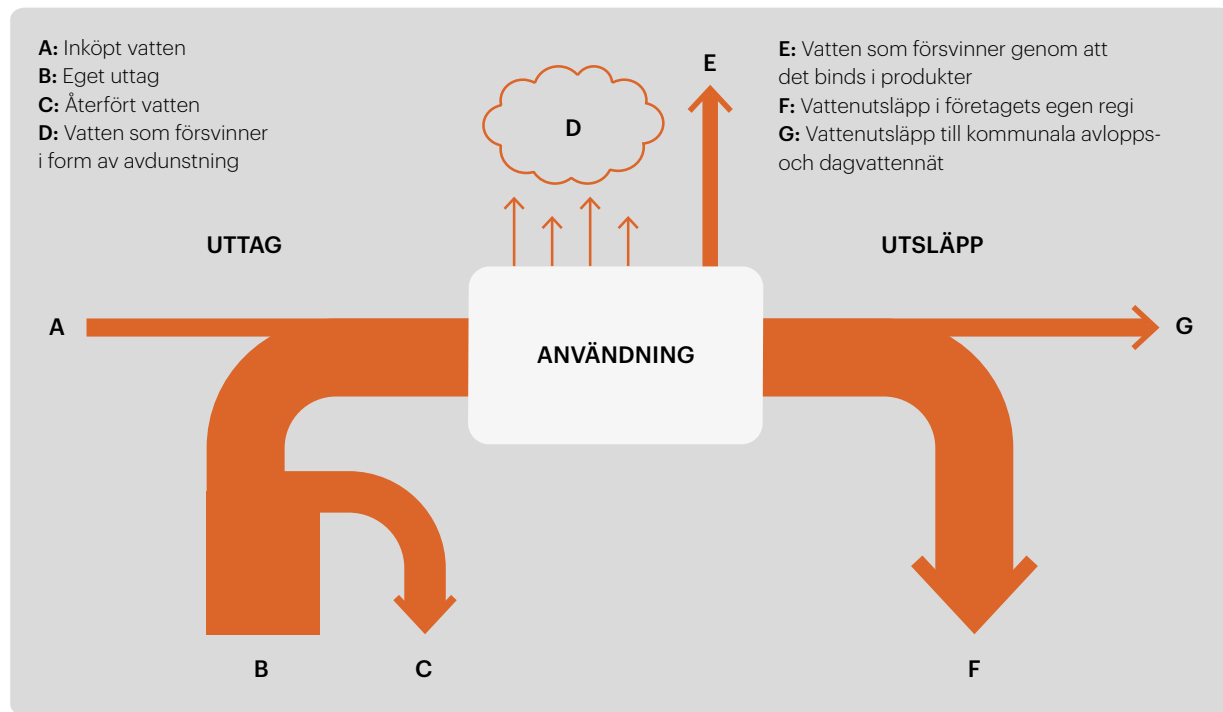
ligen till bevattning av grödor (två tredjedelar) och dricksvatten till djur (en tredjedel). Det kan inte med säkerhet fastställas i vilken utsträckning jordbruket tar ut ytvatten eller grundvatten. Men undersökningar visar att cirka 85 procent av jordbrukets vattenuttag kommer från ytvatten (SCB 2017). Jordbruket använder i princip inget vatten från kommunal dricksvattenproduktion.

Det är mycket svårt att få fram statistik om bevattning. Under 2010 bedömdes den uppgå till 62 miljoner kubikmeter och 2015 48 miljoner kubikmeter. De skillnaderna är mycket stora. Närmare 60 procent av den totala volymen för bevattning används i Skåne län, där en stor del av grödorna med bevattningsbehov som potatis, sockerbetor och grönsaker finns. (SCB 2017) Även vatten för djurhållning har minskat. En orsak är att antalet mjölkkor i Sverige har minskat med 40 procent mellan 1990 och 2015.

Det är ännu svårare att få fram siffror på hur mycket vatten jordbruket använder utöver de direkta vattenuttagen. Studier visar dock att den expansion och intensifiering av jordbruket som skett i Sverige under det senaste århundrandet har ökat evapotranspirationen (då mer vatten behövs för mer grödor). Mer vatten går tillbaka till atmosfären utan att återföras som nederbörd i samma avrinningsområde. Därmed förlorar området vatten och får minskad avrinning genom landskapet och mindre vattentillgänglighet för andra samhällsanvändningar (Destouni et al, 2013). Expansion och intensifiering av jordbruket har också ökat tidsvariationerna i både markvattenhalt och avrinning, så att både särskilt torra och särskilt blöta perioder blivit mer frekventa, till exempel i hela Mälardalsområdet (Destouni och Hydrol, 2014) (Science for Environment Policy, 2015)

Sverige har en hög medelvattennivå i grundvatten och ytvatten. Utmaningen för jordbruket är därför ofta för mycket vatten i marken eller i landskapet: marken är blöt så att växternas rötter lider av syrebrist och har inte bärighet för maskiner. Det senare gör att sådden kan bli försenad vilket minskar avkastningen. Om marken är för blöt vid skörd kan denna inte ske vid den lämpligaste tidpunkten. Det innebär ofta sämre kvalitet på exempelvis spannmål eller potatis.

All mark för livsmedelsproduktion är utdikad på ett eller annat sätt. Öppna diken är vanligast men det finns även nätverk av

Figur 11: En schematisk flödesbild av industrins uttag, användning och utsläppt vatten. Källa: SCB 2016.

täckdikningsrör som i regel är på en meters djup. Grödornas behov av vatten tillgodoses oftast genom en tillräcklig nederbörd under växtsäsongen. Men år med torka kan vålla stor skada på livsmedelsproduktionen. Under ett år med normal nederbörd bevattnas endast några procent av den svenska åkermarken.

Jordbrukets vattenhushållning handlar om att säkerställa markvattenmagasin av lämplig storlek. Överskottsvatten leds bort genom öppna diken och täckdikning. Det är också viktigt att skapa en struktur på marken, så att den kan hålla mycket vatten samtidigt som rötterna får luft. För att skapa utrymme för markvattenmagasin så måste grundvattnet sänkas så att det finns luft runt rötterna. Vattnet får ej stiga högre än 1–1,2 meter under markytan.

Klimatförändringarna påverkar temperatur och nederbörd, vilket i sin tur påverkar vattenflöden, avdunstning och fuk-

tighet i mark samt längden på växtodlingssäsongen. Det möjliggör nya grödor, samtidigt som ett förändrat klimat ökar problemen med skadedjur, ogräs, svampsjukdomar med mera (Sveriges Lantbruksuniversitet 2019). Behovet av dränering och bevattning kommer att bli mer svårförutsägbart i framtiden.

Industri och processvatten

Vi talar ofta om Sveriges naturtillgångar i form av skogen och malmen. Men den rikliga tillgången på ytvatten i sjöar och vattendrag är också en viktig förutsättning för den svenska industrin, dess utveckling och konkurrenskraft. Användningen av ytvatten innebär att industrin inte behöver belasta grundvattenreserver, som förnyas långsammare, för sitt process- och kylvatten. Detta ger en konkurrensfördel

internationellt, eftersom det möjliggör en mer hållbar produktionsprocess.

Industrin står för två tredjedelar av de totala direkta uttagen av sötvatten i Sverige. Ett fåtal branscher står för huvuddelen av industrins vattenuttag. Massa- och pappersindustrin står för cirka 40 procent. Därefter kommer kemiindustrin med drygt 20 procent och stål- och metallverk med 15 procent (SCB 2016). Mer än hälften av industrins vattenanvändning går till kylning av produktionsprocesser. Omgivningen påverkas av utsläpp av kylvatten eftersom det är varmare än omgivande vatten, men anses i övrigt vara rent (SCB 2017).

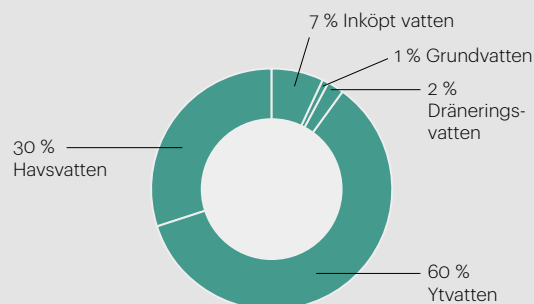
Industrin tar främst ut vatten från egna vattentäkter (90 procent av uttagen), mestadels från ytvatten, se Figur 12. Vatten från kommunala vattenverk motsvarar ungefär 7 procent av industrins vattenuttag och hanteras vidare i avsnittet Kommunal vattenförsörjning.

Vattenuttagen har legat på en relativt stabil nivå sedan 1980-talet, trots tillväxt i industrin. Orsaken är en effektivisering och introduktion av mer vattensnåla produktionsprocesser. Industrin är också den enda sektor som använder havsvatten (saltvatten) i större omfattning, och då främst för kylning av processer. År 2015 användes totalt 2 116 miljoner kubikmeter vatten i industrin.⁸ Det inkluderar uttag av dräneringsvatten i gruvor och mineralbrott. Det totala uttaget av sötvatten uppgick till 1 490 miljoner kubikmeter. Dräneringsvatten används delvis i produktionen och räknas då in i använt vatten, medan vatten som återförs ej ingår. Av det vatten som industrin använder släpps cirka 80 procent tillbaka ut i naturen i industrins egen regi. Se illustration i Figur 11.

