

# Bilageförteckning B

## **Vägverkets rapport till Klimat- och sårbarhets- utredningen – gruppen transporter**

Vägverket ..... **Bilaga B 1**

## **Klimat- och sårbarhetsutredningen – Påverkan på järnvägssystemet**

Banverket ..... **Bilaga B 2**

## **Underlag för Klimat- och sårbarhetsutredningen (M 2005:03) om sjöfartssektorn**

Sjöfartsverket ..... **Bilaga B 3**

## **Redovisning av sårbarhetsanalys inom flygsektorn**

Luftfartsverket och Luftfartsstyrelsen ..... **Bilaga B 4**

## **Elektronisk kommunikation – Tele- och datakommunikationssystem**

### **Möjlig påverkan av förändrade klimat- och väderbetingelser i ett längre perspektiv**

Post- och telestyrelsen ..... **Bilaga B 5**

## **Rapport för Klimat- och sårbarhetsutredningen från Teracom AB – Radio- och TV-distribution**

Teracom AB ..... **Bilaga B 6**

## **Konsekvenser för Svenska Kraftnäts anläggningar p.g.a. klimatförändringar**

Svenska Kraftnät ..... **Bilaga B 7**

<b>Klimat- och sårbarhetsutredningen, elförsörjning i Sverige</b> Svensk Energi.....	<b>Bilaga B 8</b>
<b>Klimatet och dammsäkerheten i Sverige</b> Arbetsgruppen om dammsäkerhet .....	<b>Bilaga B 9</b>
<b>Höga flöden i Umeälven i ett framtida förändrat klimat – rapport till Elforsk och Klimat- och sårbarhetsutredningen</b> SMHI.....	<b>Bilaga B 10</b>
<b>Analys av värme- och kylbehov för bygg- och fastighetssektorn i Sverige</b> IVL Svenska Miljöinstitutet .....	<b>Bilaga B 11</b>
<b>Fjärrvärme</b> Svensk Fjärrvärme AB.....	<b>Bilaga B 12</b>
<b>Dricksvattenförsörjning i förändrat klimat – Sårbarheter för klimatförändringar och extremväder, samt behov av anpassning och anpassningskostnader</b> Arbetsgruppen för dricksvatten .....	<b>Bilaga B 13</b>
<b>Översiktlig sårbarhetsanalys för översvämning, skred, ras och erosion i bebyggd miljö i ett framtida klimat</b> Arbetsgruppen för översvämning, ras, skred och kusterosion .....	<b>Bilaga B 14</b>
<b>Inventering av kommunernas hantering av översvämning, ras och skred Inom den kommunala planeringsprocessen</b> Inregia AB .....	<b>Bilaga B 15</b>

<b>Klimatförändringarnas inverkan på allmänna avlopps-system – Problembeskrivning, kostnader och åtgärdsförslag</b> Arbetsgruppen för va-system .....	<b>Bilaga B 16</b>
<b>Byggnader i förändrat klimat</b> <b>Bebyggelsens sårbarhet för klimatförändringar och extrema väder exkluderat översämningar, ras och skred samt dagvatten</b> Boverket .....	<b>Bilaga B 17</b>
<b>Svenskt skogsbruk möter klimatförändringar</b> Skogsstyrelsen.....	<b>Bilaga B 18</b>
<b>Effekter av ett förändrat klimat på skogen och implikationer för skogsbruket</b> Institutionen för Sydsvensk skogsvetenskap, Sveriges lantbruksuniversitet, Alnarp, Arbetsrapport 34 .....	<b>Bilaga B 19</b>
<b>Klimatförändringarnas inverkan på drivning och logistik i skogsbruket</b> Skogforsk .....	<b>Bilaga B 20</b>
<b>Vegetationsbrand 2020, 2050 och 2080</b> Räddningsverket med stöd av SMHI och SLU .....	<b>Bilaga B 21</b>
<b>Omvärldsanalyser och skogsnäringens utveckling. Skogsnäringens utveckling – strukturuomvandling, rationalisering, internationell konkurrens, efterfrågan på olika skogsprodukter inklusive bio-bränslen (2020 med utblick mot 2050 och 2080)</b> Skogsindustrierna .....	<b>Bilaga B 22</b>
<b>Modellering av vegetationsförskjutningar i Sverige under framtida klimatscenarier</b> Lunds universitet, Centrum för geobiosfärvetenskap, Institutionen för naturgeografi och ekosystemanalys.....	<b>Bilaga B 23</b>

<b>Bedömningar av klimatförändringars effekter på växtproduktion inom jordbruket i Sverige</b> Sveriges Lantbruksuniversitet .....	<b>Bilaga B 24</b>
<b>Klimatförändringarnas påverkan på markavvattning och bevattning</b> Jordbruksverket.....	<b>Bilaga B 25</b>
<b>Klimat effekter på svenskt fiske</b> Fiskeriverket.....	<b>Bilaga B 26</b>
<b>Rennäringen</b> Klimat- och sårbarhetsutredningen .....	<b>Bilaga B 27</b>
<b>Naturbaserad turism och klimatförändring</b> ETOUR .....	<b>Bilaga B 28</b>
<b>Öland – Turism, algblomning och klimatförändring</b> <b>En fallstudie av 3 klimatscenarioers ekonomiska effekter på turismen till Öland på 2020-talet</b> Resurs AB.....	<b>Bilaga B 29</b>
<b>Biologisk mångfald och klimatförändringar</b> <b>Vad vet vi? Vad behöver vi veta? Vad kan vi göra?</b> Centrum för Biologisk Mångfald .....	<b>Bilaga B 30</b>
<b>Klimatförändringar och resiliens</b> <b>– Underlagsrapport till Klimat- och sårbarhetsutredningen</b> Environmental Change Institute, Oxford University Centre for the Environment Beijerinstitutet för ekologisk ekonomi, Kungliga Vetenskapsakademien centrum för tvärvetenskaplig miljöforskning (CTHM), Stockholms universitet Institutionen för Systemekologi, Stockholms universitet Stockholm Resilience Centre, Stockholms universitet .....	<b>Bilaga B 31</b>

**Klimatförändringars påverkan på ytvattenkvaliteten**Sveriges Lantbruksuniversitet..... **Bilaga B 32****Klimat effekter på Östersjön – resultat från ett seminarium**Naturvårdsverket och Klimat- och sårbarhetsutredningen ..... **Bilaga B 33****Hälsoeffekter av en klimatförändring i Sverige  
En nationell utvärdering av hälsokonsekvenser hos människa och djur. Risker, anpassningsbehov och kostnader**Arbetsgruppen för hälsa..... **Bilaga B 34****Anpassningsåtgärder i andra länder**Klimat- och sårbarhetsutredningen..... **Bilaga B 35**

Rapport för Klimat- och  
sårbarhetsutredningen från  
Teracom AB

– Radio- och TV-distribution

Teracom AB, Jan-Eric Berg

Underlagsrapport utarbetad för Klimat- och sårbarhetsutredningen,  
april 2007



# Innehåll

<b>Innehåll .....</b>	<b>3</b>
<b>Bakgrund .....</b>	<b>5</b>
<b>Systembeskrivning .....</b>	<b>5</b>





## Bakgrund

Teracom AB är ett statligt bolag bildad 1992 från Televerket med ca 650 anställda vars verksamhet är att förmedla marksänd radio och tv i Sverige. Bolaget har ett rikstäckande tv- och radionät som i slutet av 2007 kommer att täcka 99.8 % av alla svenska hushåll.

Att notera är att Teracom dels har ansvaret för att ”viktigt meddelande till allmänheten” (VMA) som Sveriges radio skickar, förmedlas ut, dels ansvarar för att kärnkraftslarm för aktuella områden kan startas vid behov.

## Avgränsningar

Den snabba globala utvecklingen inom utsändning av radio och tv medger endast grova estimeringar av den framtida hotbilden då en framtida infrastruktur är svår att förutsäga.

## Systembeskrivning

### Teracoms master

Utsändningen för radio och tv initieras från Kaknästornet i Stockholm och sprids via ett nationellt länknät (även de master) till 54 storstationer med ca 320 meters master, mellanstationer med ca 100 meters master, ned till slavstationer med varierande höjd på masterna. Totalt äger Teracom ca 1000 master.

### Teracoms stationer

Stationerna med master ligger alla på höjder för att uppnå maximal teckning. Alla master har en station med sändare kopplad via koaxialkabel till antenner på masten.

### Teracoms sändningsutrustningar

Teracom är beroende av kraftförsörjningen för sina utsändningar. Större stationer har reservkraft. För mindre anläggningar finns som regel ingen reservkraft.

### Länkförbindelser

Program distribueras från Kaknäs via länkförbindelser till Teracoms olika stationer där de utsänds.

### Geografisk beskrivning

Teracoms stationer och master finns över hela Sverige.



Teracoms nationella länknät och storstationer

### Livslängd

En medellivstid beräknas till ca 60 år för stor- och mellanstationerna

## Systemets redundans

Teracom har en reservplats samt reservvägar för delar av Kaknäs-tornets funktioner. Vid ett bortfall från en storstation kan lokala master i viss mån riktas om samt förstärkas med mobila master. Hela täckningsområdet kan normalt dock inte bibehållas. För mellan-stationer är möjligheten till täckning större. Teracom's transportnät (länknät) är byggt med tanke på redundans.

Teracom's stationer har reservsändare att koppla in vid bortfall. Större stationer kan vid kraftbortfall kompenseras med reservkraft. För mindre anläggningar finns som regel ingen reservkraft.

## Känsliga klimatfaktorer

- Surt regn och/eller saltpåverkan
- Kraftiga stormar
- Kraftig nedisning
- Vindar med högfrekventa svängningar
- Åska
- O gynnsamma väderbetingelser såsom skickningar i atmosfären

## Systemförändringar/utveckling

Teracom tittar på alternativa lösningar för programdistribution från Kaknäs till Teracom's stationer.

### *Ansvarsförhållanden och regelverk idag*

Teracom ansvarar för den marksända utsändningen av public service bolagen. Det är Post och Telestyrelsen som reglerar de frekvenser som Teracom kan utnyttja.

*Konsekvenser av klimatförändringar och extrema väderhändelser (ex på kons.)*

- Surt regn och/eller saltpåverkan påverkar Teracoms master med avseende på korrosion och ökar därmed risken för haveri.
- Kraftiga stormar med kringflygande objekt som t.ex träd, tunga föremål m.m. kan slå av mastens staglinor med risk för haveri.
- Kraftig nedisning i kombination med kraftig vind kan i innebära så hög last att risk för haveri uppstår.
- Vindar med högfrekventa svängningar minskar livslängden på staglinor på mycket kort tid och ökar därmed risken för haveri.
- Åska kan slå ut stationer samt hindra reparationer
- El-distribution som påverkas av väderfaktorer stoppar Teracoms mindre stationer som saknar el-redundans.
- Vid ett längre el-stopp kommer drivmedelbrist att uppstå.
- Teracom är beroende av farbara vägar för transporter till sina stationer för reparation och vid el-stopp för tankning av drivmedel till reservkraftsverken. Många stationer ligger lokaliserade så att de endast nås av mindre vägar.
- Vid ogynnsamma väderbetingelser såsom skickningar i atmosfären kan så kallad fading uppträda vilket hindrar utsändningar.

*Geografisk utsatta områden*

Den geografiska aspekten har stor betydelse på grund av att nedisning i hög terräng och saltpåverkan från havsvindar påverkar Teracoms master med avseende på korrosion och därmed risk för haveri. De områden som generellt är särskilt utsatta är västkusten för salt och surt regn medan masterna på höga kusten och fjällen drabbas av kraftig nedisning

Detta innebär en förhöjd risk inom nämnda områden om vi får en förhöjd istillväxt samt ökad vind med förhöjt saltinnehåll.

## Analys av klimatkartor och funna konsekvenser

En analys av de klimatkartor som gjorts tillgängliga ger vid hand att de kan peka på en liten förhöjning av byvid och nedisning. Vindunderlaget är enligt SMHI svårbedömt, olika modeller ger olika resultat men i stort pekar de på en liten höjning. Några konsekvenser baserat på inkomna index av byvid och nedisning som skiljer sig från de normala variationerna i väder finner Teracom inte. Denna bedömning kan förändras framöver om mer noggrann data kan läggas fram.

De index Teracom behöver: åska, högfrekventa vindar, surt regn och salt, saknas för att kunna göra en kvantitativ bedömning av konsekvenserna av klimatförändringar och extrema väderhändelser.

Skapas dessa index och de skulle bedömas som tillförlitliga kan Teracom göra en strategisk åtgärdsplan för att möta eventuella framtida klimatologiska hot.

Nederbörd i större mängder kan försvaga vägar och försvåra tillträdet till Teracoms anläggningar.

## *Beroenden mellan olika system/sektorer som kan påverkas*

Teracom är helt beroende av kraft och drivmedel för reservkraftsanläggningarna. Vi är även beroende av vägunderhåll för att nå de i många fall avlägset placerade stationerna.

## *Kostnader för skador och skadeavhjälpande åtgärder*

Varierar stort ifrån låga kostnader till 10-tals miljoner vid t.ex. ett masthaveri.

## *Anpassningsåtgärder samt kostnader för dessa*

Kostnaderna för åtgärder för utökning av redundansen, mobila reservutrustningar, alternativ distributionsteknik mellan Kaknäs och våra master samt utbyte av svaga länkar i systemen kan ligga i klassen 10–100 miljoner.

## Forskningsbehov

Det är viktigt att klimatforskningen fortskrider så att byggnormer och andra underlag för dimensionering av t.ex. master i fortsättningen kan dimensioneras med hänsyn till förväntad förändring av klimatet. Teracom avser då påverkan av vind och is samt ökad koncentration av salt och sur miljö för Teracoms master. Dessa klimatparametrar är svåra att få fram vilket bidrar till osäkerheten i prognoserna.

## Erfarenheter från Stormen Gudrun

Stormen Gudruns 2005 påverkade Teracom genom att:

- de slavstationer som saknade reservkraft stoppade
- på grund av blockerade vägar tog transporter av mobil reservkraft samt drivmedel till dessa lång tid
- vissa lokala radio/tv länkar tappade riktning på grund av stormen
- kommunikationen och koordinering blev svår utan fast eller mobil telefon
- En del reservkraftverk var inte dimensionerade för en längre kontinuerlig drift utan behövde service för att inte dessa skulle stanna.

Utsändningen i vissa små lokala områden tystnade på den för området tilldelade frekvensen. Andra frekvenser från närliggande stationer täckte dock under Gudrunstormen. Transporten av drivmedel till reservkraftsanläggningarna försvårades och i vissa fall fanns det ingen möjlighet till framkomlighet.

Radion var i de drabbade områden den enda informationskanal som fungerade då det fanns batteri- och bilradioapparater som fungerade trots bristen på el och framkomlighet.

*Slutsatser*

Vid kraftiga klimatpåverkan kan konsekvenserna bli att:

- verksamheten att förmedla marksänd radio och tv i Sverige kan inte fullföljas regionalt eller nationellt.
- inget ”viktigt meddelande till allmänheten” (VMA) från Sveriges radio kan förmedlas ut.
- eventuella kärnkraftslarm för aktuella områden kan inte startas vid behov.

En analys av de klimatkartor som gjorts tillgängliga ger vid hand att de kan peka på en liten förhöjning av byvid och nedisning. Vindunderlaget är enligt SMHI svårbedömt, olika modeller ger olika resultat men i stort pekar de på en liten höjning. Några konsekvenser baserat på inkomna index av byvid och nedisning som skiljer sig från de normala variationerna i väder finner Teracom inte. Denna bedömning kan förändras framöver om mer noggrann data kan läggas fram.