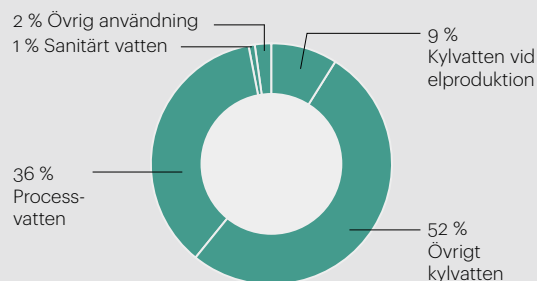
Industrins vattenanvändning fördelas på kylvatten för elproduktion, övrigt kylvatten, processvatten, sanitärt vatten

⁸ Kylvatten till kärnkraftverk ingår inte i statistiken. Det utgörs av havsvatten (ej sötvatten), som anses vara en oändlig resurs. Kärnkraftverkens havsvattenuttag bedöms uppgå till 10 miljarder kubikmeter per år, att jämföra med den övriga industrins totala vattenuttag på drygt 2 miljarder kubikmeter inkl. havsvatten. (SCB 2016)

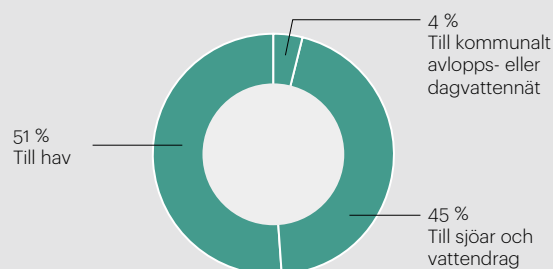
Figur 12: Industrins vattenuttag år 2015 efter typ av vatten. Totalt använde industrin 2,1 miljarder kubikmeter vatten (exkl. kylvatten till kärnkraftverk som uppgår till cirka 10 miljarder kubikmeter.) Källa: SCB 2016.



Figur 13: Industrins vattenanvändning 2015 fördelat efter användningsområden. Källa: SCB 2016.



Figur 14: Industrins vattenutsläpp år 2015 fördelat efter recipient. Källa: SCB 2016.



och övrig vattenanvändning. Kylvatten utgör totalt cirka 60 procent av industrins vattenanvändning.

Det vatten som industrin släpper ut efter användning (ca 80 procent) fördelas mellan olika recipienter enligt Figur 14. Att det släpps ut mindre vatten än vad som används beror på att en del vatten förångas, avdunstar eller ingår i produkter. Störst skillnad mellan använt och utsläppt vatten finns inom trävaruindustrin, där mindre än hälften av det använda vattnet släpps ut.

För Sveriges basindustrier (massa- och pappersindustrin, järn och stålindustrin, gruv- och mineralindustrin och kemiindustrin) är hantering av vatten en central del av verksamheten. Klimatförändringar påverkar vattenflöden och vattnets temperatur, siktdjup, pH-värde, syrehalt, med mera. Eftersom en stor del av industrins vatten hämtas ur ytvatten, som flödar genom sjöar och vattendrag, påverkas industrins vattenhantering av dessa förändringar. Hur känsliga olika industrier är för sådana klimatdrivna vattenförändringar beror på hur de använder vatten, var och hur deras vattenuttag sker, samt hur vatten återförs till naturen och till vilken recipient.

Vattenkraft och dammar

Strömmande vatten har sedan länge använts som en viktig resurs för att exempelvis driva kvarnar och pumpar och frakta virke. Idag används vattenkraften främst för att producera el genom att utnyttja de skillnader i lägesenergi som finns i vattendragen. Ju större fallhöjd och vattenflöde, desto mer elektricitet kan alstras. För att koncentrera och reglera vattenflödena för effektiv vattenkraftproduktion byggs dammar och tunnlar som har en direkt påverkan på vattensystemen.

Vid fördämningar sjunker vattenhastigheten och den vattentäckta ytan ökar. I stället för att utgöra en strömsträcka med hög energi blir dämningssområdet mer som ett lugnflytande, flackt vattendrag, eller i vissa fall, en sjö. Ju fler dammar och kraftverk som byggs i ett vattensystem desto högre regleringsgrad uppnås och större andel av årsflödet regleras via tappning från det konstgjorda magasinet. Regleringsgraden varierar ofta mellan 20 och 70 procent av årsflödet i en älv eller ett vattendrag (Vattenmyndigheterna 2013).

Regleringen av nivåer och flöden genom dammar och kraftverk förändrar vattnets flödesmönster tidsmässigt, genom säsongsvariationer och även kortsiktigare fluktuationer i vattenföring mellan höga och låga flöden. Generellt reduceras vårflo den medan vintervattenföringen blir högre i reglerade vattendrag och sjöar, eftersom efterfrågan på el är högre på vintern. Det skapar avsevärda skillnader i vattennivåer jämfört med oreglerade förhållanden. Skillnaderna påverkar också grundvattnet genom dess direkta kontakt och samvariation med nivåer och flöden i närliggande sjöar och vattendrag.

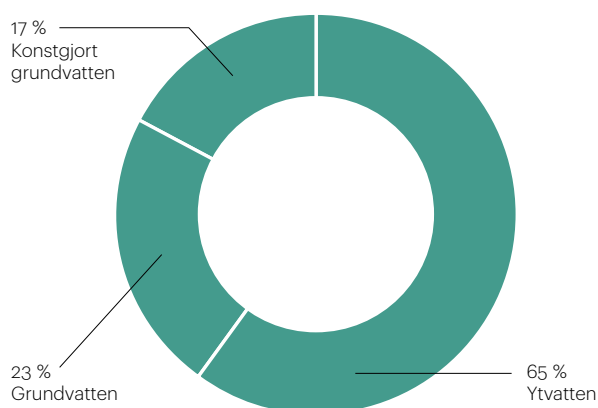
Sammantaget har alla lokala fördämningar och flödesregleringar i olika delar av världen lett till betydande hydrologiska förändringar (specifikt ökning av evapotranspiration och minskning avrinning). Det har fått stora regionala effekter men också på global nivå (Destouni et al 2013) (Destouni och Jaramello 2015). Vattenflödena har förändrats av dessa effekter, samtidigt som de påverkats av flödeseffekter av tidigare och kommande klimatförändringar. När flödena förändras i ett vattendrag påverkas känsligheten för föroreningar av olika slag, till exempel från industri och eutrofierande utsläpp från jordbruk och avloppsvatten. Den översvämning av land som fördämningarna leder till påverkar även temperatur och vattenkemi i vattendragen. I sektionen om ekosystem nedan beskrivs vidare fördämningarnas betydande ekosystemeffekter.

Ökad nederbörd till följd av klimatförändringarna kan möjliggöra en successivt ökad elproduktion med vattenkraft. Det är önskvärt med mer förnybar energi för att vi ska kunna fasa ut de fossila bränslena, men här uppstår också en målkonflikt. Reglerade vattendrag påverkar ekosystemen och den biologiska mångfalden. I Sverige och i EU pågår en diskussion om hur olika intressen bäst ska vägas mot varandra.

Kommunal vattenförsörjning

Kommunerna är huvudansvariga för dricksvattenförsörjningen. Idag får cirka 90 procent av Sveriges befolkning sitt dricksvatten via denna allmänna vattenförsörjning. Förutom hushållen, är även offentliga verksamheter såsom skolor, sjukhus, simhallar och många företag anslutna till det kommunala vattenledningsnätet (SCB 2017). Under 2015 leverer-

Figur 15: Fördelning av det kommunala vattnet efter typ av vatten. Källa: Vattenanvändningen i Sverige 2015, SCB.

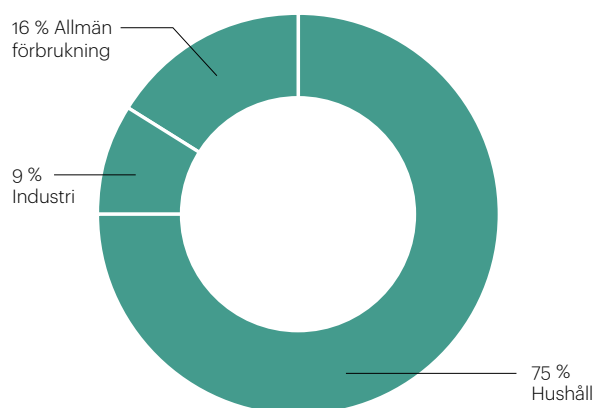


rade de kommunala vattenverken 863 miljoner kubikmeter vatten. En knapp fjärdedel utgjordes av grundvatten och resten ytvatten. Konstgjort grundvatten är ytvatten som infiltrerats genom en sandbädd för att förstärka grundvattenbildningen. Se Figur 15.

Av det kommunala vattnet levereras 75 procent till hushåll, 16 procent till offentlig service och 9 procent till tillverkande industri.

Klimatförändringar påverkar dricksvattenförsörjningen på många sätt. Under de senaste åren har flera kommuner i Sverige upplevt låga grundvattennivåer och brist på vatten. Samtidigt förväntas det bli allt vanligare med häftiga skyfall och översvämningar, vilket sätter ökad press på ledningssystemen och riskerar att leda till att miljöföroreningar sprids till vattnet. Ökade temperaturer påverkar också vattenkvaliteten i sjöar och vattendrag. Brunifiering och en ökad tillväxt av alger och bakterier kan till exempel leda till ökade behov av rening. Vattenbrist påverkar aktörer med enskild vattenförsörjning mer då dessa främst tar vatten från små grundvattenmagasin. Det kan i sin tur leda till att fler vill ansluta sig till kommunal vattenförsörjning.

Figur 16: Kommunalt vatten efter typ av användning, procent. Källa: Vattenanvändningen i Sverige 2015, SCB.



Parallellt med klimatförändringars effekter växer befolkningarna i de större städerna, och fler bostäder behöver byggas. En ökad exploatering och förändrad markanvändning påverkar vattnet på flera olika sätt. Några exempel är att hårdgjorda ytor minskar grundvattenbildning och att dagvatten och vägar ökar riskerna för förorening av vatten.

Hushållens vattenanvändning och enskilda vattenlösningar

När det inte finns tillgång till kommunalt vatten och avlopp ansvarar husägaren själv för sin vatten- och avloppslösning. Idag har cirka 1,2 miljoner människor enskilt vatten året runt. De permanentboendes uttag motsvarar cirka 61 miljoner kubikmeter eller 11 procent av den lokala avrinningen per delavrinningsområde (1980–2010).

Kommunen bedriver tillsyn och utfärdar tillstånd för små avloppsanläggningar. Generellt sett är grundvatten ofta renare än ytvatten då det filtreras naturligt genom sand- och gruslager på samma sätt som regnvattnet renas på vägen

genom jordlagren. Kvaliteten på grundvattnet kan variera. Därför krävs det att enskilda husägare installerar filter för ytterligare rening. Det är husägarna själva som är ansvariga för att genomföra vattenanalysen.

Klimatförändringarna påverkar enskilda vattenlösningar genom att det regnar mer på vintern vilket orsakar översvämningar som kan påverka vattenkvaliteten. Även torka påverkar genom att brunnarna kan sika. I skärgårdsnära områden kan detta medföra saltvatteninträngning. Många kommuner utfärdar bevattningsförbud under vår och sommar men även långt in på hösten i områden med vattenbrist.

Hushållen står för ungefär en femtedel (23 procent) av användningen av sötvatten i Sverige, vilken uppgick till cirka 565 miljoner kubikmeter 2015. Den övergripande trenden är att hushållen använder allt mindre vatten. Orsakerna är inte helt klarlagda. Men snålspolande toaletter och effektiva hushållsmaskiner bedöms spela en viktig roll (SOU 2016:32).

Merparten, cirka 86 procent av hushållens vatten kommer från de kommunala vattenverken. Resterande tas från enskilda vattentäkter, i regel grävda eller borrhälsbrunnar. Merparten med enskilda brunnar är permanentboende. Fritidshus beräknas stå för en dryg procent av hushållens vattenanvändning.

Drygt hälften av hushållens vattenanvändning kommer från ytvatten (52 procent). Resterande är grundvatten (33 procent) eller konstgjort grundvatten (15 procent). Konstgjort grundvatten innebär att ytvatten infiltreras genom en sandbädd till en sand- och grusavlagring för att förstärka grundvattenbildningen.

Det är stora regionala skillnader i hur stor andel av vattenanvändningen som härrör från hushållen, vilket beror på befolkningstätheten i olika delar av landet. Stockholms län står för störst vattenanvändning från hushåll. Stockholms län, Skåne och Västra Götalands län, står tillsammans mer än hälften av hushållens vattenkonsumtion. Det är också stora skillnader i hur vattenförsörjningen är organiserad. Stockholms län har störst andel kommunalt vatten, cirka 95 procent, medan Gotlands län har lägst andel, cirka 66 procent.

Ekosystem

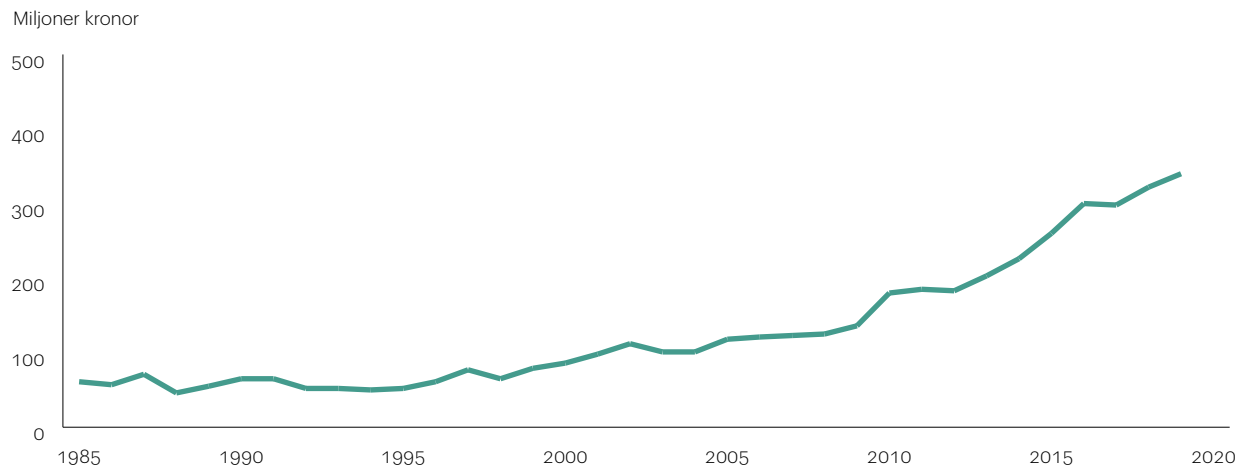
Sötvatten är inte bara en resurs för mänsklig användning utan också oundgänglig livsmiljö för organismer och ekosystem med stor biologisk mångfald (Dudgeon 2006) (Dudgeon 2019). Sötvattenekosystemen förser samhället med oersättliga tjänster. Dessa tjänster är till exempel "försörjande" – ger oss det vatten vi och allt liv på jorden behöver för att överleva och leva ett gott liv. De kan också vara "stödjande" – och ge grundförutsättningar för att alla ekosystem och deras andra ekosystemtjänster ska fungera, som biologisk mångfald och naturliga kretslopp. De kan också vara "reglerande" – genom att bidra till att förbättra vår livsmiljö genom att till exempel förbättra vattenkvaliteten genom självreningseffekter i olika vattenmiljöer, som i våtmarker och genom grundvattnets strömning genom marken, samt det lokala klimatet genom avkylningseffekter av avdunstning och växters transpiration. Tjänsterna kan också vara "kulturella" – som får oss att må bra genom att ge attraktiva rekreativmiljöer och inspiration.

Mänsklig påverkan på vattenekosystemen med mindre tillgång till vatten och försämrade vattenkvalitet minskar dock tjänsternas positiva effekter som de kan bidra med för oss, våra samhällen, andra ekosystem och allt liv på jorden. Det mänskliga fotavtrycket på vattenekosystemen ökar och minskar deras tjänster både kvantitets- och kvalitetsmässigt (Hoekstra och Mekonnen 2012)

Fördämningar och vattenflödesregleringar för vattenkraft och andra ändamål är exempel på mänskliga aktiviteter med stor påverkan på vattenekosystem, biologisk mångfald och vattentillgång för annan mänsklig användning. De av människan stora drivna förändringarna som redan skett i sötvattenekosystemen gör dessa mer sårbara för klimatdrivna förändringar. Ny forskning visar på centrala kunskapsluckor och osäkerheter om hur klimatförändringar och den övriga samlade mänskliga påverkan kan komma att utvecklas och förändra sötvattenekosystemen.

Utdikningar och andra dräneringsåtgärder, samt fördämningar och vattenflödesregleringar för vattenkraft och andra ändamål (till exempel vattenlagring för konstbevattning) är exempel på mänskliga aktiviteter med stor påverkan på vattenekosystem, biologisk mångfald och vattentillgång

Figur 17: Utbetalda försäkringsbelopp till företag och hushåll för vattenrelaterade naturskador i 2019 års priser.
Källa: Svensk försäkring 2020.



för annan användning av människan. Överledning av vatten i tunnlar från reglermagasin till kraftverk kan till exempel göra att inget eller små mängder vatten blir kvar i ursprungliga vattenfåror. De torrfåror som skapas kan vara flera mil långa (Vattenmyndigheterna 2013). Regleringsförändringar påverkar också bottenfauna och fisksamhällen vad gäller artsammansättning, täthet av organismer och produktionsförutsättningar. Även utbyte mellan yt- och grundvatten påverkas, med inverkan på ekosystemens struktur och funktion i strandnära landmiljöer. Förutom lokala effekter påverkas också vattensystemet i sin helhet genom ändringar i vattenburen transport och deposition av sediment, organiskt material och föroreningar, samt i temperaturregim bland annat på grund av överdämning och högre vinterflöden.