De index Teracom behöver: åska, högfrekventa vindar, surt regn och salt saknas för att kunna göra en kvantitativ bedömning av konsekvenserna av klimatförändringar och extrema väderhändelser.

Skapas dessa index och de skulle bedömas som tillförlitliga kan Teracom göra en strategisk åtgärdsplan för att möta eventuella framtida klimatologiska hot.

Nederbörd i större mängder kan försvaga vägar och försvåra tillträdet till Teracoms anläggningar.

Teracom anser inte att de framräknade index för framtida miljöpåverkan väsentligt kommer att påverka Teracoms verksamhet.

Det är viktigt att klimatforskningen fortskrider så att byggnormer och andra underlag för dimensionering av t.ex. master i fortsättningen kan dimensioneras med hänsyn till förväntad förändring av klimatet. Teracom avser då påverkan av vind och is samt ökad koncentration av salt och sur miljö för Teracoms master.

Teracom är helt beroende av kraft och drivmedel för reservkraftsanläggningarna. Vi är även beroende av vägunderhåll för att nå de i många fall avlägset placerade stationerna.



En nationell prioritering av el och drivmedel under svåra förhållanden är önskvärd för att Teracom skall kunna förmedla marksänd radio och tv samt VMA och eventuella kärnkraftslarm inom Sverige.



Åreskutan

# Konsekvenser för Svenska Kraftnätets anläggningar p.g.a. klimatförändringar

Svenska Kraftnät, Lillemor Carlshem

Underlagsrapport utarbetad för Klimat- och sårbarhetsutredningen,  
2007-05-07



# Innehåll

<b>1</b>	<b>Bakgrund .....</b>	<b>5</b>
1.1	Inledning.....	5
<b>2</b>	<b>Systembeskrivning .....</b>	<b>5</b>
2.1	Stamnätets uppbyggnad.....	5
2.2	Stationer och kraftledningar.....	7
2.3	Känsliga klimatfaktorer .....	8
2.4	Vidtagna åtgärder med relevans för klimatet, pågående forskning och beredskap .....	9
2.4.1	Tidigare åtgärder.....	9
2.4.2	Forskning och utveckling.....	10
2.4.3	Reparationsberedskap.....	10
2.4.4	Systemförändringar / utveckling .....	11
<b>3</b>	<b>Konsekvenser av klimatförändringar och extrema väderhändelser.....</b>	<b>11</b>
3.1	Klimatmodeller.....	11
3.2	Påverkan av klimatförändring .....	11
3.3	Kostnader för anpassningsåtgärder.....	13
3.4	Beroenden mellan olika system/sektorer som kan påverka.....	14
<b>4</b>	<b>Fortsatt forskning .....</b>	<b>14</b>



# 1 Bakgrund

Svenska Kraftnät är ett statligt affärsverk som bl.a. har till uppgift att upprätthålla elförsörjningen för svenska samhället. I uppgifterna ingår att vara systemansvarig för hela elsystemet i Sverige samt att svara för det svenska stamnätet omfattande investeringar, drift samt underhåll. Svenska Kraftnät har dessutom till uppgift att vara Elberedskapsmyndighet.

## 1.1 Inledning

Syftet med denna analys är att redovisa eventuella störningseffekter på stamnätet vid de framtida tänkbara klimatscenarier som SMHI har tagit fram. Redovisningen är ett underlag till Klimat-och sårbarhetsutredningens slutrapport hösten 2007.

# 2 Systembeskrivning

## 2.1 Stamnätets uppbyggnad

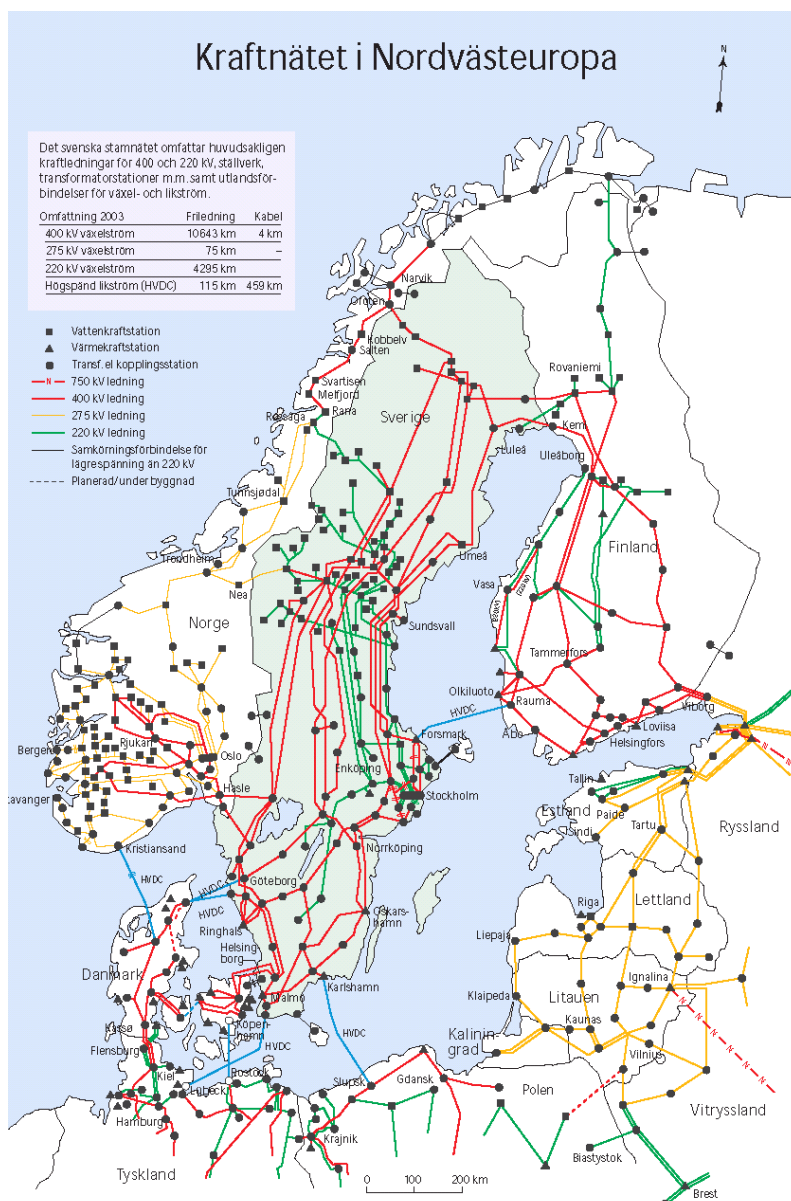
Svenska stamnätet består idag utav 10600 km 400 kV-ledningar och 4400 km 220 kV-ledningar. Det totala antalet stationer i stamnätet är 135 stycken.

Stamnätet sträcker sig idag över hela landet från norr till söder mellan de olika produktions- och överföringsanläggningarna. Stamnätet är också anslutet via förbindelseledningar med våra nordiska grannländer samt Polen och Tyskland.

Överföringen av energi sker främst idag genom luftledningar, vissa av utlandsförbindelserna är byggda som sjökablar.

Spänningsnivåerna från 130 kV (regionnät) och lägre ned till distributionsledningsnivå ägs av Vattenfall, EON, Fortum, Graninge, Jämtkraft och flera andra mindre nätbolag.

Figur 1 Kraftnätet i Nordvästeuropa



## 2.2 Stationer och kraftledningar

Följande normer har tillämpats för elektriska friledningar under stamnätets utbyggnad:

1933–1945	SEN 12 – 1933
1945–1961	SEN 12 – 1945
1961–1973	SEN 3601 – 1961
1973–1993	SEN 3601 – 1973
1993–2003	SS 43601 – 1993
2004–	SS-EN 50341

Förutom ovanstående gäller Svenska Kraftnäts tekniska riktlinjer SvK TR 5:1, för 220 kV och 400 kV-ledningar. I SS-EN 50341 och SvK TR 5:1 ingår svenska, europeiska och internationella normer/standarder.

Stamnätet har dimensionerats för lastfallet ”Samtidig vind- och islast” fram till 1993 då också belastningsfallet ”Vind utan islast” infördes med ett högre vindtryck/vindhastighet. I dimensioneringskraven ingår också klimatologiska bedömningar. T.ex. beräknas kraftledningar i svenska fjällkedjan samt på västkusten, med högre vindtryck/vindhastighet än normalt samt i vissa fall också större islast. Vid nybyggnad av Svenska Kraftnäts kraftledningar idag, utförs en vindhastighetsanalys för den aktuella ledningssträckningen m.a.p. maximala byvindshastighet.

Stamnätet utförs som träsäkra ledningar vilket innebär att ledningsgatan röjs, så att inget träd skall kunna falla ner på kraftledningen och förorsaka skada.

Den första 400 kV-ledningen uppfördes 1950–51. Ledningar och stationer för denna spänning har byggts från 1950-talet och framåt. Den senaste nybyggda ledningen stod klar 2004 och är en totalreovering av en gammal 220 kV-ledning.

En kraftledning och dess ingående komponenters livslängd, är beroende av underhållsinsatser, miljö, material etc. Livslängden för stamnätsledningar bedöms därför variera mellan 80 till över 100 år.

Svenska stamnätets stationer är dimensionerade enligt svensk standard SS 421 01 01 (Starkströmsanläggningar med högre nominell spänning än 1kV AC) samt Svenska Kraftnäts tekniska riktlinjer för 400- och 220 kV-stationer. Dimensioneringen omfattar både is- och vindlaster för de i stationer ingående detaljerna. Stationers olika anläggningsdetaljer har en varierande livslängd mellan 15–50 år. Idag förnyar man 2 stationer per år.



Löpande inspektioner och underhåll utförs på både ledningar och stationer för att säkerställa driften. Speciella statusundersökningar utförs på gamla ledningar och stationer för att klargöra på längre sikt, om större åtgärder och investeringar är nödvändiga.

### 2.3 Känsliga klimatfaktorer

Känsliga klimatfaktorer för stamnätet som kan leda till driftavbrott kan indelas på följande sätt:

Speciellt för ledningar:

- Isbarksstorm.
- Extrema islaster med moderata vindförhållanden
- Extremt höga vindar utan is
- Salthaltig isbeläggning på västkusten

Speciellt för stationer

- Isbarkstorm på västkusten.
- Extremt höga vindar utan is

När det gäller extrema väderhändelser i dagens ledningsnät har följande stolphaverier inträffat mellan 1969–2006.

Väderhändelse	Årtal	Landskap	Rasade stolpar	Skadade stolpar	m.ö.h.
Extremt hög vind (4 fall)	1972	Norrbottnen	1		
	1983	Skånes ostkust	2	1	
	1991	Jämtland	2		
	1995	Västmanland	2		
Extrem islast (4fall)	1988	Norrbottnen	1		375
	1990	Norrbottnen	8		450
	1996	Dalarna	1		750
	1996	Dalarna	6		610
Extrem is och vind (2 fall)	1969	Dalarna	1	2	540
	1988	Dalarna	2	1	690

Stolphaverier orsakad av extrem islasttillväxt har förekommit som lokala fenomen utmed vissa ledningssträckor. Haverierna har främst skett i höglänt terräng 350–750 m.ö.h. Anledningen till rasen har varit en kombination av extrem islasttillväxt större än vad konstruktionen tillåter samt att man vid stolpplaceringen utnyttjat maximala belastningsspännlängder och därmed har det inte funnits någon kapacitet kvar för extrema väderhändelser. På de platser där extrema islaster har förekommit, har ombyggnad skett av ledningssträckorna för att öka lastkapaciteten.

I stationer och på ledningar på Västkusten, kan det förekomma salthaltiga beläggningar eller isbeläggning på isolatorer, som kan orsaka elektriska överslag och störningar. Inne i stationerna kan det också förekomma isbeläggning på rörliga delar på apparater. Ovanstående väderfenomen har förekommit endast ett fåtal gånger.

Inget av de förkommande haverierna har orsakat avbrott i elförsörjningen, detta p.g.a. god redundans i nätet.

## **2.4 Vidtagna åtgärder med relevans för klimatet, pågående forskning och beredskap**

### **2.4.1 Tidigare åtgärder**

Vid störningar/haveri utreds alltid orsaken till det inträffade samt om eventuella större åtgärder kan anses vara nödvändiga för att säkerhetsställa driften av kraftnätet.

Tidigare haverier/störningar på stamnätet har varit,

- Haveri vid extrem lokal islast:  
Åtgärd: Identifiering av områden med extrem islast samt förstärkning/ombyggnad av sådana ledningssträckor
- Haveri vid extrem vindlast utan is:  
Åtgärd: Speciellt dimensioneringsfall med hög vindlast infört 1993.
- Elektrisk överslag i stationer p.g.a. salthaltig beläggning:  
Åtgärd: Preparering av isolatorer med silikonolja  
Införande av spolningsanordningar.  
Införande av kompositisolatorer i kuststationer.

### 2.4.2 Forskning och utveckling

Inom Svenska Kraftnät pågår en omfattande forsknings- och utvecklingsverksamhet i samarbete med bl.a. Vattenfall, Statnett och Fingrid. När det gäller pågående verksamhet som har anknytning till väderrelaterade fenomen kan följande projekt nämnas:

- Provning av automatiska islastvarningssystem för kraftledning
- Utveckling av nya korrosionsskydd
- Silikonbeläggning av isolatorklockor
- Studier av kompositisolatorer vid is- och snölast

Dessutom pågår också kartläggning av korrosionsriskområden m.a.p. stamnätets ledningar och stationer.

### 2.4.3 Reparationsberedskap

Utöver reservdelar för vanliga stamnätsstolpar har Svenska Kraftnät anskaffat ett antal beredskapsstolpar av modultyp som kan användas vid haverier på elnätet. Med dessa stolpar kan man snabbt bygga upp ledningar förbi haveriplatsen. Dessa stolpar kan användas från 400 kV och nedåt till distributionsledningsnivå.

Genom sammanslutningen Elsamverkan samarbetar alla nätbolag i Sverige vid störningar. Svenska Kraftnät medverkar också med egen personal för samordning av resurser.

Svenska Kraftnät har avtal med Försvarsmakten för behov inom elförsörjningen av bistånd med bl.a. transportmedel vid störningar som t.ex. vid stormen Gudrun 2005, samt stormen Per januari 2007. Försvaret kan då hjälpa till att transportera både personal och materiel.

Det planeras en utökning av användarkretsen och täckningsområdet för mobilradiosystemet Rakel, där elförsörjningens företag är avsedda att ingå. Vidare förvaltar Svenska Kraftnät ett antal mobila lednings- och sambandsenheter (MOLOS).

#### 2.4.4 Systemförändringar / utveckling

För ett framtida perspektiv på 25–30 år bedöms det inte ske några större förändringar av stamnätets konstruktionsutförande. Viss utbyggnad kommer att utföras under åren och majoriteten av ledningsnätet kommer fortfarande att vara luftledning. Endast en liten del kommer att vara förlagd som markkabel och då möjligtvis främst som ledningsnät i storstäder.

## 3 Konsekvenser av klimatförändringar och extrema väderhändelser

### 3.1 Klimatmodeller

Vid bedömning av klimatförändringarnas påverkan på stamnätet har SMHI Rossby Centers klimatkartor använts. Kartorna bygger på beräkningar med Rossby Centrets regionala klimatmodell RCA3 och den kopplade RCAO-modellen.

### 3.2 Påverkan av klimatförändring

#### *Vindar*

De förändringar i vindhastigheter som förväntas ske fram till år 2100 bedöms ha en ringa påverkan på stamnätet med utgångspunkt från de dimensioneringskrav vi har idag.