Den mänskliga påverkan på, och användningen av sötvatten uppskattas nu vara en mer begränsande faktor för hållbar utveckling än markanvändningen. Samtidigt minskar den biologiska mångfalden snabbare i sötvattensystem än i marksystem (Albert 2020). De stora av människan drivna förändringarna som redan skett i sötvattenekosystemen gör dem också mer sårbara för klimatdrivna förändringseffekter. Ny forskning visar på centrala kunskapsluckor och osäkerheter om klimatförändringar och hur övriga samlade

mänskliga påverkan kan komma att utvecklas och förändra sötvattenekosystemen framöver. Kunskapen är också bristfällig om hur olika mänskliga åtgärder kan förbättra sötvattenmiljöerna, såsom restaurering av våtmarker och av försurade sjöar (Thorslund 2017).

Skadekostnader av klimatdrivna vattenförändringar

Skadekostnader av vattenrelaterade klimateffekter är av flera olika slag:

- Minskad eller utebliven avkastning för jord- och skogsbruk
- Översvämningar som påverkar infrastrukturen
- Ekosystem påverkas genom förändrad artsammansättning
- Otillräcklig vattenkvalitet påverkar hälsan.

Skadekostnaderna utgörs av konsekvenserna om inget görs för att motverka dessa vattenrelaterade klimateffekter. Man jämför minst två olika scenarier; kostnader med och utan klimateffekter. Skillnaden utgör kostnaden av klimateffekter.

Tabell 2: Vattenrelaterade skador av klimatförändringar vid scenarier om relativt låg respektive hög klimateffekt, miljarder kr/år under perioden 2010-2100 i 2019 års priser. Källa: SOU 2007:60.

	Låg	Hög
Vägar	0,16	0,29
Dricksvattenförsörjning	0,82	1,63
Översvämning	1,57	6,94
Ras, skred erosion	0,38	1,34
Jordbruk, bevattning	0,21	0,43
Summa	3,14	10,63

Oavsett scenario kräver kostnadsberäkningarna en systematisk genomgång av skador i tid och rum för olika aktörer. Det gäller att uppskatta omfattningen av skadorna och värdera dem i monetära termer. Om skadorna sker under en längre tid blir valet av diskonteringsränta viktigt för utfallet.

En del kostnader är enkla att beräkna, exempelvis värdet av minskad skörd vid torka eller fuktskadade marker. Marknadspriser på den aktuella grödan kan då användas som värde för minskad avkastning. Det blir svårare när marknadspriser inte är tillgängliga, exempelvis effekter på hälsa och ekosystem.

Man kan urskilja två typer av ansatser för beräkning av kostnader av klimateffekter. Den ena är statistiska metoder baserade på historiska data, den andra numerisk modellering av kostnader under olika scenarier.

Exempel på den första ansatsen är utbetalning av försäkringsbelopp för vattenrelaterade skador, framför allt för skador av översvämningar. Sådana utbetalningar till företag och hushåll har ökat betydligt under de senaste 25 åren. Figur 17.

År 1985 betalades 60 miljoner kronor ut. År 2019 var utbetalningarna fem gånger så stora, 335 miljoner kronor. Ök-

ningen beror både på ökat antal fall, från 7 000 på 1980-talet till 15 000 år 2019, och på att skadebeloppet per fall ökat från 8 100 till 22 300 kronor per fall.

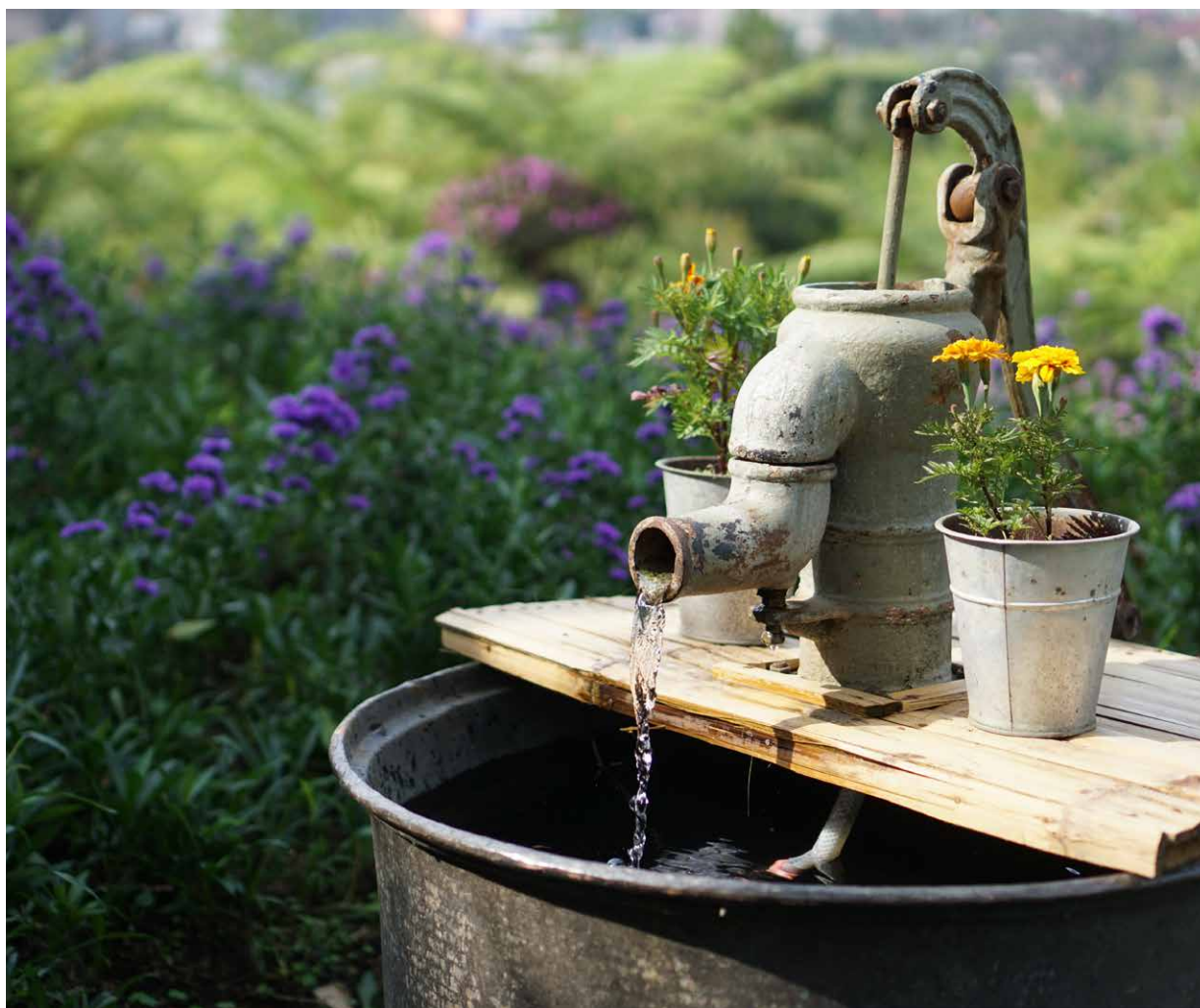
Kostnaden per fall bestäms av den fysiska omfattningen av skadan och värdet på det som skadas, till exempel byggnader, vägar, eller jordbruksmark. Klimatförändringarna har lett till ökade försäkringsutbetalningar i Sverige, (Grahn och Olsson 2019). Höjda mark- och fastighetsvärdena har också bidragit till att skadebeloppen ökat.

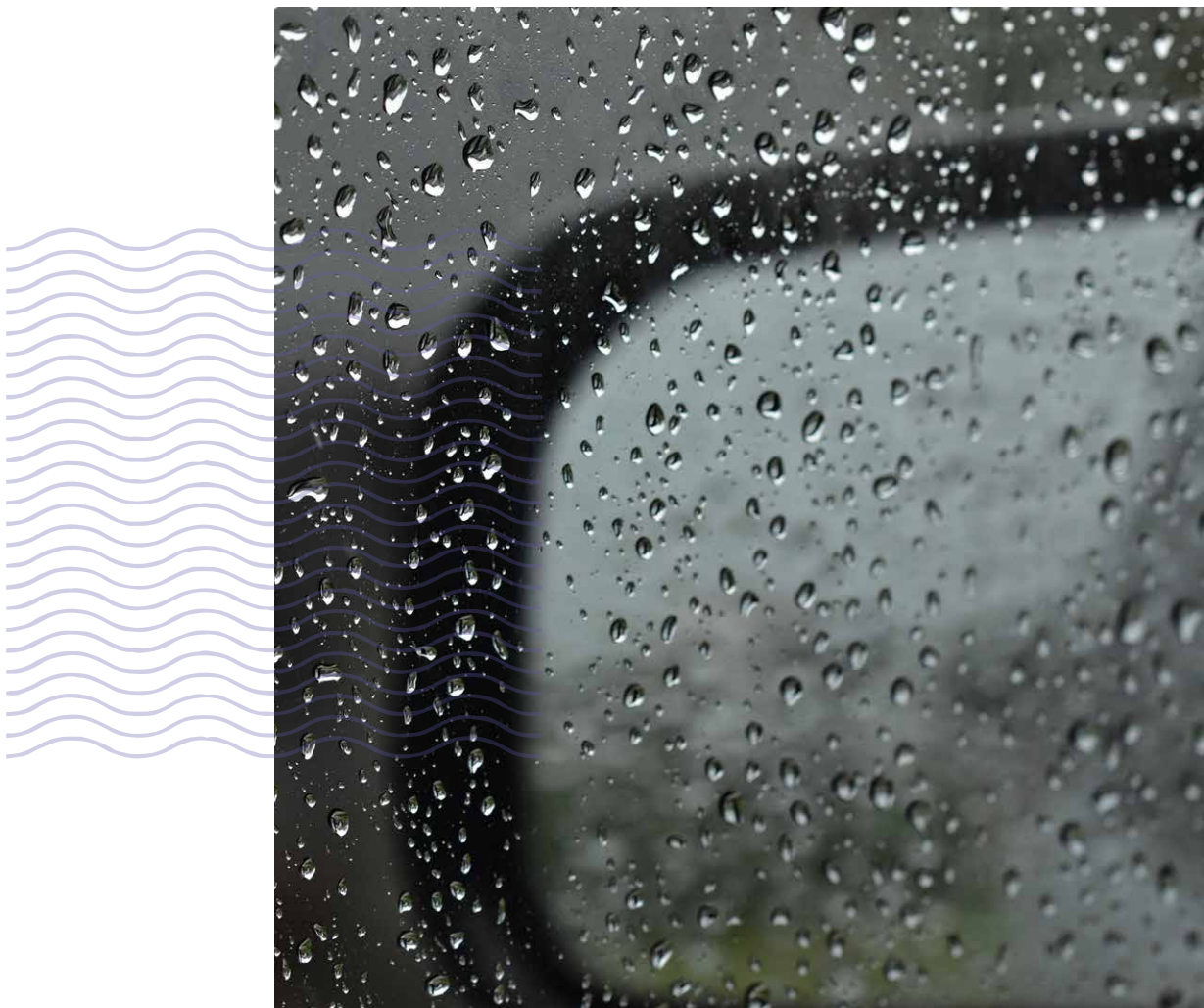
Den andra ansatsen, numerisk modellering av kostnader under olika scenarier, använde den hittills enda systematiska analysen av kostnader av klimatförändringar i Sverige. Den genomfördes inom ramen för en statlig utredning som lades fram 2007 (SOU 2007:60). Kostnaderna av klimatrelaterade skador under olika klimatscenarier beräknades. Dessa bygger på de övergripande globala scenarierna, se sid 24. Utredningen är gedigen och omfattande och beaktar både intäkter för vissa sektorer, (vattenkraft, jord- och skogsbruk) och olika typer av skador.

Prognoser gjordes för perioden 2010–2100. De beräknade vattenrelaterade kostnaderna varierar mellan 3,14 och 10,63 miljarder kronor per år beroende på val av klimatscenario (Tabell 2).

Vid beräkningarna av kostnaderna under båda scenarierna har diskonteringsränta på fyra procent använts. Det innebär att framtida kostnader reduceras med fyra procent per år. En långvarig och intensiv debatt om lämplig nivå på diskonteringsräntan har förts bland ekonomer (se till exempel (Arrow 2014)). Ett viktigt skäl är att den har så stor påverkan på kostnader och värden som uppstår under en längre tid. Kostnaderna i tabell 1 fördubblas nästan när diskonteringsräntan sjunker till 2 procent.

Kostnader av översvämning av mark och byggnader utgör den största andelen av de totala kostnaderna under båda scenarierna. Den totala kostnaden motsvarade som mest 0,2 procent av bruttonationalprodukten (BNP) 2019. Dessa kostnader utgör dock endast en del av de identifierade effekterna på de olika sektorerna, hälsa och ekosystem.





Anpassning och beredskap

»Klimatförändringarna kommer att öka kraven på aktiv vattenhantering och styrning utifrån prognoser.«

Klimatanpassningsåtgärder

Skogen och användningen av skogliga produkter som ersätter produkter från fossila råvaror, är en stor del av skogsbrukets bidrag till att bromsa klimatförändringarna. För att passa in i ett framtida varmare klimat anpassas det plantodlingsmaterial som används vid förnygring. En del av arbetet är att använda rätt trädslag på rätt mark. Den viktigaste åtgärden är att använda tall på torrare marker och mer barrblandskog på mellanbördiga.

Skogsbruket har under det senaste decenniet allt mer systematiskt arbetat med planering, riskförebyggande- och hänsynsåtgärder. Detta görs för att höja kvaliteten på vatten och öka den biologiska mångfalden kopplat till vatten i skogslandskapet. Ett exempel är studiekampanjen "Skogens Vatten". För en bättre planering används olika former av vattenkartor med markprofiler samt klassning av vattendrag i form av blå målklasser i skogsbruksplaner.

För att minska risken för läckage av näringsämnen och organiskt material vid skogliga åtgärder måste olika typer av hänsyn tas. Exempel på åtgärder är kantzoner med träd utmed vattendrag, körskadeförebyggande åtgärder vid arbete med maskiner, slamfickor och översilning vid dikesrensning och skyddsdikning.

För de förebyggande åtgärderna finns branschgemensamma målbilder. Dessa kan ses som ett komplement till lagstiftningen. Branschen genomför också en rad konkreta åtgärder: För att få bättre hänsyn till vatten vid olika skogliga åtgärder sker utbildningsaktiviteter för skogsägare och utförare. Kopplat till risk för bränder i skog och mark genomförs ett systematiskt förebyggande arbete.

Dagens investeringar i jordbruket måste hantera klimatförändringar i ett tjugoårsperspektiv. Det innebär stor osäkerhet i förutsättningarna för investeringarna.

Jordbruket arbetar med olika typer av åtgärder för klimatanpassning. Ur ett hydrologiskt perspektiv handlar det om att minska sårbarheten för variationer i vattentillgång.

Vattentillgången i själva landskapet beror på skillnaden mellan nederbörd och avdunstning. Dessa är två osäkra vattenvariabler, som också beror på temperatur. Jordbrukets framtida behov av dränering och bevattning är där-

OBSERVATIONER AVSEENDE ANPASSNING OCH BEREDSKAP

- Viktiga åtgärder för att klimatanpassa skogen är bland annat val av trädslag, exempelvis att tall sätts på torra marker, att man i växtförädlingsprogrammen anpassat trädslagen för ett ändrat klimat, och etablering av kantzoner vid vattendrag.
- Jordbruket arbetar med olika typer av åtgärder för att klimatanpassa verksamheten. Ur ett hydrologiskt perspektiv handlar det om att minska sårbarheten för variationer i vattentillgång. All mark för livsmedelsproduktion är dränerad genom öppna diken eller genom dräneringsrör i marken. Allt fler bönder bygger bevattningsdammar för att kunna samla vatten till torrperioder. Det är en stor investering, och osäkert hur ofta den kan komma till användning.
- I ett förändrat klimat måste kommuner arbeta förebyggande för att säkra vattenförsörjningen, bland annat genom att arbeta in regionala och, när det finns, lokala vattenförsörjningsplaner i översiktsplaneringen för att skydda möjliga framtida dricksvattenområden. Kostnader för åtgärder kan uppgå till flera miljarder per år, där kostnader för att motverka översvämningar står för en hög andel.
- Kostnader för klimatanpassning ställer krav på finansiering, och det är i dagsläget oklart vems som ska betala.

för mer svårförutsägbara än att enbart förutsäga framtida temperaturer.

Att hantera vattenflöden är avgörande för jordbruket och därmed för en robust svensk livsmedelsproduktion. Lantbrukaren måste hantera både blöta och torka på sin brukningsmark. Allt fler bönder bygger därför bevattningsdammar för att kunna samla vatten under vinterhalvåret. I sådana kan man både nyttiggöra vattnet och minska förluster av växtnäring. I kalkylen för en så stor investering som en damm måste hänsyn tas till att det är osäkert hur ofta den kan komma att användas, vilket ju beror på mängden nederbörd under dammens brukningstid.

Längre perioder av torka gör att behovet av bevattning förväntas öka. Idag bevattnas 3,5 procent av den odlade arealen. I de delar av landet som har mindre nederbörd som Öland och Gotland kan bevattning ge ökade skördar de flesta år, särskilt vid odling av gräs för foder. Det finns även en potential att använda renat avloppsvatten för bevattning. (Sveriges Lantbruksuniversitet 2019)

För industrin är det viktigt att arbeta med vattenfrågorna i ett helhetsperspektiv. Ofta delar flera verksamheter på en vattentäkt, exempelvis jordbruk och industrier. Därför krävs ett samarbete för att hålla kvar vattnet i systemet, till exempel genom våtmarker. För gruvindustrin gäller det att minimera vattenanvändningen i processerna och samtidigt öka reningen, framför allt den processinterna. Detta kan innebära en förändrad påverkan på verksamheternas recipienter eftersom det ofta behövs processkemikalier till reningen.