#### *Isbildning*

Enligt SMHI klimatkartor kommer antalet dagar med isbildning att minska i framtiden p.g.a. högre temperaturer. Idag har Götaland 9–12 dagar med isbildning och norrland 15–18 dagar.

### *Åska*

Det är mycket svårt att förutse hur åskbilden kommer att förändras. Inga modeller finns att tillgå för att kunna analysera faktorer som intensitet eller frekvens. Trots det kan ett generellt resonemang som bygger på andra klimatfaktorer försöka förutse vilken riktning åskmönstret förväntas gå mot. Som nu kommer åskintensiteten förmodligen att vara störst under sommarmånaderna. Möjligtvis kan två fenomen uppstå med ett förändrat klimat.

- Antalet nedslag per ytenhet ökar. Uppgifter om hur stor ökningen förväntas bli finns inte.
- Fler kraftiga blixtrar kan förekomma.

Stamnätet i Sverige är dimensionerat för att klara felströmmarna vid åskfel. En ev. ökning av åskfrekvens- och intensitet kommer att gå sakta. Därför finns det möjlighet i underhålls och förnyelsearbetet att öka anläggningsskyddet. Detta kan göras kontinuerligt så att antalet störningar på elnätet inte behöver öka i omfattning.

### *Översvämning*

Vid väderrelaterade översvämningar kommer vattnet att stiga långsamt och vindförhållandena brukar vara lugna. Därmed tillförs inga större dynamiska krafter till stolpkonstruktionerna. Förloppet kommer därför inte ha någon större påverkan på stolparna som blir utsatta för översvämningarna. Först vid längre perioder med vattenmättad mark kan t.ex. sättningsskador uppkomma, och i längden som konsekvens av detta stolprasar. Vid eventuellt väderomslag till stormvindar skulle stolphaverier också kunna inträffa. En översiktsstudie angående översvämningsscenario för Hjälmarne, Vänerne eller Mälaren vid en 100-års nivå visar att anläggningar som ägs av Svenska Kraftnät skulle drabbas i liten omfattning. För stolpar som står längre tider i vattensjuk mark ökar risken för korrosionsskador.

### *Jordskred och erosion*

De stationer som Svenska Kraftnät äger ligger oftast placerade högre än havet. Endast 2 kuststationer har identifierats ligga i havets närlivå. När det gäller jordskred har 2 stationer med dålig mark identifierats.

Västra Götaland är det område i Sverige där man betraktar att risken för jordskred är störst. En analys har utförts för de ledningar som går genom området och det visar att endast ett fåtal stolpar står i lös mark.

Fortsatta mer ingående studier får visa om preventiva åtgärder mot erosion/skred bedöms vara nödvändiga.

### *Ökning av vegetationstillväxten*

Ökade temperaturer kommer att medföra en snabbare tillväxt av vegetationen i ledningsgatorna. Røjning av ledningsgatorna kan därför att behöva utföras oftare.

### *Extrema väderfenomen*

De väderfenomen som starkast påverkar stamnätets anläggningar är extremt väder av typen höga vindhastigheter eller kombinationen isbeläggning med vind. De vindhastigheter som rådde under de svåra ovädren Gudrun och Per medförde inga haverier på stamnätet. En ökad frekvens av extrema väderhändelser med vind och/eller is skulle medföra en ökning av antalet driftbesiktningar.

## **3.3 Kostnader för anpassningsåtgärder**

P.g.a. att en del ingående detaljer i stationer har en begränsad livslängd kan anpassningsåtgärder för klimatförändringar utföras när ombyggnation av stationerna är aktuell.

En uppskattning av ökade kostnader för anpassningsåtgärder har utförts m.a.p. följande:

Ökade underhållskostnader p.g.a. ökat antal extremväder samt längre tillväxtperiod uppskattas till 10–20 MSEK /år.

Reparationskostnader vid enskilda haverier :

- brytare i station, cirka 0,5–4 MSEK
- mindre stolpras 2–3 stycken stolpar, 3–5 MSEK

När det gäller översvämningar, erosion och skred är det oftast lokala händelser som är mycket terrängberoende. Det underlag som finns idag är mycket grovt och det krävs därför en djupare analys för att kunna konstatera eventuell påverkan. Detta gäller särskilt de stationer där Svenska Kraftnät har anläggningsdelar men där en annan anläggningsägare har ansvar för gemensamma delar.

### **3.4 Beroenden mellan olika system/sektorer som kan påverka**

Svenska Kraftnät är beroende av att vägnätet är farbart för transport av reparationsmateriel och personal. Vidare är man också beroende av att teleförbindelserna fungerar.

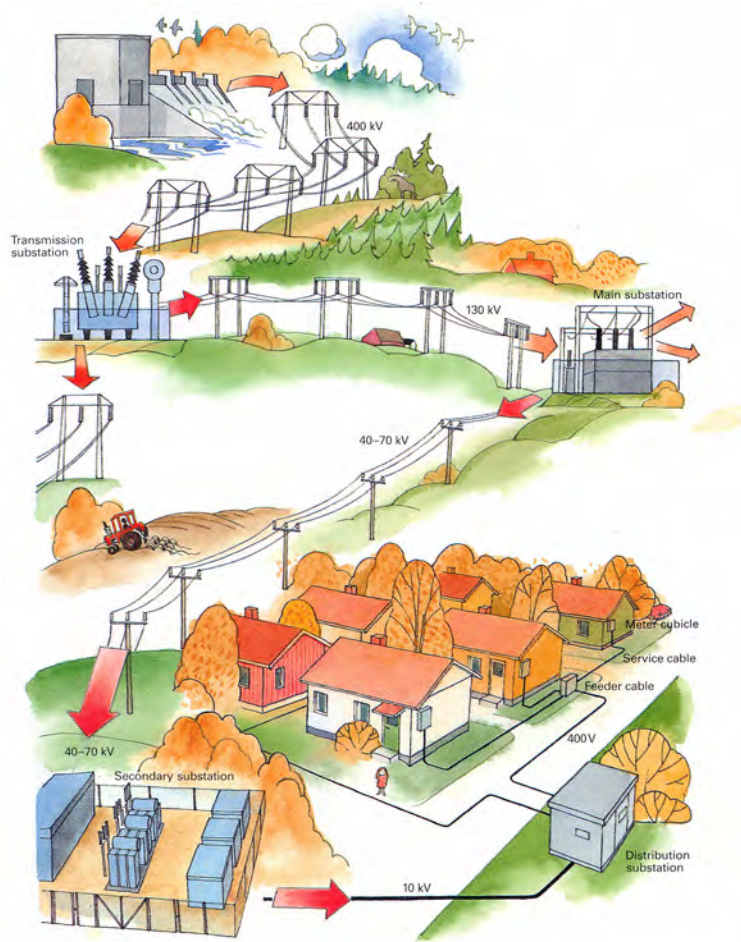
## **4 Fortsatt forskning**

När det gäller mycket extrema väderförhållanden av typen isbarkstorm, har SMHI inte kunnat ta fram några data på detta. Sådana väderfenomen är alltid svåra att bedöma och skydda sig emot och hitintills har de varit ovanliga i Sverige. I rapporten "Climate impact on icing of large wind turbines" hävdar man att nedisningsproblemen kommer att minska med framtida förhöjda vintertemperaturer.

Förslag på fortsatt klimatforskning:

- Extrema väderfenomen is- och vind.
- Kartlägga nedisningsfenomenet närmare med avseende på bl.a. återkomsttid, intensitet och förväntat geografiskt område.
- Analys av framtida maximal byvindshastighet över årets månader.

# 1 Klimat- och sårbarhetsutredningen, elförsörjning i Sverige



Svensk Energi , Gun Åhrling-Rundström, Matz Tapper,  
Folke Sjöblom

Underlagsrapport utarbetad för Klimat- och sårbarhetsutredningen,  
2007-05-24





# Innehåll

<b>2</b>	<b>Energitillförsel .....</b>	<b>5</b>
2.1	Beskrivning av energitillförsel i Sverige.....	5
2.2	Ansvarförhållande och regelverk .....	5
<b>3</b>	<b>Elnät.....</b>	<b>7</b>
3.1	Beskrivning av den svenska elnätstrukturen.....	7
3.2	Meteorologiska omständigheter .....	8
3.2.1	Stormen Gudrun.....	9
3.3	Elnätsföretagens erfarenheter och åtgärder efter Gudrun ....	11
3.4	Utveckling av det framtida elnätet.....	12
<b>4</b>	<b>Utbytesmöjligheter med utlandet .....</b>	<b>13</b>
4.1	Beskrivning utlandsförbindelserna .....	13
<b>5</b>	<b>Elproduktion .....</b>	<b>16</b>
5.1	Beskrivning av svensk elproduktion .....	16
5.1.1	Elproduktionsanläggningar.....	17
<b>6</b>	<b>Vattenkraft .....</b>	<b>18</b>
6.1	Beskrivning av vattenkraft.....	18
6.2	Tillrinning.....	19
6.3	Vattenkraften har många uppgifter.....	23
6.4	Effekter av klimatförändringar.....	23
<b>7</b>	<b>Vattenkraftsdammar .....</b>	<b>26</b>
7.1	Beskrivning av vattenkraftsdammar.....	26

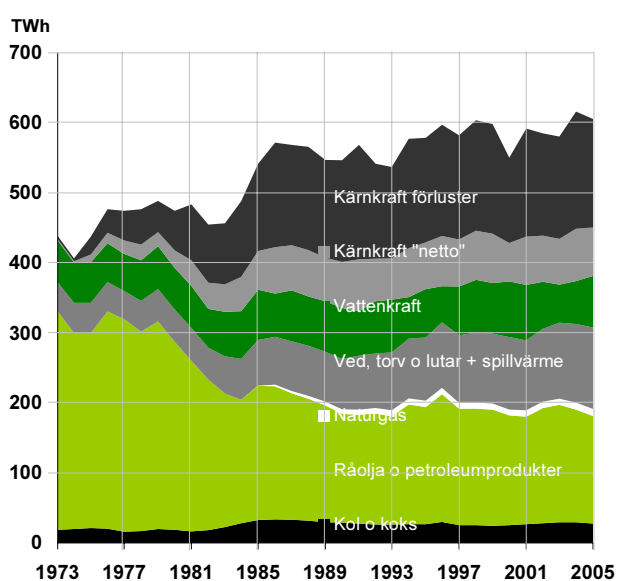
<b>8</b>	<b>Kraftvärme</b> .....	<b>26</b>
8.1	Beskrivning av kraftvärme .....	26
8.2	Effekter av klimatförändringar .....	27
<b>9</b>	<b>Kondenskraft</b> .....	<b>27</b>
9.1	Beskrivning av kondenskraft .....	27
<b>10</b>	<b>Kärnkraft</b> .....	<b>28</b>
10.1	Beskrivning av kärnkraft .....	28
10.2	Effekter av klimatförändringar .....	28
<b>11</b>	<b>Vindkraft</b> .....	<b>28</b>
<b>12</b>	<b>Gasturbiner</b> .....	<b>30</b>
<b>13</b>	<b>Övrigt</b> .....	<b>30</b>
<b>14</b>	<b>Energiförsörjning, elproduktion</b> .....	<b>30</b>
14.1	Beskrivning av svensk elproduktion i ett nordiskt perspektiv.....	30
14.2	Effektsituationer på grund av väder och/eller elnätstörning .....	31
14.3	Utveckling av det framtida elproduktionssystemet .....	32
<b>15</b>	<b>Elanvändning</b> .....	<b>32</b>
<b>16</b>	<b>Referenser</b> .....	<b>34</b>

## 2 Energitillförsel

### 2.1 Beskrivning av energitillförsel i Sverige

Sveriges energibehov täcks dels av importerad energi, främst olja, kol, naturgas och kärnbränsle, dels av inhemsk energi i form av vattenkraft, ved och torv samt restprodukter i skogsindustrin (bark och lutar). Energitillförselns utveckling efter 1973 visas i diagram 4. De största förändringarna mellan 1973 och 2005 är att oljans andel i energitillförseln sjunkit från 71 till drygt 25 procent och att kärnkraften ökat från 1 till knappt 40 procent. Den totala energitillförseln i Sverige år 2005 uppgick till drygt 600 TWh. Genom energiomvandling produceras knappt 150 TWh elkraft årligen.

Diagram 4 Total energitillförsel i Sverige 1973–2005. TWh/år



Källa: SCB.

### 2.2 Ansvarförhållande och regelverk

Elförsörjningen kan delas in i elnätsföretag, som verkar inom naturliga monopol, respektive elproducenter och elhandelsföretag, vilka verkar i en avreglerad marknadssituation. Elföretagen kan ha

många skepnader och kan bestå av en verksamhetsgren eller kombinationer av dem.

Elnätsföretagen är alltid juridiskt skilda ifrån elproduktion och elhandel. Elnätsföretagen lyder under ett omfattande regelverk, bland annat under ellagen och föreskrifter från Statens energimyndighet, Energimarknadsinspektionen respektive Svenska Kraftnät. Tillsyn utövas av Energimarknadsinspektionen. Företagen lyder under koncessionsplikt. Gentemot kunderna är elnätsföretagen skyldiga att ansluta anläggningar samt har leveransskyldighet.

Ett stort antal förändringar har genomförts på senare år i regelverket som styr elnätsföretagens verksamhet. Ett omtalat exempel är införandet av rätt till avbrottsersättning. Denna förändring kom till i ljuset av stormen Gudrun. Funktionskrav för elnätsföretagen har också införts i ellagen. Om stormen Gudrun var ett utslag av klimatförändringar eller inte är svårt att säga men stormen bidrog i all fall till en skärpt lagstiftning.

Elproduktion grundar sig alltid på miljötillstånd enligt Miljöbalken (vattendomar för vattenkraft) och tillståndshavare är ansvariga att följa villkoren i dessa tillstånd. Tillsynen av att miljötillstånden efterlevs ligger hos länsstyrelserna; för vattenkraften i vissa fall också tillsyn av SMHI. För kärnkraften gäller dessutom exempelvis kärnenergilagen, med SKI som tillsynsmyndighet för verksamheten.

Elproducenter och elhandelsföretag lyder bland annat under konkurrens- och värdepapperslagstiftning samt det regelverk som den nordiska elbörsen Nord Pool ställer på sina aktörer.

Elhandlare och elnätsföretag lyder också under konsumentlagstiftning. För dessa verksamheter finns dessutom allmänna avtalsvillkor mellan företagen och kunderna. Konsumentvillkoren är överenskomna mellan Svensk Energi och Konsumentverket och ses som branschpraxis.

Elnäts- och elproduktionsföretagen lyder under beredskapslagen. Här finns en operativ roll hos Svenska Kraftnät att ta över ansvaret och kontrollen för hela elförsörjningen i extraordinära situationer. Statens Energimyndighet har det övergripande beredskapsansvaret för hela energiförsörjningen, dock inte på samma handfasta operativa sätt som Svenska Kraftnät. Båda myndigheterna har föreskriftsrätt att föreskriva om förhållanden som ska säkerställa att elförsörjningen fungerar så långt som möjligt vid ansträngda situationer.

## 3 Elnät

### 3.1 Beskrivning av den svenska elnätsstrukturen

Det svenska elnätet kan delas in i tre nivåer:

- lokala elnät
- regionala elnät
- stamnät

Se även omslagsbilden som visar elens väg från kraftverk till slutanvändaren.

De flesta elanvändare är anslutna till ett lokalt elnät, som i sin tur är anslutet till ett regionalt elnät. De regionala elnäten är anslutna till stamnätet. Det finns 168 lokala elnätsföretag i Sverige.

Storleken på dessa företags elnät varierar mycket. Det minsta företaget har ungefär 3 km ledning, medan det största har mer än 115 000 km.

De lokala elnäten brukar delas upp i lågspänning (400/230V) och högspänning (oftast 10–20 kV). Den totala ledningslängden för lågspänningsnäten i Sverige är nästan 295 000 km. Av detta är 95 000 km luftledning och 200 000 km jordkabel. Det lokala högspänningsnätet, ofta även kallat mellanspänningsnätet består av 114 000 km luftledning och 68 000 km jordkabel. Till lågspänningsnätet är 5,2 miljoner elanvändare anslutna och till högspänningsnäten 6 500.

Regionnätet ägs till stor del av tre företag. Ledningslängden är cirka 36 000 km. Det svenska stamnätet ägs av affärsverket Svenska Kraftnät och består huvudsakligen av 400- och 220 kV-ledningar. Den totala ledningslängden är cirka 15 000 km. På sista sidan finns en karta över det nordiska högspänningsnätet. Tabell 15 visar de största elnätsföretagen.

Totalt omfattar det svenska elnätet 528 000 km, varav 268 000 km är jordkabel. Om det gick att sträcka ut det svenska elnätet i en enda lång ledning skulle den räckta mer än tretton varv runt jorden. Leveranssäkerheten i det svenska nätet ligger på 99,98 procent.

### 3.2 Meteorologiska omständigheter

Ur meteorologiska data kan åtta regioner med likartade väderleksförhållandet urskiljas. Riskpotentialen anges här med hög, medel eller låg i förhållande till Sverige i allmänhet, se tabell 1 samt figur 1.

**Tabell 1 Riskpotentialer i förhållande till meteorologiska omständigheter i Sverige**

Regioner	Fjälltrakterna	Norrlands inland, Dalarna och norra Värmland	Södra Norrlands kustland och norra Uppland	Mälardalen och Götalands inland	Norra Kalmar län	Jönköpingsområdet och Dalsland	Västkusten	Västra Götaland, östra Halland, östra Skåne och Gotland
Väderlekstyp								
åska	låg	medel	medel	medel	låg	<b>hög</b>	medel	<b>hög</b>
snö	<b>hög</b>	<b>hög</b>	<b>hög</b>	medel	<b>hög</b>	<b>hög</b>	låg	medel
storm	<b>hög</b>	låg	låg	medel	medel	medel	<b>hög</b>	<b>hög</b>

Vidare kan följande slutsatser dras av de erfarenheter som finns i nätföretagen

Salt	medel	medel	låg	låg	låg	medel	<b>hög</b>	medel
------	-------	-------	-----	-----	-----	-------	------------	-------

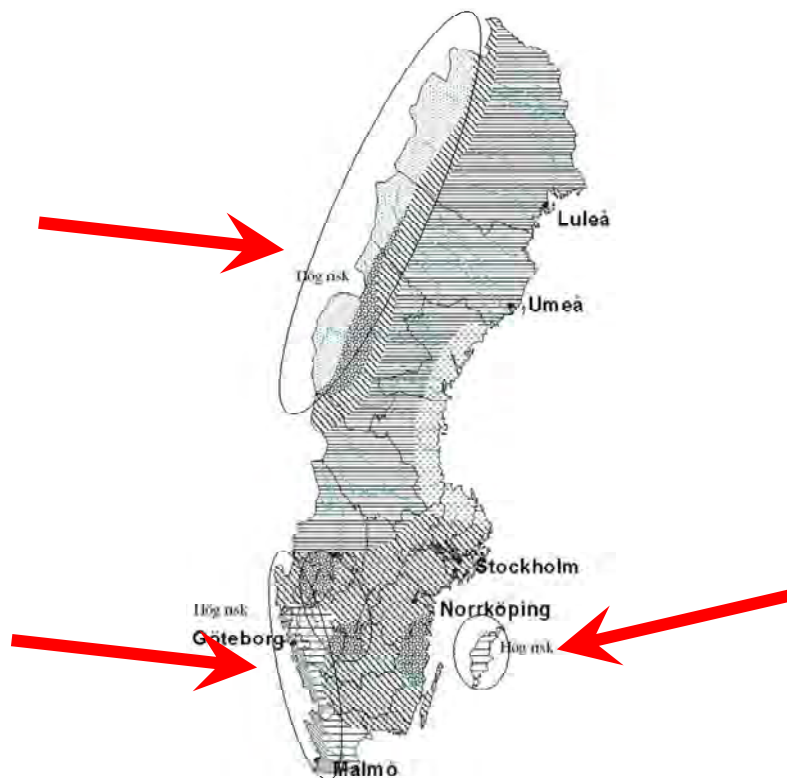
Ett försök att bedöma den totala risken för väderstörningar i ett område torde se ut som följer

Total risk	<b>hög</b>	medel	medel	medel	medel	<b>hög</b>	<b>hög</b>	<b>hög</b>
------------	------------	-------	-------	-------	-------	------------	------------	------------

*Källa* :SMHI (Referens: Riktvärden för elnätsföretagens leveranssäkerhet, Svensk Energi).

I figur 1 visas de mest utsatta områdena i Sverige, där elnätsdriften har de besvärligaste meteorologiska förhållandena. I den samlade riskbilden som finns ingår storm, snö, salt och även åskutsatta områden.

**Figur 1 Riskpotentialer i förhållande till meteorologiska omständigheter i Sverige**



Källa: SMHI (Referens: Riktvärden för elnätsföretagens leveranssäkerhet, Svensk Energi).

### 3.2.1 Stormen Gudrun

Om den svenska elnätsverksamheten året 2005 ska sammanfattas med ett ord blir det "Gudrun", ovädret som fick ovanligt stora konsekvenser för hela samhället. Skogsstyrelsen bedömer att 75 miljoner kubikmeter skog fälldes eller bröts av. Skogen lade sig över vägar, järnvägar, elledningar, telefonledningar, bebyggelse m.m. Flera personer dog i stormen. Infrastrukturen skadades både av nedfallande träd och direkt i orkanvindarna. Elnäten slogs ut. Telekommunikationer bröts. Människor isolerades. Gudrun var enligt många bedömare den värsta naturkatastrof som Sverige har drabbats av i modern tid.



Strömavbrotten drabbade i huvudsak landsbygden medan tätorterna klarade sig bättre. Stormen slog till mot den del av landet som har störst andel landsbygdsbefolkning och många av företagen ligger utanför tätorterna. Uppskattningsvis 730 000 elkunder blev initialt utan ström. 30 000 kilometer ledningsnät skadades varav omkring nio procent så svårt att det krävdes komplett nybyggnation.

20 dygn efter stormen var fortfarande över 12 000 kunder utan el. För vissa varade avbrottet i hela 45 dagar. Dödsfall inträffade i återställningsarbetet – både vid skogsröjning och vid återuppbyggnaden av elnätet.

Energistörningarna efter Gudrun medförde en samhällsekonomisk merkostnad på cirka 4–5 miljarder kronor. I denna summa ingår inte alla kostnader som stormen orsakade inom andra sektorer. Exempelvis ingår inte kostnader för den stormskadade skogen.

I återställningsarbetet var samverkan mellan lokala parter och mellan elnätsföretagen en nyckelfaktor. Elbranschen kunde på ett snabbt sätt samla sig via sin samverkansorganisation. Det handlade om att snabbt få fram materiel, arbetsredskap och personal. En stor del av Sveriges alla elnätsföretag ställde upp och fördelade de tillgängliga resurserna till de högst prioriterade områdena.

Nödvändiga resurser hämtades från olika delar av Sverige men också från våra grannländer. Staten var behjälplig genom Svenska Kraftnät som bland annat ställde fordon, elverk, reservstolpar och satellittelefoner till förfogande. Svenska Kraftnät rekryterade också civilpliktiga linjemontörer och förmedlade försvarets resurser, bl.a. transportflyg och helikoptrar. Även frivilliga privatpersoner och organisationer deltog i arbetet.

Stormen Gudrun blev en väckarklocka som visade hur viktig roll elen har i vardagen och hur sårbart samhället är. Efter Gudrun blev diskussionen kring elnäten större än någonsin.

Den 8 december fattade riksdagen beslut om skärpt lagstiftning efter Gudrun. Riksdagen valde att besluta i enlighet med näringsutskottets betänkande. Det innebär att riksdagens förslag träder ikraft i enlighet med förslaget i den proposition som tidigare lagts. I korthet gäller följande enligt den nya lagstiftningen:

- Funktionskrav från och med den 1 januari 2011 med innebörden att elavbrott inte får överstiga 24 timmar.

- Elnätskunden har från och med den 1 januari 2006 lagstadgad rätt att få ersättning för elavbrott redan efter 12 timmar – ju längre elavbrott, desto högre ersättning.
- Elnätsföretagen ska lämna bättre information om leveranssäkerheten till kunderna och ta fram bättre underlag för att rätta till brister i elnäten (risk- och sårbarhetsanalyser m.m.).
- Elnätsföretagen ska få ökade möjligheter att producera el i reservkraftsaggregat.
- Krav på trådsäkra regionnät införs.

### 3.3 Elnätsföretagens erfarenheter och åtgärder efter Gudrun

När Gudrun drog in över Sverige var elnätsföretagen väl förberedda. Överenskommelsen NätKic ("Nätkunden i centrum") som elnätsbranschen träffade med regeringen år 2001 innebar att man bl.a. ökade investeringstakten i lokalnäten och etablerade elsamverkan, en organisation för samverkan vid störningar. Att förstärka en så omfattande infrastruktur som ett elnät så att det motsvarar dagens högre krav på leveranssäkerhet tar av naturliga skäl ett antal år att genomföra så de förstärkningar som redan gjorts märktes knappt eftersom Gudrun drabbade ett så stort område. Den nya elsamverkansorganisationen ([www.elsamverkan.se](http://www.elsamverkan.se)) var ett värdefullt verktyg i återuppbyggnadsarbetet.

Nya planeringsmål för leveranssäkerhet togs fram av branschen under år 2004 och det är dessa som utgör grunden till de nya lagstadgade funktionskrav som bl.a. ingick i propositionen "Leveranssäkra elnät" som regeringen lämnade till riksdagen den 10 oktober. I propositionen ingick även ett krav på att alla regionnätsledningar ska vara trådsäkra, en skärpning av den tidigare branschrekommendationen som talade om minst en trådsäker matning. Nytt är också kravet på att avbrottsersättning ska betalas ut till alla kunder vid avbrott som är längre än 12 timmar. Beslut om ändringar i ellagen fattades av riksdagen i december 2005. Funktionskraven gäller från 2011 medan de övriga förändringarna infördes redan 1 januari 2006.

Arbetet med att förstärka lokalnäten har efter Gudrun intensifierats och det är jordkabel som är huvudalternativet. Långsamma tillståndsprocesser och personaltillgång är begränsande faktorer.

### 3.4 Utveckling av det framtida elnätet

Livslängden på elnätet ur ett ekonomiskt synsätt är mellan 25–40 år beroende på vilken del. Den tekniska livslängden kan dock vara betydligt längre.

Huvudproblemet bakom de ovädersrelaterade strömavbrotten är de ursprungligen ca 5 700 mil mellanspänningsledning (10–20 kilovolt) som år 2000 löpte oisolerade genom skogsmark.

För att säkra dessa arbetar elnätföretagen med att:

- i första hand ersätta friledning med nergrävd kabel.
- i andra hand byta oisolerad ledning mot isolerad luftburen ledning som tål trädpåfall utan avbrott

Därtill arbetas med kraftigt ökade röjningsinsatser.

Totalt investerar elnätföretagen i Sverige för närvarande i en takt av ca 10 miljarder kronor/år.

Av detta avser ca hälften, dvs. 5 miljarder/år, de accelererade planerna för att snabbt träd- och vädersäkra näten. Denna takt innebär att ca 20 % av de kritiska ledningsavsnitten åtgärdas varje år.

Takten ökades till denna höga nivå efter ”Gudrun”, som ju innebar att såväl elnätbranschen som samhället i övrigt fick anledning att ompröva tidigare antaganden om vilka skador som kan väntas under oväder.

Sedan Gudrun har elnätföretagen således under 2005–2006 investerat nära 10 miljarder ”extra” för att bygga bort väderkänsligheten. Därigenom har under dessa två år ungefär 2 200 mil, dvs. nära 40 %, av de mest känsliga avsnitten åtgärdats.

Branschen räknar med att praktiskt taget alla de kritiska ledningssträckorna skall hinna åtgärdas före utgången av 2010. Det finns mao starkare drivkrafter än klimatet som styr investeringarna men ”på köpet” får vi ett mer klimattåligt elnät.

Utöver detta bedöms inga ytterliggare ut/ombyggnader på grund av klimatförändringar vara nödvändiga. Däremot kan be-

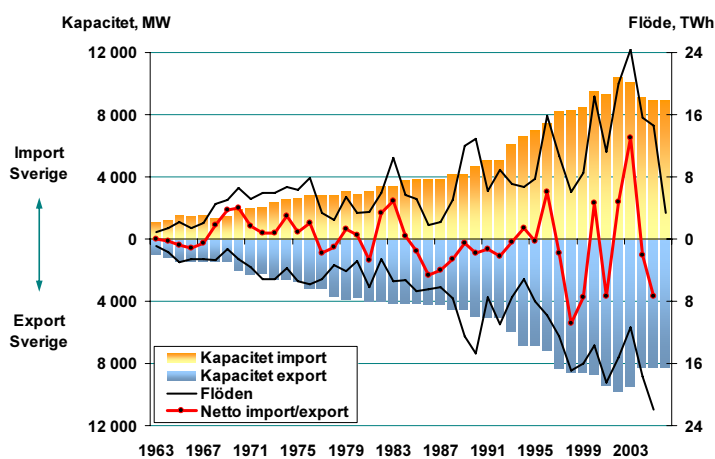
hovet finnas för att möta en annan produktions- och elanvändningsstruktur i framtiden.

## 4 Utbytesmöjligheter med utlandet

### 4.1 Beskrivning utlandsförbindelserna

Sverige har förutom sitt nationella egna eldistributionsnät stora möjligheter till överföring av elkraft till och från grannländerna, se diagram 1. Rent elektriskt är Sverige, Finland, Norge och Själland ett sammankopplat nät med samma frekvens i hela området. Utöver detta är Estland, Jylland, Polen, Ryssland och Tyskland sammankopplat med likströmförbindelser. Mellan Finland och Ryssland finns det dessutom en växelströmsförbindelse som går till en specifik produktionsanläggning som normalt inte är sammankopplad med det ryska storkraftnätet. Se vidare på sista sidan karta över det nordiska högspänningsnätet.

Diagram 1 Kapacitet och elflöden till och från Sverige



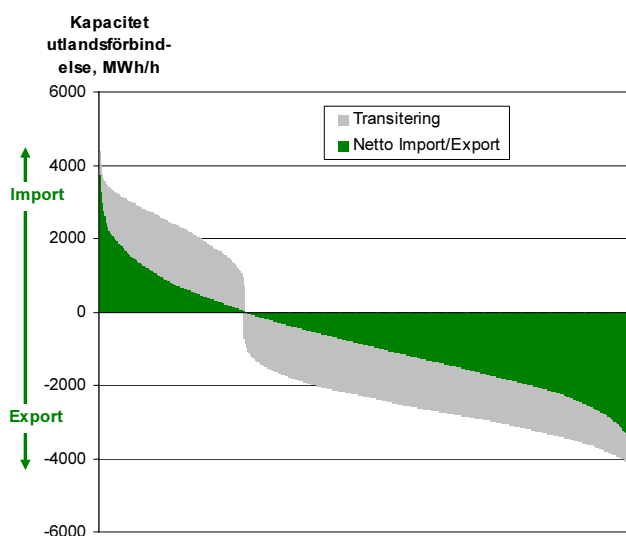
Källa: Svensk Energi.