Kommunernas anpassning styrs bland annat av Plan- och bygglagen och Miljöbalken. I dessa stadgas att kommunerna är skyldiga att främja en långsiktigt god hushållning med mark och vatten utifrån hänsyn till miljö- och klimataspekter. I ett förändrat klimat måste kommuner arbeta förebyggande för att säkra vattenförsörjningen, bland annat genom att arbeta in regionala och, när de finns, lokala vattenförsörjningsplaner i översiktsplaneringen för att skydda möjliga framtida dricksvattenområden. Planen kan också användas i kommunens bedömningar när verksamheter och åtgärder ska tillståndsprövas utifrån miljöbalken samt vid utveckling av strategier för dagvatten. Många gånger krävs också samverkan med grannkommuner och länsstyrelsen.

I sina översiktsplaner måste kommunerna hantera klimatrisker för ny bebyggelse samt analysera behovet av klimatanpassning i den bebyggda miljön. Översvämning, ras, skred eller erosion kan ge upphov till förorening av en dricksvattenresurs som gör att vattnet inte kan renas till dricksvattenkvalitet. Kommunerna ska ge sin syn på hur sådana risker kan minska eller helt undanröjas.

Behov av prognoser

För samtliga sektorer, privata och offentliga, gäller att klimatiförändringarna sannolikt kommer att innebära högre krav på aktiv vattenhantering och styrning utifrån prognoser. Redan nu uppstår problem med låga vattennivåer under högsommar och senvinter, vilket i många fall tycks vara kopplade till ovanligt låga vattennivåer under sommaren.

För att optimera aktiv vattenhantering krävs träffsäkra prognoser på olika skalor i tid och rum. Prognoser för urbana översvämningar kräver högupplöst modellering med en maximal tidshorisont på 1–2 dygn. Prognoser för vattenbrist kan vara regionala med en tidshorisont på upp till ett halvår. Fortsatt utveckling av prognoser för olika typer av risker och användare är en viktig del av klimatanpassningen, särskilt eftersom de extrema väderförhållandena förväntas förstärkas av klimatiförändringen.

Kostnader och dess fördelning på olika aktörer

När åtgärder för klimatanpassning ska genomföras är man i många fall tvungen att välja mellan olika alternativ. Då måste de totala kostnaderna för samhället vägas mot effekterna av åtgärderna. Om kostnader för att genomföra vissa åtgärder är högre än de som undviks, är åtgärderna inte rimliga att genomföra. Problemet är att i olika beslutssituationer uppskatta olika delar av kostnader och vilken nytta de ger.

Underhåll och nyinvesteringar i olika typer av VA-infrastruktur och åtgärder för dagvattenhantering är kostnader som i de flesta fall är relativt enkla att beräkna. De består till allra

Tabell 3: Exempel på beräknade kostnader av åtgärder som minskar vattenrelaterade climateffekter, miljardkr/år i 2019 års priser.

	Låg	Hög
Kommuners förebyggande av ökade översvämningar^a	0,55	1,01
Dricksvattenförsörjning^b	0,01	0,50
Ökade kostnader för att uppnå miljökvalitetsmål i Mälaren^c	-0,19	0,46
Kommuners kostnader för ras, skred och erosion^d	1,61	2,41
Jordbrukets kostnader för täckdikning^e	1	1
Vattenverk och ledningsnät^f	1,15	1,15

^a MSB (2014) tabell 8; ^b Livsmedelsverket (2019) tabell 10; ^c Gren (2010) tabell 3;

^d SOU 2017:42; ^e Jordbruksverket (2018); ^f Svenskt Vatten (2020)

största del av investerings- och underhållskostnader. För att vid investeringstillfället avgöra värdet på lång sikt använder man en diskonteringsränta som ger ett nuvärde.

När det finns flera åtgärder att välja mellan behövs principer och metoder för att rangordna dem. Ett sätt är att i monetära termer beräkna kostnaderna för åtgärderna och de skador man undviker eller förbättringar i miljön som uppnås.

I VA-relaterade sammanhang har dock få sådana beräkningar gjorts på verkliga fall (Read et al 2016). I en studie från Malmö beräknades kostnader och nyttan av åtgärder inom dagvattenhanteringen inom ett visst område. Resultatet visade att nyttan endast översteg kostnaden om värdet av effekterna på ekosystemtjänster inkluderas.

Åtgärder kan även rangordnas efter deras fysiska och biologiska effekter. Exempel på en sådan är ändrad markanvändning i olika delar av ett avrinningsområde för att dämpa nedströms översvämningar. Nyttan av olika åtgärders effekt på översvämning beräknas då för de olika lokaliseringsmöjligheterna av exempelvis våtmarker.

Metoderna för att beräkna kostnaderna för åtgärder varierar mellan de olika exemplen i tabellen. Myndigheten för samhällsskydd och beredskap (MSB 2014) har beräknat kostnaderna för förebyggande av översvämningar i sex olika typkommuner avseende bland annat storlek och närhet till vatten. Resultatet har använts som grund för beräkningar i övriga kommuner.

Det finns en omfattande litteratur om kostnadseffektiv klimatspolitik (Tol 2013). Men det finns få studier specifikt om vattenfrågor i Sverige. Skattningar av kostnaderna för framtida vattenskador har genomförts, men inte för andra vattenrelaterade åtgärder. Exempel tyder dock på att dessa kan vara låga, till och med negativa.

Livsmedelsverket (Livsmedelsverket 2019) har sammanställt beräkningar för åtgärder för dricksvattenförsörjning såsom nya ledningar och nya vattentäkter. Dessa har visat att kostnaderna är låga. Det har också genomförts en kostnadseffektivitetsanalys av att uppnå miljökvalitetsmål i Mälaren (Gren, 2010) som visar på låga och i vissa fall negativa kostnader.

Inte självklart vem som ska betala för klimatanpassningsåtgärder

Åtgärder för klimatanpassning genomförs av en rad privata och offentliga aktörer. När det saknas ett direkt samband mellan nytta och kostnader för en individ eller företag uppstår frågan vem som ska betala. Det beror på att kostnader och nyttor för åtgärderna är asymmetriskt fördelade.

Skogs- och jordbruket är ett exempel. Genom att minska transport av organiskt material eller minska övergödning undviks en försämrad vattenkvalitet. Men kostnaden bärs av markägaren ensam samtidigt som många andra intressenter upplever nyttan och drar fördel av bevarad vattenkvalitet.

Klimatrelaterade åtgärder har redan initierats i flera sektorer. I vissa fall kan kostnaderna för dessa finansieras via höjda försäljningspriser. Möjligheterna varierar dock mellan olika sektorer och branscher.

I andra fall är det inte möjligt att identifiera betalningsvilliga användare. Ett exempel är risker för översvämning. En vanlig finansieringsform blir då skatter som sedan kan fördelas genom bidrag. Ett exempel är att kommuner kan söka bidrag från Myndigheten för samhällsskydd och beredskap för klimatanpassningsåtgärder. Ganska få kommuner känner till statsbidraget men ändå är söktrycket stort varje år. Statsbidraget kommer dock att minska från 74,8 miljoner kronor till 24,8 miljoner per år de kommande tre åren.

Skattefinansierade stöd medför samhällsekonomiska kostnader eftersom de i regel snedvrider priserna på varor och tjänster. Effekten blir att priserna inte avspeglar företagens kostnader för produktion eller konsumenternas betalningsvilja. Inom vattenområdet kan sådana samhällsekonomiska kostnader undvikas genom förändringar av VA-avgifterna.

Hantera efterfrågan på vatten genom avgifter

Enligt ekonomisk teori är avgifter för användare att föredra framför bidrag. Anledningen är att de ger bäst incita-

ment att fördela en begränsad vattentillgång där den ger mest nytta. Konsumenten reagerar på en avgiftshöjning precis på samma sätt som när priset på en vara höjs. En högre VA-taxa medför därför minskad förbrukning och vice versa. Därigenom har en avgift både en styrande effekt på vattenanvändning och finansierande sådan för offentliga intäkter.

Samtidigt kan en hög vattenavgift medföra icke önskvärda fördelningseffekter där hushåll med låga inkomster betalar relativt sett mycket för vatten, eftersom denna kostnad kommer att bli en större del av hushållsbudgeten jämfört med ett hushåll med högre inkomster. En annan aspekt är att tillgång till vatten av god kvalitet är nödvändig och i Sverige betraktas som en rättighet för varje individ.

En avgift på vattenanvändning kan användas för att åstadkomma kostnadseffektiva lösningar och stimulera teknisk utveckling. På motsvarande sätt kan utformning av system för ersättning till aktörer för genomförande av åtgärder påverka sådana lösningar. I regel förordas då resultatbaserad ersättning såsom ökat vattenutbud eller effekt på översvämning.

Flera studier visar på stora skillnader i den totala kostnaden för att uppnå ett visst resultat mellan incitaments- och påbudsbaserade system. (Gren och Scharin 2006). Effekten av skillnaderna drabbar i slutändan skattebetalarna och vattenanvändarna som betalar mer än vad som behövs för en viss tjänst.

Ofta är det svårt att hitta rätt ersättning för att uppnå önskad effekt. Upphandling via omvända auktioner (aktören med den lägsta kostnaden för en viss produktion av till exempel vatten eller översvämningsskydd får uppdraget) kan då ge liknande incitamentseffekter som ersättningssystem som bygger på output från verksamheten.