Under senare år när den nordiska elmarknaden har utvecklat sig har behovet av utbyten med grannländer och transitering av elkraft via Sverige ökat. Exempel på hur det kan se ut är varaktighets-

diagrammet 2 som visar årets alla timmar år 2005. Diagrammet är schematiskt och visar det totala flödet till och från Sverige uppdelat i den svenska under/överskottet i elkraftbalansen (balans mellan elproduktion och elanvändning) samt behovet från våra grannländer att transitera kraft på det svenska elnätet. Detta år blev Sveriges nettoexport 7,4 TWh och transitering av elkraft genom landet uppgick till 10,5 TWh.

Sverige utnyttjar sina förbindelser i stor grad för att utjämna sin elkraftbalans. Dessutom har våra grannländer ett liknande behov som inte alltid sammanfaller med det svenska behovet och då uppstår transitering av elkraft. På detta sätt utnyttjar vi varandras olika typer av elproduktion mer optimalt, för det är stora skillnader mellan länderna, Norge nästan bara vattenkraft, Sverige 50/50 vattenkraft och värmekraft, Finland 25/75 vattenkraft och värmekraft samt Danmark 20/80 vindkraft och värmekraft.

**Diagram 2** Varaktighetsdiagram med timvärden för netto import/export samt transitering år 2005, Sverige



Källa: Svenska Kraftnät.

Se även nästa sidas elnätskarta över det nordiska högspänningsnätet.



## 5 Elproduktion

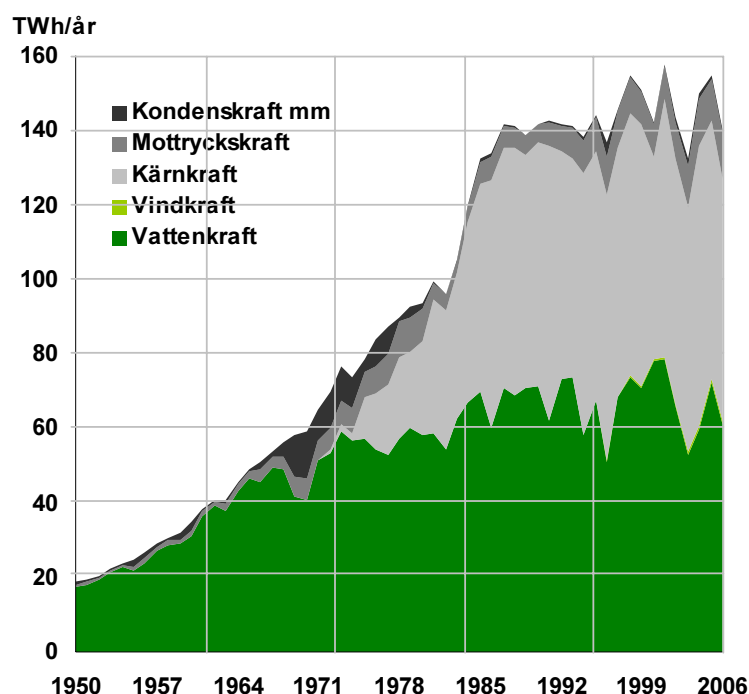
### 5.1 Beskrivning av svensk elproduktion

Elproduktionen i Sverige domineras helt av koldioxidfri vattenkraft och kärnkraft. Vindkraftverk har byggts i stort antal de senaste åren, men produktionen är än så länge mycket liten. Övrig värmekraft eldad med fossil- och biobränslen och svarar tillsammans för mellan 5–10 procent av elproduktionen varav den förnyelsebara andelen har ökat stadigt de senaste åren.

Den nordiska elmarknaden och elutbyten med grannländerna är en förutsättning för Sveriges elförsörjning.

Sveriges elproduktion åren 1950–2006 fördelad på kraftslag visas i diagram 3.

Diagram 3 Elproduktion i Sverige, fördelad på kraftslag. TWh/år



Källa: Svensk Energi.

Elproduktion både effekt- och energimässigt är jämt fördelat i Sverige. Vattenkraften dominerar i Norrland och värmekraften i söder. I sydligaste Sverige finns ett produktionsunderskott.

### 5.1.1 Elproduktionsanläggningar

Dagens bestånd av elproduktionsanläggningar har byggts upp under en lång period. Livslängden är varierande för de olika kraftslagen men också för de olika delarna i själva kraftverket.

**Tabell 2** Antal och installerad effekt i Sverige

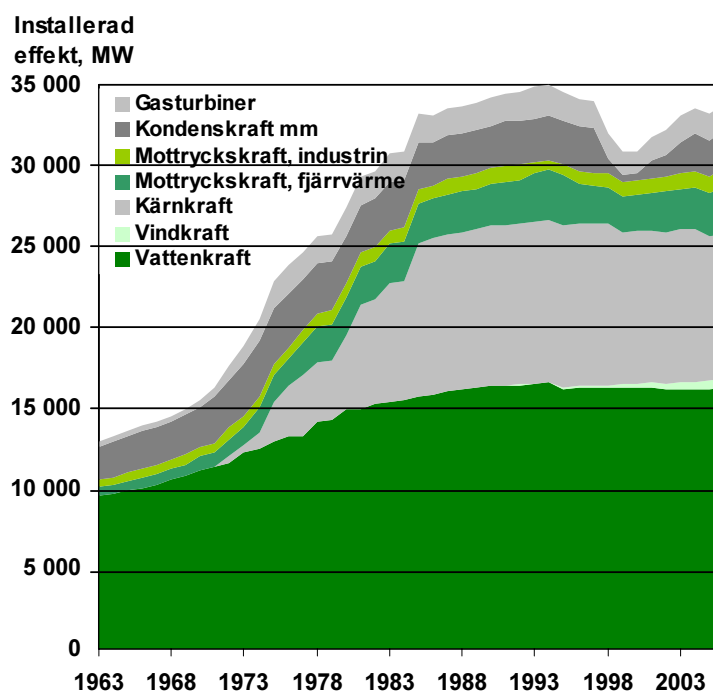
Installerad effekt i landets kraftstationer, MW		
	~ Antal	2006-12-31
<b>Vattenkraft</b>	<b>1 800</b>	<b>16 180</b>
<b>Vindkraft</b>	<b>820</b>	<b>580</b>
<b>Kärnkraft</b>	<b>3</b>	<b>8 965</b>
<b>Övrig värmekraft</b>	<b>180</b>	<b>8 094</b>
– kraftvarme, industri	60	1 229
– kraftvarme, fjärrvärme	85	2 954
– kondens	10	2 298
– gasturbiner m.m.	25	1 613
<b>Totalt</b>	<b>2 8 03</b>	<b>33 819</b>

*Källa:* Svensk Energi.

I diagram 4 kan man se utvecklingen från 1963 och framåt. En mycket stor andel av det som byggts under denna period finns kvar och är i bruk än idag. De största enheter som är borttagna är de båda aggregaten i Barsebäck. Vissa anläggningar är lagda i malpåse (långtidskonserverade). Efter avregleringen hamnade flera kondenskraftsanläggningar i malpåse men har tagits i drift igen när effektbehovet har ökat under åren.



Diagram 4 Installerad effekt per kraftslag i Sverige 1963–2006



Källa: Svensk Energi.

## 6 Vattenkraft

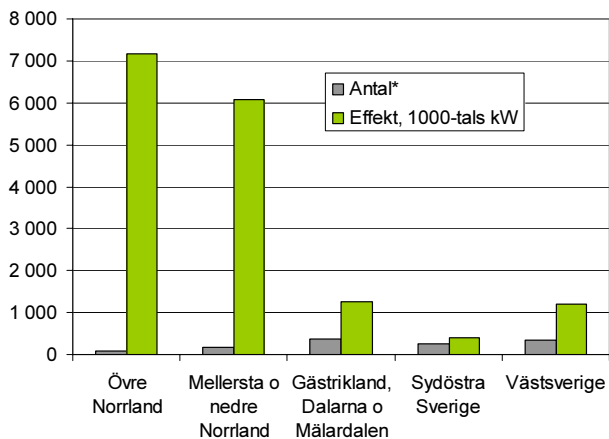
### 6.1 Beskrivning av vattenkraft

Vattenkraften började byggas ut redan i slutet av 1800-talet. Den mer storskaliga vattenkraften hade sin stora utbyggnad under 1950- och 60-talen. Den storskaliga vattenkraften tillsammans med rikstäckande eldistribution ersatte mycket av den tidigare småskaliga vattenkraftproduktionen. Många anläggningar är femtio år och äldre och i dessa har man reinvesterat i modernare och effektivare teknik. Livslängden på kraftverken är i allmänhet 60 år eller mer.

Idag finns cirka 1 800 vattenkraftstationer. Flest i södra Sverige men den största installerade effekten finns i Norra Sverige, se tabell 2 och diagram 5. Det finns en stor variation i antal drifttimmar för vattenkraften allt ifrån fjällstationers 2 000–3 000 till 4 000–6 000 timmar för kraftverk vid vattendragens mynning, alltid beroende på

hur väl utbyggt kraftverket är i förhållande till den tillrinning som kommer. Vattenkraftverken har väldigt varierande funktion beroende var de är placerade i raden av kraftverk. Radbanden av vattenkraftverk är kännetecknande för de svenska reglerade vattendragen.

**Diagram 5** Antal vattenkraftsstationer och installerad effekt i Sverige regionvis



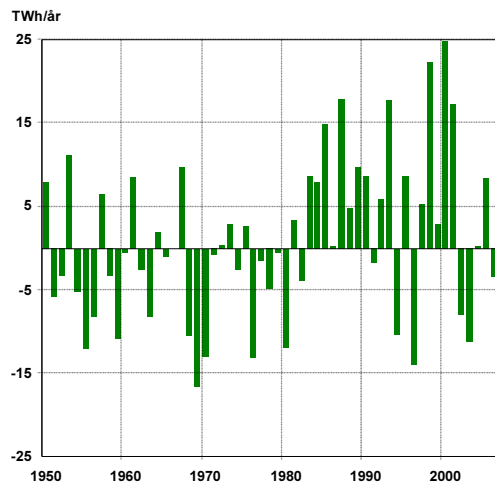
\* Antal vattenkraftstationer > 12 kW.

Källa: Svensk Energi.

## 6.2 Tillrinning

Årstillsrinningens variation i förhållande till normaltillsrinningen för perioden 1950–2006 visas i diagram 6. Att tillsrinningen växlar mellan åren är ett faktum men också att under de senaste femton åren haft en trend med mer tillsrinning.

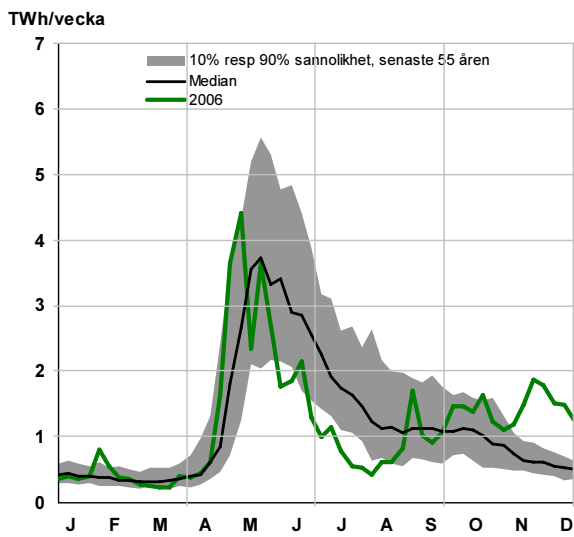
Diagram 6 Tillrinningens variation i förhållande till normalårstillrinningen för åren 1959–2006



Källa: Svensk Energi.

Exempel på tillrinningens variation under året visas i diagram 7. Det grå fältet visar tillrinningen med en sannolikhetsgrad på mellan 10 och 90 procent. Det är 10 procents sannolikhet att tillrinningen blir större än den övre gränsen och 90 procents sannolikhet att den blir större än den undre gränsen för det grå fältet. Den tunnare svarta kurvan anger normalårstillrinningen (50 procents sannolikhet) och den gröna kurvan visar tillrinning veckovis.

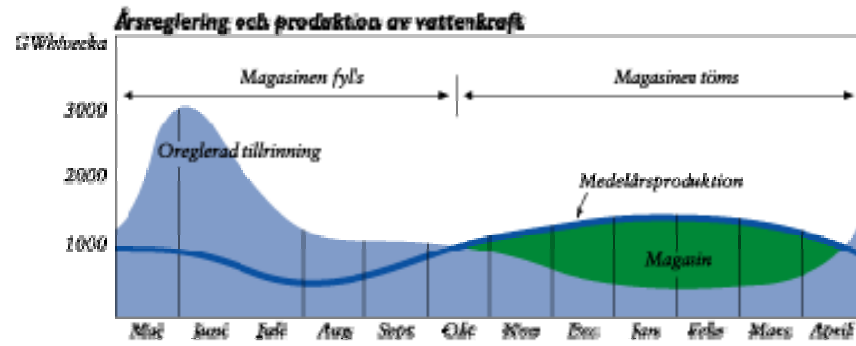
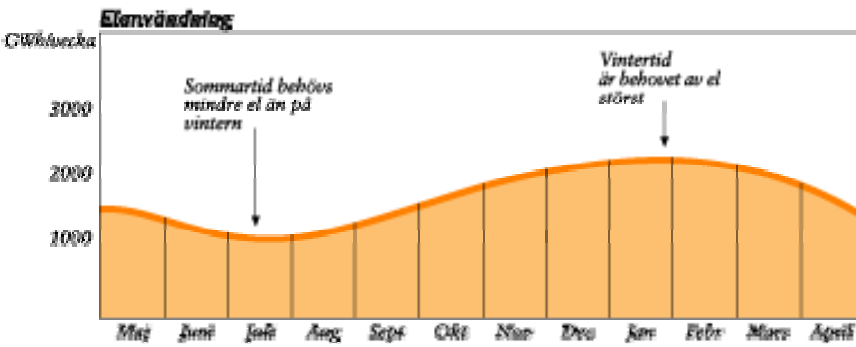
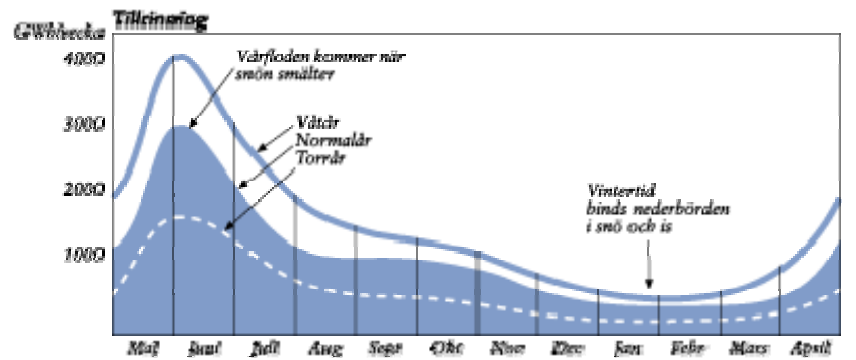
Diagram 7 Tillrinningsvariation i de kraftproducerande älvarna, År 2006



Källa: Svensk Energi.