Appendix

Litteraturförteckning
Ordlista

Litteraturförteckning

Akselsson, Cecilia, Olle Westling, Göran Örlander. *Skogsskötsel och vattenkvalitet*. Stockholm: IVL Svenska Miljöinstitutet, 2007.

Albert, James S., Destouni, Georgia, Duke-Sylvester, Scott M., Magurran, Anne E., Oberdorff, Thierry, Reis, Roberto E., Winemiller, Kirk O., och Ripple, William J. *Scientists' warning to humanity on the freshwater biodiversity crisis*. *Ambio* 50, 85–94 (2021).

Arrow, Kenneth J., Cropper, Maureen L., Gollier, Christian, Groom, Ben, Heal, Geoffrey M., Newell, Richard G., Nordhaus, William D., Pindyck, Robert S., Pizer, William A., Portney, Paul R., Sterner, Thomas, Tol, Richard S. J., och Weitzman, Martin L.. *Should the governments use a declining discount rate in project analysis*. *Review of Environmental Economics and Policy* 8, 145–163, 2014.

Bernes, Claes. *En varmare värld. Växthuseffekten och klimatets förändringar*. Stockholm: Naturvårdsverket, 2016.

Brandt, Maja. *Skogen inverkan på vattenbalansen*. Norrköping: SMHI Hydrologi nr 37, 1992.

Destouni, G., Jaramillo, F., och Prieto, C. *Hydroclimatic shifts driven by human water use for food and energy production*. *Nature Clim Change* 3, 213–217 (2013).

Destouni, Georgia, och Verrot, Lucile. *Screening long-term variability and change of soil moisture in a changing climate*, 516, 131–139, 2014. *J. Hydrol.*, 516, 131–139, 2014, 2014.

Destouni, Georgia, Fischer Ida, och Prieto, Carmen. *Water quality and ecosystem management: Data-driven reality check of effects in streams and lakes*. *Water Resources Research*, 53, 6395–6404., 2017.

Dudgeon, David, Arthington, Angela H, Gessner, Mark O, Kawabata, Zen-Ichiro, Knowler, Duncan J, Lévêque, Christian, Naiman, Robert J, Prieur-Richard, Anne-Hélène, Soto, Doris, Stiassny, Melanie L J, och Sullivan, Caroline A. *Freshwater biodiversity: importance, threats, status and conservation challenges*, *Biological Reviews*, 81, 163–182. *Biological Reviews*, 2006.

Dudgeon, David. *Multiple threats imperil freshwater biodiversity in the Anthropocene*, *Current Biology*, 29, R960–R967. *Current Biology*, 2019.

European Commission. *EU taxonomy for sustainable activities*. 2020. https://ec.europa.eu/info/business-economy-euro/banking-and-finance/sustainable-finance/eu-taxonomy-sustainable-activities_en#201120 (använd 2020).

Garrone, Paola, Grilli, Luca, och Marzano, Riccardo. *Price elasticity of water demand considering scarcity and attitudes*. *Utilities Policy* 59, 100927. *Utilities Policy*, 2019.

Grahn, Tonje, och Jonas Olsson. *Insured flood damage in Sweden, 1987–2013*. *Journal of Flood Risk Management* 12, e12465. 2019.

Gren, Ing-Marie, och Scharin, Henrik. *Styrmedel i vattenpolitiken – Vad säger ekonomisk teori och empiri?* *Vatten* 62, 131–138. *Vatten*, 2006.

Gren, Ing-Marie. *Climate change and the Water Framework Directive: Cost effectiveness and policy design for water management in the Swedish Mälaren region*. *Climatic Change*, 100(3): 463–484. 2010.

Havs- och vattenmyndigheten. *Havs- och vattenmyndighetens arbete med handlingsplan för klimatanpassning*. Göteborg: Havs- och vattenmyndigheten, 2018.

Hoekstra, Arjen Y., och Mekonnen, Mesfin M. *The water footprint of humanity*, PNAS, 109, 3232–3237. PNAS, 2012.

Höglund, Lena. *Household demand for water in Sweden with implications of a potential tax on water use*. *Water Resources Research* 35, 3853–3863. Vatten, 1999.

Jacobson, Michael, Charlson, Robert J., Rodhe, Henning, och Orians, Gordon H. *Earth System Science – From Biogeochemical Cycles to Global Change*. International Geophysics ISBN: 978-0-12-379370-6 (2000), 2000.

Jaramillo, Fernando, och Destouni, Georgia. *Developing water change spectra and distinguishing change drivers worldwide*. *Geophysical Research Letters*, 41 (23), 8377–8386, 2014.

Jaramello, Ferdinando, och Destouni, Georgia. *Local flow regulation and irrigation raise global human water consumption and footprint*. *Science*, 350 (6265), 1248–1251, 2015.

Jarsjo, J., Asokan, S. M., Prieto, C., Bring, A., and Destouni, G. *Hydrological responses to climate change conditioned by historic alterations of land-use and water-use*, *Hydrology and Earth System Sciences*, 16, 1335–1347. 2012.

Jordbruksverket 2018. *Avvattning av jordbruksmark i ett förändrat klimat*. Rapport 2018:19.

Kommittén för dimensionerande flöden för dammanläggningar i ett klimatförändringsperspektiv. *Dammsäkerhet och klimatförändringar*. Kommittén för dimensionerande flöden för dammanläggningar i ett klimatförändringsperspektiv, 2011.

Lennartsson, Tommy, och Louise Simonsson. *Biologisk mångfald och klimatförändringar*. Centrum för biologisk mångfald, SLU, 2007.

Lindgren, Elisabet, Andersson, Yvonne, Suk, Jonathan E., Sudre, Bertrand, och Semenza, Jan C. *Monitoring EU emerging infectious disease risk due to climate change*. *Science*, 336 (6080), 418–419., 2012.

Lindroth, Anders, Holst, Jutta, Linderson, Maj-Lena, Aurela, Mika, Biermann, Tobias, Heliasz, Michal, Chi, Jinshu, Ibrom, Andreas, Kolari, Pasi, Klemedtsson, Leif, Krasnova, Alisa, Laurila, Tuomas, Lehner, Irene, Lohila, Annalea, Mammarella, Ivan, Mölder, Meelis, Löfvenius, Mikael, Ottosson, Peichl, Matthias, Pilegaard, Kim, Soosaar, Kaido, Vesala, Timo, Vestin, Patrik, Weslien, Per, and Nilsson, Mats. *Effects of drought and meteorological forcing on carbon and water fluxes in Nordic forests during the dry summer of 2018*. *Phil. Trans. R. Soc. B* 3752019051620190516. 2020.

Lindström, Göran. *Hydrologiska aspekter på åtgärder mot vattenbrist och torka inom avrinningsområden*, Rapport Hydrologi 122, SMHI, 2019.

Livsmedelsverket. *Handbok för klimatanpassad dricksvattenförsörjning*. Livsmedelsverket, 2019.

Löfgren, Stefan. *Åtgärder i skogen försumbara för Östersjön*. *Östersjön – hot och hopp*. Stockholm: Formas, 2006.

Ma, Yan, Vigouroux, Guillaume, Kalantari, Zahra, Goldenberg, Romain, och Destouni, Georgia. *Implications of Projected Hydroclimatic Change for Tularemia Outbreaks in High-Risk Areas across Sweden*, *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 17, 6786. Public Health, 2020.

Mazi, Katerina, Koussis, Antonis D., och Destouni, Georgia. *Tipping points for seawater intrusion in coastal aquifers under rising sea level*. *Environ. Res. Lett.*, 8, 014001 (6pp), 2013.

MSB. *Kommunernas kostnader för att förebygga översvämningar. En skattning för 2012*. Publikationsnummer MSB801. MSB, 2014.

MSB, SLU, RISE, SMHI. *Klimatpåverkan på skogsbrandrisk i Sverige*. Karlstad: MSB, 2017.

Nationalencyklopedin. *Nationalencyklopedin*. september30 2020. www.ne.se.

Naturvårdsverket. *Växthuseffekten förstärks*.
<https://www.naturvardsverket.se/Sa-mar-miljon/Klimat-och-luft/Klimat/Darfor-blir-det-varmare/Vaxthuseffekten-forstarks/> (använd 09 11 2020).

Olsson, Jonas, Berg, Peter, Eronn, Anna, Simonsson, Lennart, Södling, Johan, Wern, Lennart, och Yang, Wei. *Extremregn i nuvarande och framtida klimat*. Norrköping: SMHI, 2017.

Panahi, Davood Moshir, Kalantari, Zahra, Ghajarnia, Navid, Seifollahi-Aghmiuni, och Destouni, Georgia. *Variability and change in the hydro-climate and water resources of Iran over a recent 30-year period*. Scientific Reports, 10, 7450, 2020.

Raymond, Colin, Horton, Radley M., Zscheischler, Jakob, Martius, Olivia, AghaKouchak, Amir, Balch, Jennifer, Bowen, Steven G., Camargo, Suzana J., Hess, Jeremy, Kornhuber, Kai, Oppenheimer, Michael, Ruane, Alex C., Wahl, Thomas, och White, Kathleen. *Understanding and managing connected extreme events*. Nature Climate Change, 10, 611–621., 2020.

Read, Kari Ella, Karras, Marika, Sörensen, Johanna, och Cedergren, Alexander. *Kostnads-nyttoanalys av införandet av dagvattenhantering som riskreducerande åtgärd mot översvämning – med fokus på monetär värdering av ekosystemtjänster*. Vatten 72, 159–168. 2016.

SCB. *Industrins vattenanvändning 2015 MI 16 SM 1601*. Örebro. 2016.

SCB. *Markanvändning i Sverige, sjunde utgåvan*. Örebro: SCB, 2019.

SCB. *Vattenanvändningen i Sverige 2015*. Örebro: SCB, 2017.

Science for Environment Policy, 2015. *European Commission (EC), Screening soil moisture conditions reveals increased risk of drought in a Swedish drainage basin*. 2015.

Skogsstyrelsen a. *Målbilder för god miljöhänsyn*. 2020. <https://www.skogsstyrelsen.se/mer-om-skog/malbilder-for-god-miljohansyn> (använd den 09 11 2020).

Skogsstyrelsen. *Skogsbruk – mark och vatten*. Jönköping: Skogsstyrelsen, 2015.

SLU, IVL, SGU, Naturvårdsverket. *Integrerad övervakning av miljötillståndet i svensk skogsmark, årsrapport*. SLU, IVL, SGU, Naturvårdsverket, 2019.

SMHI a. *Sveriges klimat har blivit varmare och blötare*. den 21 11 2019. <https://www.smhi.se/kunskapsbanken/klimat/sveriges-klimat/sveriges-klimat-har-blivit-varmare-och-blotare-1.21614> (använd 09 11 2020).

SMHI b. *Klimatindikator – temperatur*. <https://www.smhi.se/klimat/klimatet-da-och-nu/klimatindikatorer/klimatindikator-temperatur-1.2430> (använd 09 11 2020).

SMHI c. *Klimatindikator – nederbörd*. den 16 09 2020. <https://www.smhi.se/klimat/klimatet-da-och-nu/klimatindikatorer/klimatindikator-nederbord-1.2887> (använd 09 11 2020).

SMHI d. *Klimatindikator – vårflödsstart*. <https://www.smhi.se/klimat/klimatet-da-och-nu/klimatindikatorer/klimatindikator-arets-forsta-snosmaltning-1.101282> (använd 09 11 2020).

SMHI e. *Förändrade framtida vattenförhållanden*. <https://www.smhi.se/klimat/framtidens-klimat/framtidens-klimat-sa-paverkas-vi/vattenforhallanden-1.32795> (använd 09 11 2020).

SMHI f. *Konsekvenser för svenska vattenflöden*. <https://www.smhi.se/kunskapsbanken/klimat/klimat effekter-i-sjoar-och-vattendrag/konsekvenser-for-svenska-vattenfloden-1.5837> (använd 09 11 2020).

SMHI g. *Framtidsklimat i Sveriges län – enligt RCP-scenarier*. <https://www.smhi.se/klimat/framtidens-klimat/framtidsklimat-i-sveriges-lan-enligt-rcp-scenarier-1.95384> (använd 15 04 2016).

SMHI h. *Landhöjning och vattenstånd*. <https://www.smhi.se/kunskapsbanken/oceanografi/vattenstand-och-klimat/landhojning-och-havsvattenstand-1.3437>. (använd 14 10 2020).

Sonesten, Lars, *Brunifiering av våra vatten, Havet 2010 – Om miljötillståndet i svenska havsområden*, Naturvårdsverket, Havsmiljöinstitutet, 2010.

SOU 2007:60. *Sweden facing climate challenges: threats and opportunities*. SOU 2007:60, sid 18. Stockholm: Statens offentliga utredningar.

SOU 2016:32. *En trygg dricksvattenförsörjning. Slutbetänkande från Dricksvattenutredningen*. Stockholm: Statens offentliga utredningar, 2016.

SOU 2017:42. *Vem har ansvaret? Betänkande av klimatanpassningsutredningen*. Stockholm: Statens offentliga utredningar, 2017.

Svensk försäkring. *Svensk försäkring, naturskador*. 2020. <https://www.svenskforsakring.se/statistik/skedeforsakring/skadestatistik-per-skadeart/naturskador/> (använd den 10 11 2020).

Svenskt vatten. *Kommentarer till 2019 års taxestatistik*. Svenskt vatten, 2019.

Svenskt vatten. *Taxeundersökning*. 2020. <https://www.svensktvatten.se/vattentjanster/organisation-och-juridik/va-statistik/taxeundersokning/> (använd 10 11 2020).

Sveriges Lantbruksuniversitet. *Jordbrukets klimatanpassning*. Uppsala: SLU Future Food, 2019.

Thorslund, Josefin, Jarsjo, Jerker, Jaramillo, Fernando, Jawitz, James W., Manzoni, Stefano, Basu, Nandita B., Chalov, Sergey R., Cohen, Matthew J., Creed, Irena F., Goldenberg, Romain, Hylin, Anna, Kalantari, Zahra, Koussis, Antonis D., Lyon, Steve W., Mazi, Katerina, Mard, Johanna, Persson, Klas, Pietro, Jan, Prieto, Carmen, Quin, Andrew, Van Meter, Kimberly, och Destouni,

Georgia. *Wetlands as large-scale nature-based solutions: Status and challenges for research, engineering and management*, *Ecological Engineering*, 108 Part B, 489–497. 2017.

Tol, Richard S. J. *Targets for global climate policy: an overview*. *Journal of Economic Dynamics and Control* 37 (5), 911–928. 2013.

UN-Water. *United Nations World Water Development Report 2020: Water and Climate Change*, Paris, UNESCO. <https://www.unwater.org/publications/world-water-development-report-2020/> (använd 08 12 2020).

US Geological Survey. *The fundamentals of the water cycle*. <https://www.usgs.gov/special-topic/water-science-school/science/fundamentals-water-cycle> (använd 28 11 2020).

Van Loon, Anne F. *Hydrological drought explained*, *WIREs Water*, 2, 359–392. <https://doi.org/10.1002/wat2.1085>, 2015.

Water management in steel industry. 2015. <https://www.worldsteel.org/publications/position-papers/water-management.html>.

Vattenmyndigheterna. *Vattenkraftens påverkan på akvatiska ekosystem*. Göteborg: Havs- och vattenmyndigheten, 2013.

Ordlista

Definitionerna är hämtade ur vattenförvaltningsförordningen och SGUs föreskrifter.

ORD	FÖRKLARING
Delavrinningsområde	Avrinningsområde inom ett huvudavrinningsområde från vilket all ytvattenavrinning strömmar till en viss punkt i ett vattendrag. SFS 2004:660
Grundvatten	Allt vatten som finns under markytan i den mättade zonen. SFS 2004:660
Huvudavrinningsområde	Avrinningsområde med en areal som är minst 200 kvadratkilometer uppströms mynningen i havet. SFS 2004:660
Kemisk sammansättning	Vattnets innehåll av kemiska ämnen i förhållande till bakgrundsvärden, med särskilt beaktande av föroreningar orsakade av mänskliga verksamheter. SGU-FS 2013:1
Kustområde	Landområde vid kusten som inte kan hänföras till ett visst huvudavrinningsområde. SFS 2004:660
Kustvatten	Vatten som finns från kusten till den linje som på varje punkt befinner sig en nautisk mil bortom den baslinje som avses i lagen (1966:374) om Sveriges sjöterritorium undantaget vatten i övergångszon och grundvatten. SFS 2004:660
Vattenuttag	Bortledning av vatten från en vattenförekomst. SGU-FS 2013:1
Ytvatten	Inlandsvatten utom grundvatten, samt vatten i övergångszon och kustvatten (när det gäller kemisk status även territorialvatten). SFS 2004:660.
Ytvattenförekomst	En avgränsad och betydande förekomst av ytvatten såsom till exempel en sjö, en å, älv eller kanal, ett vatten i övergångszon eller ett kustvattenområde. SFS 2004:660.

Kungl. Ingenjörsvetenskapsakademien är en fristående akademi med uppgift att främja tekniska och ekonomiska vetenskaper samt näringslivets utveckling. I samarbete med näringsliv och högskola initierar och föreslår IVA åtgärder som stärker Sveriges industriella kompetens och konkurrenskraft. För mer information om IVA och IVAs projekt, se IVAs webbplats: www.iva.se.

Utgivare: Kungl. Ingenjörsvetenskapsakademien (IVA), 2021
Box 5073, SE-102 42 Stockholm
Tfn: 08-791 29 00

Inom ramen för IVAs verksamhet publiceras rapporter av olika slag. Alla rapporter sakgranskas av sakkunniga och godkänns därefter för publicering av IVAs vd.

IVA-M 526
ISSN: 1100-5645
ISBN: 978-91-89181-14-4

Projektledning: Karin Byman, IVA
Text: Karin Byman, IVA
Kommunikatör: Jan Westberg, IVA
Illustrationer: Moa Sundkvist & Jennifer Bergkvist
Layout: Pelle Isaksson, IVA

Denna rapport finns att ladda ned via www.iva.se



Kungl. Ingenjörsvetenskaps
Akademien