I diagram 8–10 visas en schematisk hur tillringen ser ut under ett år samt hur man utnyttjar regleringsmagasinen för vattenkraftproduktion för att möta behovet av el som är som störst.

Diagram 8,9 och 10 Tillrinning, elanvändning samt årsreglering och vattenkraftproduktion



Källa: Svensk Energi.

### 6.3 Vattenkraften har många uppgifter

Vattenkraften har många uppgifter i det svenska och nordiska systemet:

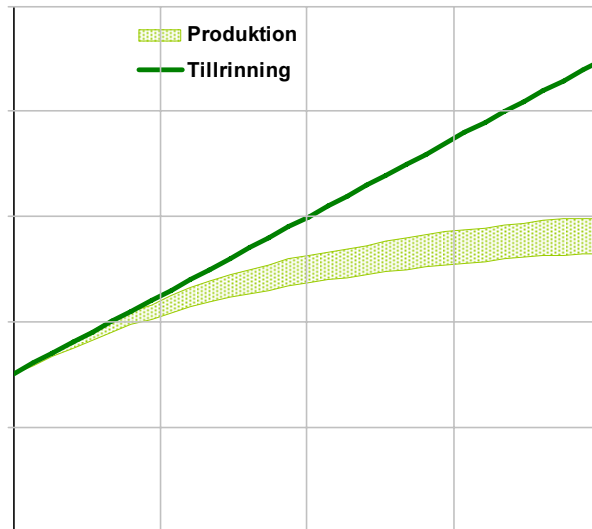
- Den ger energi (50 % av elbehovet)
- Utgör snabb effektreserv
- Används för frekvenshållning
- Reglerar oplanerade förbruknings- eller produktionsförändringar

### 6.4 Effekter av klimatförändringar

Ur klimatsynpunkt kan vattenkraften påverkas mer än andra kraftslag om t.ex. nederbörden ökar eller minskar. Det är främst regleringsgraden som påverkas då anläggningar ur produktionsynpunkt är dimensionerade för en viss medelvattenföring. I diagram 11 visas ett schematiskt förhållande mellan total tillrinning och det som kan tas tillvara vid vattenkraftsproduktion. Parametrar som vårfloddsstorlek, nederbördens fördelning över året, enskilda vattendrags förmåga att hantera flöden har stor betydelse för hur stor del av tillrinningar som kan utnyttjas. Generellt kan man dock konstatera att förmågan är relativt stor med dagens kapacitet och tillstånd för vattenkraften. När det ändå blir höga flöden tenderar alla reglerade vattendrag och bli mer eller mindre oreglerad d.v.s. det finns ingen möjlighet att dämpa det vatten som kommer.

I figur 2 visas fyra olika scenarier för perioden 2071–2100 i jämförelse med perioden 1961–1990 framtagna av SMHI (Referens: Underlag till Klimat- och sårbarhetsutredningen. SMHI Hydrologi, Nr 106, under framtagande). I samtliga scenarier ökar vattentillgången mellan 5–25 procent beroende scenario. Fördelningen över landet är dock olika med en större ökning i de norra delarna medan de sydöstra t.o.m. kan minska jämfört med idag.

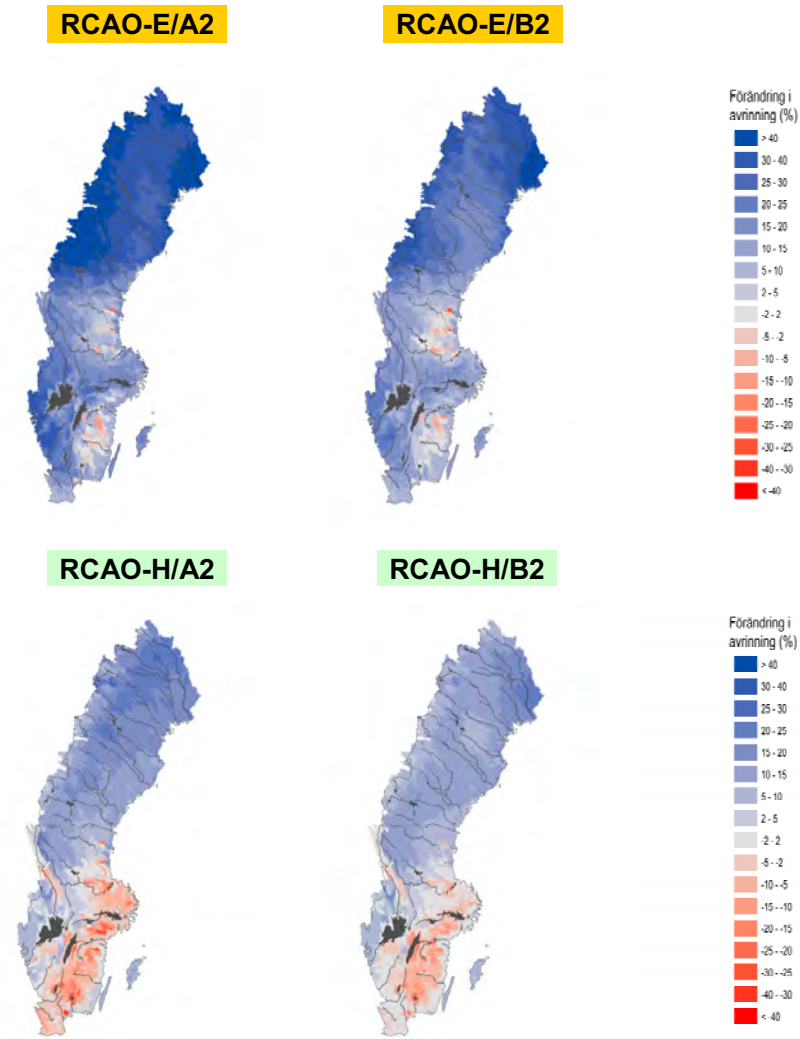
Diagram 11 Schematisk förhållande mellan total tillrinning och utfall i vattenkraftproduktion



Källa: Svensk Energi.

Troligt är att en förändring av kraftsystemet i sig, med mer förnybara kraftslag som t.ex. bi kraftvärme och vindkraft påverkar vattenkraften i större grad än vad klimateffekterna gör. Med andra ord kan behovet av reglerbara vattenkraftproduktion bli större i framtiden.

**Figur 2** Förändring i avrinning från Sverige för perioden 2071–2100 jämfört med 1961–1990, enligt fyra olika regionala klimat-scenarier tolkat genom HBV Sverige med delta-metoden



Källa: SMHI.



## 7 Vattenkraftsdammar

### 7.1 Beskrivning av vattenkraftsdammar

I Sverige finns cirka 10 000 dammbyggnader av olika storlek och ålder. Flertalet av dessa är små.

Dammar kan indelas i olika typer beroende utifrån hur den är byggd, funktion och ändamål.

En del av dammarna är för vattenkraftsändamål och av dessa är 190 stycken högre än 15 meter. Internationellt betecknas dessa dammar som höga vilket innebär att de har en största höjd från grundläggningsnivå till krön som överstiger 15 meter.

Huvuddelen av de stora dammarna finns i Norrland men även i Svealand och Götaland finns större dammar.

De flesta dammar är betongdammar eller fyllningsdammar.

Extrema flöden är den klimatfaktor som är dominerande när det gäller dammsäkerhet. Mer om dammsäkerhet finns beskrivit i separat PM från arbetsgruppen för dammsäkerhet i Klimat- och sårbarhetsutredningen

## 8 Kraftvärme

### 8.1 Beskrivning av kraftvärme

Om både el och värme (vanligen fjärrvärme) produceras är anläggningen ett kraftvärmeverk, eller med ett annat ord, ett mottrycks-kraftverk. Värmen från elproduktionen, ångan från turbinen, värmer upp fjärrvärmevattnet som pumpas ut i fjärrvärmesystemet i en tätort. Fjärrvärmevattnet som kommer i retur från tätorten är kallare efter att ha levererat värme till fastigheterna och kyler alltså turbinen genom att ta upp värme som går ut till fjärrvärmesystemet igen. Kraftvärmen är både energieffektiv och miljövänlig jämfört med andra bränslebaserade sätt att framställa el.

Denna teknik har funnits länge främst i storstäderna men på senare år även i mindre tätorter när fjärrvärmen har byggts ut. Fjärrvärme står idag för nästan hälften av all uppvärmning i Sverige men mindre än hälften av fjärrvärmen kommer från kraftvärmeverk resten kommer från rena värmeverk.

Processindustrin och då främst massa- och pappersindustrin har också utnyttjat mottrycksproduktion under lång tid. Här är det dock inte värmeunderlaget som varit den främsta orsaken utan behovet av processånga. Det är inte ovanligt att industrier samtidigt är leverantörer av fjärrvärme vilket ökar det så kallade mottrycksunderlaget som ger möjlighet till större elproduktion. Vissa industrier har processer som skapar antingen restprodukter som är brännbara eller processen i sig själv kan generera ånga som leds in i en ångturbin som sin tur driver en generator.

Det normala är att industrins kraftvärme har en mycket hög utnyttjande tid ofta uppemot 7 000–8 000 timmar per år medan kraftvärmen i fjärrvärmenät som styrs av värmeunderlaget har 4 000–5 000 timmar.

Livslängden för dessa anläggningar är kortare än för vattenkraftsanläggningar. Främst är det själva förbränningspannan som utsätts för en kombination av högt tryck, temperatur och i många fall även en kemiskt aggressiv miljö.

## 8.2 Effekter av klimatförändringar

Ur klimatsynpunkt kommer kraftvärmen i framför allt fjärrvärmenät att få ett minskat värmeunderlag om medeltemperaturen ökar i landet. Samtidigt förväntas antalet fjärrvärmenät med kraftvärmeanläggningar öka vilket ändå totalt sett leda till ökat elproduktion.

# 9 Kondenskraft

## 9.1 Beskrivning av kondenskraft

Till skillnad mot kraftvärmeverket genererar kondenskraftsverket enbart elkraft. Verkningsgraden för dessa anläggningar är cirka 40 procent då restvärmen som man inte utnyttjar kyls bort med sjö- eller havsvatten. I Sverige finns ett 10-tal anläggningar som idag används som reservkraft, främst för effekt men också energiproduktion vid torrårssituation.

Den stora fördelen med dessa anläggningar är att man vet att man kan använda dem i nästan vilken situation som helst. Nackdelen idag är dock att samtliga anläggningar använder olja som bränsle vilket gör dem dyra i drift och mindre bra av miljöskäl.

Livslängden på dessa anläggningar är lång då de inte ingår som baskraftsanläggningar och således har korta drifttider. Det är snart fyrtio år sedan man byggde de senaste.

Vissa kraftvärmeverk kan också producera kondenskraft. Med hjälp av en lågtrycksturbin (kondenssvans) som är sjö- eller havsvattenkyld kan man köra så kallad blanddrift. Blanddrift kan utnyttjas när kraftvärmeverket inte har fullt mottrycksunderlag i form av fjärrvärme eller processånga i en industri.

## 10 Kärnkraft

### 10.1 Beskrivning av kärnkraft

Kärnkraft verket är och fungerar som kondenskraft verk med skillnaden att man använder kärnbränsle.

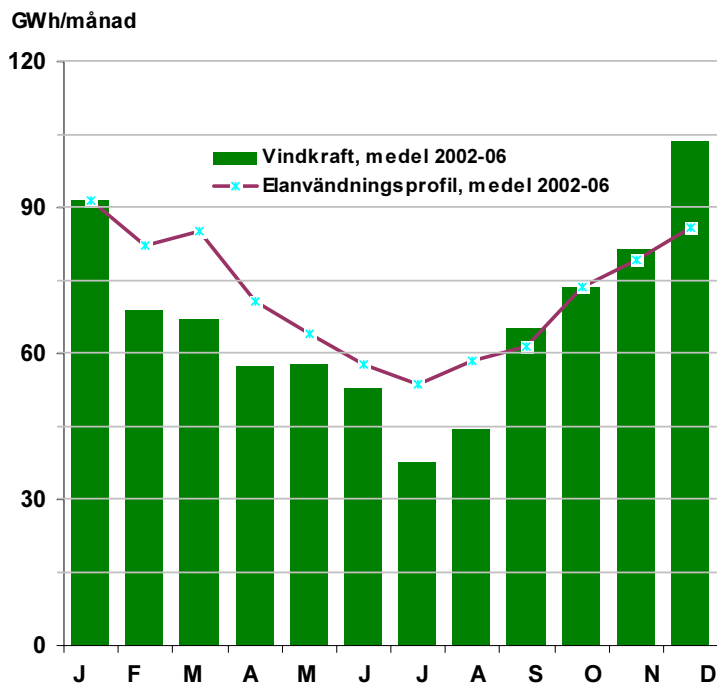
### 10.2 Effekter av klimatförändringar

Dessa anläggningar tillhör kategorin baskraftanläggningar och kan påverkas av klimatet. Kylvattentemperaturen har en avgörande betydelse för verkningsgraden, högre temperatur ger sämre verkningsgrad. Detta kan kompenseras med större kondensorer och därmed ett högre kylvattenflöde. Att förändra kapaciteten på kondensorer som bl.a. tar hänsyn till en högre kylvattentemperatur görs i samband med stora reinvesteringar i turbinanläggningen, vilket redan har skett i vissa av kärnkraftverken. Med andra ord sker en successiv anpassning till förändrade förutsättningar, dock med mycket långa ledtider. Livslängden på anläggningarna är mycket lång av flera skäl men det viktigaste är att säkerhetskraven är mycket höga.

## 11 Vindkraft

Vindkraftsproduktionens andel av den svenska elmixen är blygsam idag men förväntas öka betydligt. Vindkraften är ett kraftslag med relativt låga driftskostnader som ger mest energi på vintern vilket är fördelaktigt, Se diagram 1.

Diagram 12 Vindkraft i Sverige medel per månad för perioden 2002–2006



Källa: Svensk Energi.

Utifrån elnätsynpunkt är kanske variationerna mycket stora men kan för de närmaste timmarna förutses med god precision med hjälp av meteorologiska tjänster. Sverige och Norden har också unika möjligheter att reglera ut vindkraftens variationer med hjälp av reglerbar vattenkraft. Man kan även se att en väl distribuerad elproduktion från vindkraft i Norden gör att variationerna blir mindre på den gemensamma marknaden. Helt klart är dock det kommer att ställas krav på att kunna utjämna elkraftbalansen när andelen vindkraft ökar i systemet. Med automatik kommer kraven på stamnätets förmåga också att förändras på sikt.

## 12 Gasturbiner

Gasturbiner är också en typ av kondenskraftverk. Vissa ingår dock i gaskombi- anläggningar som ger en betydligt bättre verkningsgrad. I Sverige är dock de konventionella gasturbinerna för störningsreserv vanligast. Den stora fördelen med gasturbinerna är att de snabbt når full effekt och redan efter cirka femton minuter efter start.

## 13 Övrigt

I övrigt finns det även gasmotor- dieselkraftverk. De är numerärt ganska många men totala effekten är inte så stor. Framförallt dieselkraftverken är rena reservkraftverk i t.ex. sjukhus, vatten- och avloppsreningsverk etc.

## 14 Energiförsörjning, elproduktion

### 14.1 Beskrivning av svensk elproduktion i ett nordiskt perspektiv

Det nordiska systemet består till cirka femtio procent av vattenkraft med en varierande tillrinning. Skillnaden kan vara cirka plus minus 25 procent (+/- 50 TWh, vilket är betydligt mer än Danmarks nuvarande elanvändning under ett helt år). Med hjälp av flerårsmagasinen, främst i Norge, kan man utjämna variationer till viss del. Men det förutsätter att man kan göra en återfyllnad och det kan bli svårt att uppnå om man får två torrår på rad. Statistiskt är det dock inte särskilt vanligt. Torrårsituationer påverkar både energi- och effekt produktion.

Låg vattenkraftsproduktion kompenseras med ökad fossileldad kondenskraftsproduktion i Sverige, Finland, Danmark, Polen samt Tyskland. Elbörspriset och överföringsförbindelserna avgör var produktionen främst sker.

## 14.2 Effektsituationer på grund av väder och/eller elnätstörning

Här finns några situationer som skulle uppkomma vid klimatförändringar i framtiden beroende på hur väl vi kan anpassa oss.

Vattenkraftsproduktionen har mycket långa ledtider vad det gäller att anpassa sig till förändringar av vattenföringarna. Om en framtida klimatförändring skulle ge t.ex. mer nederbörd och vid tillfällena som avviker från dagens mönster kan problem uppstå. Ett exempel är fyllnadsperioden för vattenregleringsmagasinen som pågår från vårflod till tidig höst. De svenska vattenkraftproducerande älvarna har vanligtvis ett antal större fjällmagasin. På vägen ner till havet passerar vattnet många kraftstationer med eller utan korttidsreglerade magasin med mer eller mindre oregrerade biflöden. När fjällmagasinen når fyllnadsgraden 80–90 procent är man extra känslig för stora nederbördsmängder på stora områden med risk för att behöva tappa vatten från dessa magasin samtidigt som man behöver ta hand om höga vattenföringar ifrån biflöden. Samtidigt är det troligt att en successiv anpassning sker som mildrar eventuella climateffekter

Ett större inslag av vindkraft i produktionssystemet kombinerat med framtida klimatförändringar kan ge upphov till snabba produktionsförändringar men även risker för att vindkraftverken får direkta materiella skador. Ur teknikutvecklingssynpunkt har dock vindkraften fördelen att livslängden och ledtiderna inte är lika långa som för vattenkraften. Med nya erfarenheter kan teknikutveckling för vindkraften leda till betydligt bättre anpassning till mer varierande vindförhållanden i framtiden.

Effektbristsituationer kan i princip uppträda när som helst under året, beroende på hur produktions- eller överföringskapaciteten är för stunden. Mest kritiskt är naturligtvis vintervädret, inte nödvändigtvis det mest extremt kalla utan mer kombinationen av hård vind, nederbörd och kyla. Får man dessutom en efterföljande köldknäpp kan läget bli mycket allvarligt. Klimatförändringar skulle kunna tänkas öka effektbristrisken på grund av främst mer stormar.

### 14.3 Utveckling av det framtida elproduktionssystemet

Elmarknaden går emot att bli mer och mer internationell. Sverige och övriga nordiska länder har tagit steget till en nordisk elmarknad och har redan idag ett stort utbyte söder ut mot Tyskland. Det ställer stora krav på reglerbarhet i elproduktionen, speciellt eftersom det finns planer på stor ökning av vindkraft i Nordeuropa nu och i framtiden.

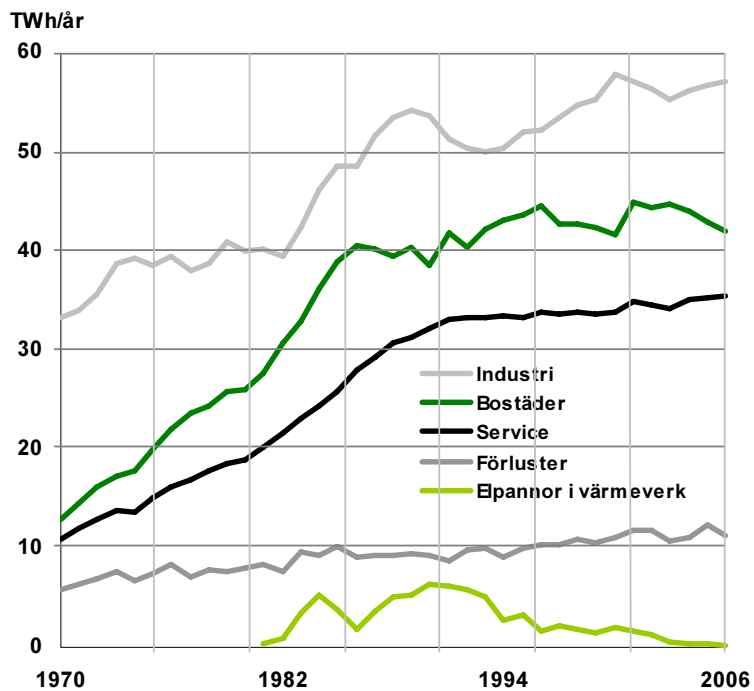
Utveckling mot en större marknad med väl fungerande överföringsförbindelser mellan länder kan leda till att självförsörjningsgraden för det enskilda landet inte blir lika viktig. Det är en fördel när man kan utnyttja varandras produktionsapparat men samtidigt blir troligen reservkapaciteten lägre och vid effekt- eller energiknapphet kan läget bli besvärande för ett enskilt land. Många av de större elföretagen verkar redan idag i mer än i ett land och är därmed inriktade på en elmarknad som sträcker sig över flera länder. Detta medför att det gör en prioritering att klara försörjningstryggheten på hela elmarknaden, vilket kan drabba enskilda länder i vissa situationer, t.ex. oväder, extrem kyla.

Sammanfattningsvis kommer utvecklingen av elmarknaden att ge många fördelar för Sverige, men också risker genom att Sverige inte självklart kan stänga gränserna för elkraftöverföring när landet får svårigheter.

## 15 Elanvändning

Som tidigare nämnts är elproduktionen ganska jämt fördelad över landet men så är det inte med elanvändningen, ungefär 80 procent används från Dalarna och söderut. Industrin använder cirka 55 TWh, bostäder 45 TWh, service 35 TWh och cirka 12 TWh avgår som förluster i elnätet, se diagram 13.

Diagram 13 Vindkraft i Sverige medel per månad för perioden 2002–2006



Källa: Svensk Energi.

Det är svårt att se hur elanvändningen kommer att utveckla sig i framtiden men helt klart är att vi idag är mycket beroende av elkraft till många användningsområden. Klimatfrågan kan komma att leda till totalt sett ökad elanvändning om elen finner nya användningsområden i t.ex. transportsektorn (elbilar och så kallade plug-in hybridbilar). Helt säkert är dock att annan infrastruktur t.ex. transporter, vattenförsörjning, tele /IT-kommunikation, drivmedel (eldrivna pumpar) och många fler kommer fortsatt vara beroende av att elförsörjningen har en god tillförlitlighet även i framtiden.



## 16 Referenser

- El från nya anläggningar, Elforsk
- Andréasson, J., Hellström, S-S, Rosberg, J. och Bergström, S. (2007) Översiktlig kartpresentation av klimatförändringars påverkan på Sveriges vattentillgång – Underlag till Klimat- och sårbarhetsutredningen. SMHI Hydrologi, Nr 106. (under framtagande)
- Riktvärden för elnätsföretagens leveranssäkerhet, Svensk Energi
- Elåret 2006, Svensk Energi
- Kerstin Lövgren, Landsbygdens eldistribution, IVA

# Klimatet och dammsäkerheten i Sverige



Exempel på ett pågående projekt för uppgradering av dammsäkerheten i Sverige. Ett nytt utskov byggs för Häckrendammen i övre Indalsälven.

Foto: *Indalsälvens Vattenregleringsföretag* (2006)

Arbetsgruppen om dammsäkerhet  
Svenska Kraftnät, Olle Mill och Tina Fridolf (t.o.m. februari 2007)  
SMHI, Sten Bergström  
Svensk Energi, Gun Åhring-Rundström  
SveMin, Raivo Maripuu  
Länsstyrelsen i Dalarnas län, Stefan Tansbo

Underlagsrapport utarbetad för Klimat- och sårbarhetsutredningen,  
2007-08-13



# Innehåll

Bakgrund.....	5
Systembeskrivning .....	5
Ansvarsförhållanden och regelverk idag.....	12
Konsekvenser av klimatförändringar .....	13
Kostnader för skador .....	17
Anpassningsåtgärder samt kostnader för dessa.....	17
Slutsatser.....	20
Bilagor:.....	22
Referenser.....	22



## Bakgrund

I Sverige finns uppskattningsvis ca 10 000 dammbyggnader av varierande storlek och ålder. Konsekvenserna av om ett dammbrott skulle inträffa skiljer sig från damm till damm och beror bl.a. på rådande flödessituation, magasinets storlek, dammens höjd, typ av damm och förhållandena nedströms. I landets dammbestånd finns ett antal exempel på dammar där ett dammbrott skulle leda till katastrofala konsekvenser med förlust av många människoliv och mycket stora skador på infrastrukturen längs en hel älvdal. För andra dammar skulle konsekvenserna av dammbrott inte bli lika omfattande men ändå allvarliga för dem som drabbas. För många dammar skulle dock ett dammbrott endast leda till obetydliga konsekvenser.

Sverige har varit förskonat från svåra dammolyckor. Under årens lopp har dock ett antal mindre dammar och två höga dammar havererat. Den ena var Noppikoskidammen i Oreälven i Dalarna som i samband med ett högt flöde hösten 1985 raserades genom att dammkrönet överströmmades. Den andra var en gruvdamm vid Aitik i Norrbotten som havererade år 2000. Vid båda dessa olyckor strömmade avsevärda mängder vatten ut men några personskador uppstod inte. År 1973 inträffade en dammolycka som krävde ett människoliv. Det var när en liten damm i Näckån i Värmland havererade i samband med ett högt flöde. En kvinna som befann sig utomhus fördes bort med det utströmmande vattnet och omkom.

Sedan 1990 pågår en uppgradering av de svenska dammarna vad avser förmågan att klara de mest extrema flöden som kan inträffa under dagens klimatförhållanden.

## Systembeskrivning

Av dammarna i Sverige är 190 vattenkraftdammar som man internationellt betecknar som höga dammar, dvs. de har en största höjd från grundläggningsnivån till krönet som överstiger 15 m. Det finns cirka 15 gruvdammar som är högre än 15 m. Kraftindustrin och gruvindustrin tillämpar ett system för klassificering av dammar med hänsyn till de konsekvenser som kan bli följden av ett dammbrott (RIDAS 2002, GruvRIDAS 2007). Enligt detta klassificeringssystem kan i storleksordningen 200 dammbyggnader hänföras till de högsta konsekvensklasserna 1A och 1B. Ett dammbrott

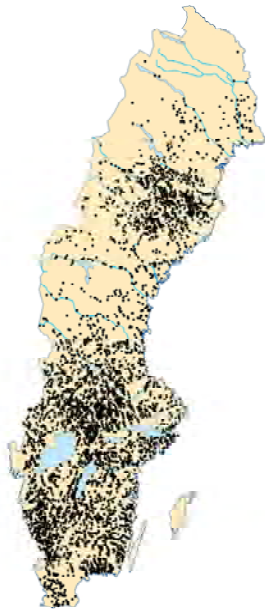
vid någon av dessa dammar skulle få stora konsekvenser och för några av dem skulle konsekvenserna bli katastrofala med förlust av många människoliv och mycket stora skador på infrastrukturen längs en hel älvdal. Dessutom skulle bortfallet av elkraftproduktion bli avsevärd. Flertalet av de ca 10 000 dammar som finns i landet är små och ett dammbrott vid många av dessa skulle endast leda till obetydliga konsekvenser.

De flesta av de dammar som är intressanta ur säkerhetssynpunkt finns i Norrland men även i Svealand och Götaland finns ett ganska stort antal dammar där ett dammbrott skulle leda till stora konsekvenser.

De flesta av de stora dammarna i Sverige är byggda innan 1980-talet. Man är idag inne i en förvaltningsfas då det i stort sett inte byggs några nya stora dammar för vattenkraftproduktion. Den planerade livslängden för dammar är lång. I Sverige finns flera vattenkraftdammar som är byggda i början på 1900-talet och internationellt finns exempel på fyllningsdammar som är mer än 2000 år gamla. Någon betydande förändring av antalet dammar för vattenkraftproduktion kan inte förutses inom överskådlig tid. Däremot byggs en del nya dammar för deponering av gruvavfall.

När gruvverksamheten avvecklas eller när en deponi slutfyllts efterbehandlas deponin på lämpligt sätt. För sulfidmalmer kan detta innebära att luftsytret måste utestängas från det deponerade gruvavfallet för att förhindra oxidation av svavel och utlakning av metaller. I de fall gruvdammarna utnyttjas för vattentäckning av gruvavfall som efterbehandlingsmetod har dessa dammar en mycket lång planerad livslängd – i princip för all framtid. Detta innebär att lösningarna måste vara robusta nog att motstå stora förändringar i klimatet utan drastiska konsekvenser. I det perspektivet är de klimatförändringar som diskuteras inom en hundraårsperiod av marginell betydelse.

**Figur 1** De mörka prickarna visar dammar som finns i SMHI:s dammregister



*Källor:* SMHI (1994) och SMHI (1995).

Extrema flöden är den klimatfaktor som är helt dominerande när det gäller dammsäkerhet. Om avbördningskapaciteten inte är tillräcklig kan detta leda till att dammen överströmmas vilket i sin tur kan leda till dammbrott. En fyllningsdamm tål inte överströmning av dammkrönet i någon större omfattning. Även betongdammar kan vara känsliga för överströmning av dammkrönet. Enligt internationell statistik beror ca en tredjedel av inträffade dammbrott på överströmning av dammkrönet. Andra klimatfaktorer som vind, tjäle och is påverkar dammsäkerheten i varierande grad men inte i lika stor omfattning som extrema flöden.

### **Flödesdimensionering av dammar enligt Flödeskommitténs riktlinjer**

1985 beslutade vattenkraftindustrin tillsammans med SMHI att tillsätta Flödeskommittén, med uppgift att utarbeta riktlinjer för bestämning av dimensionerande flöden för dammar. Arbetet



resulterade i Flödeskommitténs riktlinjer för bestämning av dimensionerande flöden för dammanläggningar som gavs ut 1990. Arbete med en nyutgåva av riktlinjerna är i slutfasen (juli 2007) och en ny utgåva beräknas komma ut under år 2007. Metoderna i riktlinjerna har inte reviderats m.h.t. förväntade framtida klimatförändringar, men riktlinjernas tillämpning i ett föränderligt klimat behandlas i nyutgåvan. Enligt riktlinjerna delas dammarna in i klasser beroende på konsekvenserna i händelse av dammbrott. Dammar där ett dammbrott inte bedöms orsaka skada för någon annan än dammägaren omfattas inte av riktlinjerna

*Klassificering enligt Flödeskommitténs riktlinjer*

Flödesdimensioneringsklass <sup>1</sup> (Riskklass)	Typ av risk vid dammbrott
I	Icke försumbar risk för människoliv eller annan personskada; beaktansvärd risk för allvarlig skada på viktig trafikled, dammbyggnad eller därmed jämförlig anläggning eller på betydande miljövärde; uppenbar risk för stor ekonomisk skadegörelse.
II	Icke försumbar risk för skada på trafikled, dammbyggnad eller därmed jämförlig anläggning, miljövärde eller annan än dammägaren tillhörig egendom i andra fall än som angetts vid flödesdimensioneringsklass I.

Damm i Flödesdimensioneringsklass I ska utan allvarlig skada på dammen kunna hantera en mycket extrem flödessekvens som bestäms genom hydrologisk modellering. I beräkningarna antas extrema nederbörds mängder samverka med effekterna av en snörik vinter som föregåtts av en nederbördsrik höst. De dimensionerande flödenas återkomsttid kan inte anges men jämförelser med frekvensanalys indikerar att flöden som beräknats på detta sätt i genomsnitt har återkomsttider på över 10 000 år. Klass I dammar ska också kunna framsläppa ett tillrinnande flöde med återkomsttid av minst 100 år med vattenytan vid dämningens gräns.

Dammanläggningar flödesdimensioneringsklass II ska vid dämningens gräns kunna framsläppa ett tillrinnande flöde med återkomsttid av minst 100 år. Nya klass II-damm ska dessutom anpassas till ett flöde som bestäms genom kostnads/nyttoanalys

<sup>1</sup> Begreppet "Riskklass" som användes i Flödeskommitténs slutrapport 1990 ersätts med begreppet "Flödesdimensioneringsklass" i nyutgåvan.

och enligt förslaget till ny utgåva ska detta även gälla för befintliga dammar. De lägre kraven jämfört med kraven för dammar i flödesdimensioneringsklass I beror på att konsekvenserna för samhället om en damm i flödesdimensioneringsklass II skulle gå till brott bedömts bli relativt måttliga.

### Flödeskonferensen

Mellan Svensk Energi, Svenska Kraftnät och SMHI har ett särskilt samråd i form av den så kallade Flödeskonferensen etablerats avseende anpassningen av dammar till Flödeskommitténs riktlinjer. Flödeskonferensens uppgift är att följa upp riktlinjernas relevans och hur dammägarnas anpassningsarbete fortskrider. I Flödeskonferensen görs årligen en uppföljning av högsta observerade flöde som andel av beräknat klass I-flöde för ett antal platser i landet för att få en bild av marginalen mellan dimensionerande flöden och inträffade flöden.

### Pågående anpassning till Flödeskommitténs riktlinjer

Om en dammbyggnad inte klarar att hantera det dimensionerande flödet, vidtas åtgärder. Det kan till exempel röra sig om ombyggnad av dammen så att avbördningskapaciteten ökas eller höjning av tät kärna och dammkrön för att kunna dämpa flödet genom tillfällig överdämning. Vid planering av åtgärder i ett vattendrag med flera dammbyggnader krävs samverkan och i många fall krävs gemensamma åtgärder, eftersom förändringar i en damm påverkar nedanförliggande dammar.

Dimensionerande flöden enligt Flödeskommitténs riktlinjer har nu beräknats för de större älvarna i landet och dammanläggningarna har klassificerats enligt riktlinjerna. Man har funnit att cirka 120 anläggningar tillhör flödesdimensioneringsklass I. För cirka 2/3 av dessa har Flödeskommitténs riktlinjer lett till ett konstaterat åtgärdsbehov. I mars 2006 hade åtgärder påbörjats eller vidtagits vid mer än hälften av dessa anläggningar. Även dammar i flödesdimensioneringsklass II åtgärdas i de fall åtgärdsbehov konstateras. Kostnaderna för pågående anpassning uppskattas till 2 miljarder kronor. Denna uppskattning innefattar både de åtgärder som redan

vidtagits och de som kommer att vidtas med anledning av riktlinjerna.

Det pågående arbetet med anpassning av dammarna till kraven i Flödeskommitténs riktlinjer avser anpassning till extrema flöden under dagens klimatförhållanden och har ingen direkt koppling till frågan om en klimatförändring.

Som en del av Flödeskonferensens uppgift att följa hur anpassningsarbetet till Flödeskommitténs riktlinjer fortskrider har en förteckning över dammar i flödesdimensioneringsklass I som tillhör Svensk Energis medlemsföretag upprättats. Förteckningen uppdateras efterhand som anpassningsarbetet fortskrider. Tabell 1 är baserad på uppgifter från denna förteckning, daterad mars 2006. Det är endast de dammanläggningar som tillhör Svensk Energis medlemsföretag som ingår i sammanställningen.

Att anpassa dammarna till kraven i Flödeskommitténs riktlinjer är ett omfattande arbete som innefattar beräkning av dimensionerande flöden genom hydrologisk modellering, utredning, projektering, tillståndsprövning och slutligen genomförande av erforderliga ombyggnadsåtgärder. De stora kraftverksälvarna är komplexa system med många dammar som påverkar varandra och anpassningsarbetet kräver samverkan mellan flera intressenter. Man bör därför se på anpassningen till Flödeskommitténs riktlinjer som ett angeläget men långsiktigt arbete som successivt håller på att genomföras.

En mera utförlig beskrivning av dammsäkerhetsarbetet i Sverige idag lämnas i Svenska Kraftnäts rapport; Dammsäkerhetsutvecklingen i Sverige (Bilaga 1).

Tabell 1 Uppgifter om anpassning till Flödeskommitténs (FLK) riktlinjer

Län	Antal anläggningar i flödesdimensioneringsklass I (riskklass I)	Antal klass I-anläggningar där FLKs riktlinjer lett till konstaterat åtgärdsbehov	Antal anläggningar som åtgärdats eller där åtgärder pågår för att säkert kunna hantera ett klass I-flöde
Dalarna	13	10	6
Gävleborg	3	3	2
Jämtland	19	12	7
Jönköping	2	2	
Halland	2	1	1
Kronoberg	3	2	2
Norrbottn	13	13	10
Uppsala	3	2	
Värmland	12	9	5
Västerbotten	17	8	5
Västernorrland	13	10	6
Västmanland	1		
Västra Götaland	10	3	1
Örebro	5	4	1
Jämtland + Västerbotten	2		
Norrbottn + Västerbotten	3	3	3
Västerbotten + Västernorrland	1		
<i>Summa</i>	<i>122</i>	<i>82</i>	<i>49</i>

### Pågående forskning och utveckling

Kraftindustrin och Svenska Kraftnät beställde år 2004 genom Elforsk en studie av SMHI med syfte att göra en känslighetsanalys av hur beräkningar enligt Flödeskommitténs riktlinjer för bestämning av dimensionerande flöden för dammar i flödesdimensioneringsklass I kan komma att påverkas av ett framtida förändrat klimat. Studien har i samband med Klimat- och sårbarhetsutredningens arbete kompletterats med analyser för Umeälven. Resultatet av studien har redovisats i Elforsks rapport nr 07:15 med titeln; Känslighetsanalys av Flödeskommitténs riktlinjer i ett framtida förändrat klimat, andra upplagan, kompletterad med analyser för Umeälven (Andréasson et al., 2007). Rapporten bygger på beräkningar för sex dammar i olika delar av landet. Känslig-

hetsanalysen ger inget entydigt besked om hur klimatförändringen kommer att påverka dimensionerande flöden och visade på ett behov av fortsatta studier om hur dimensioneringsberäkningar påverkas av förändringar av det framtida klimatet. Kraftindustrin och Svenska Kraftnät har via Elforsk av SMHI beställt ett fortsättningsprojekt på känslighetsanalysen som kommer att pågå 2007–2010.

### **Ansvarsförhållanden och regelverk idag**

I den svenska modellen för hantering av dammsäkerhet är samhällets krav uttryckta i övergripande och allmänt hållna regler. Det huvudsakliga regelverket för dammsäkerhet finns i miljöbalken med tillhörande förordningar där dammägarna åläggs ett stort ansvar att göra vad som krävs för att säkerställa dammsäkerheten. Den underhållsansvarige (i regel ägaren) har dessutom strikt ansvar för konsekvenserna av ett eventuellt dammbrott. Endast om den underhållsskyldige visar att dammhaveriet orsakats av en krigshandling eller liknande handling under väpnad konflikt, inbördeskrig eller uppror är denne fri från ansvar.

En del dammar klassas som anläggningar med farlig verksamhet enligt 2 kap. 4 § lagen om skydd mot olyckor. För dessa dammar ställs krav på att dammägaren ska hålla eller bekosta en skälig beredskap för dammbrott.

Den huvudsakliga myndighetstillsynen av dammsäkerheten ligger sedan 1984 på länsstyrelserna som är operativa tillsynsmyndigheter för vattenverksamheter (där dammsäkerhet ingår) enligt miljöbalken. Centralt i denna tillsyn är att kontrollera att dammägarna har utarbetat och följer lämpliga rutiner för egenkontroll av dammsäkerheten. Tillsyn över att dammägarna håller en skälig beredskap vid dammar som klassats som anläggning med farlig verksamhet enligt lagen om skydd mot olyckor utövas av kommunen.

Svenska Kraftnät har sedan 1998 en central myndighetsroll inom dammsäkerhetsområdet som bl.a. innefattar att främja dammsäkerheten i landet, följa och medverka i utvecklingen, rapportera till regeringen och vid behov förslå åtgärder samt uppmärksamma behovet av forskning. Svenska Kraftnät har det centrala ansvaret för tillsynsvägledning vad gäller frågor om dammsäkerhet enligt 11 kap. miljöbalken.

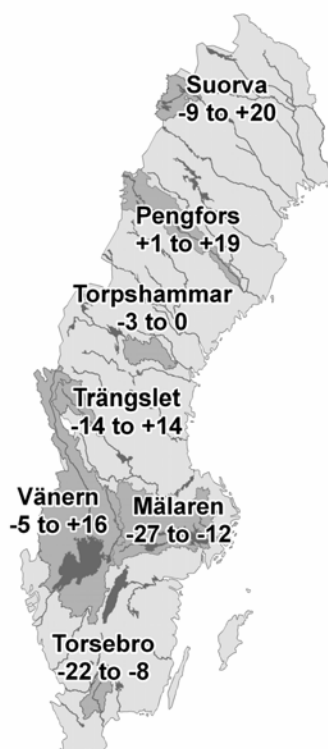
Kraftindustrin har utarbetat riktlinjer för dammsäkerhet, RIDAS, och särskilda riktlinjer för gruvdammar, GruvRIDAS, har utarbetats av gruvindustrin. I detta arbete har branschorganisationerna Svensk Energi och SveMin viktiga roller. För flödesdimensionering av dammar finns Flödeskommitténs riktlinjer som tidigare beskrivits i avsnittet Systembeskrivning.

Den pågående anpassningen av dammarna till extrema flöden i dagens klimat sker på initiativ av dammägarna själva. Erforderliga anpassningsåtgärder med anledning av framtida klimatförändringar är också dammägarnas ansvar och även dessa förutses ske på ägarnas initiativ, speciellt med tanke på deras strikta ansvar enligt miljöbalken. I dagsläget förutses inget behov av ändringar i ansvarsförhållanden och regelverk med anledning av en klimatförändring. En viss justering av Flödeskommitténs riktlinjer pågår bl.a. med anledning av farhågorna för ett förändrat klimat.

### **Konsekvenser av klimatförändringar**

Bedömningen av vilka konsekvenser en klimatförändring skulle kunna få på dammsäkerheten baseras i huvudsak på resultat från rapporten Känslighetsanalys av Flödeskommitténs riktlinjer i ett framtida förändrat klimat, andra upplagan, kompletterad med analyser för Umeälven (Andréasson et al., 2007). Resultaten ger inget entydigt besked om ifall klimatförändringen generellt sett kommer att öka eller minska dimensionerande flöden för klass I dammar. Beräkningar för de utvalda testområdena visar att förändrade klimatförhållanden i de flesta fall ökar den dimensionerande nederbördssekvensen. Det dimensionerande snötäcket minskar däremot. Beroende på hur ändringar i dimensionerande nederbördssekvens och dimensionerande snötäcke samspelar kan dimensionerande flöden både öka och minska beroende på plats och val av scenarier. Spridningen är speciellt stor mellan olika klimatmodeller i detta avseende, se figur 2. Det är följaktligen svårt att dra generella slutsatser om hur de dimensionerande flödena påverkas av en klimatförändring. En generell slutsats är dock att klimatfrågan tillför en extra osäkerhet som behöver beaktas vid den slutliga dimensioneringen.

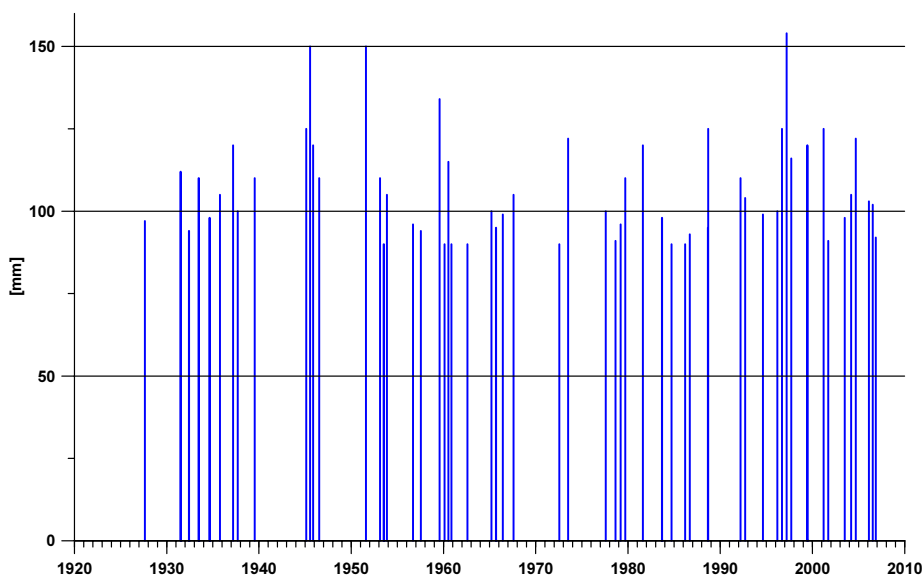
Figur 2 Figuren visar spridningen beroende på klimatscenarie i den procentuella förändringen i de beräknade maximala klass I-flödena



Källa: SMHI.

Den årliga uppföljning som görs i Flödeskonferensen för ett antal platser i landet har hittills inte visat någon ökning av högsta observerade flöde som andel av beräknat klass I-flöde. Uppföljningen är dock baserad på ett förhållandevis begränsat material. En utveckling av metodiken pågår vilket innebär att SMHI framgent kommer att göra en analys för alla platser för vilka man har tillgång till dimensioneringsberäkningar och flödesmätningar. Andra analyser antyder dock att det finns vissa tendenser till att förekomsten av extrem nederbörd har ökat något. Se figur 3 nedan som visar fördelningen av 24-timmars regnmängder större än 90 mm på arealen 1 000 km<sup>2</sup> under perioden 1926–2006.

**Figur 3** Fördelning av 24-timmars regnmängder större än 90 mm på arealen 1000 km<sup>2</sup> under perioden 1926 till 2006



Källa: SMHI.

SMHI:s rapport Framtidens översvämningsrisker som SMHI gjort åt Länsförsäkringar (Carlsson et al., 2006) pekar på att 100-årsflöden kan komma att bli högre i vissa delar av landet. Detta skulle möjligen kunna tyda på att risken för dammbrott vid mindre dammar och invallningar ökar. Dock bör man ha i åtanke att rapporten inte är framtagen med tanke på dammar. T.ex. är beräknade flöden baserade på mindre avrinningsområden än vad som normalt är aktuellt för dimensionering av dammar. Även analyserna för Umeälven som redovisas i Elforsks rapport 07:15 tyder på att högre 100-årsflöden kan förväntas i framtidens klimat. Dock poängteras i rapporten att beräkningarna har stora osäkerheter.

Klimatförändringar kommer också att innebära att vattenkraftsystemet kommer att drivas på ett annat sätt än idag. T.ex. är det möjligt att tänka sig att förväntat högre vintertillrinningar leder till minskat krav på att ligga med fulla magasin inför vintern. Klimatförändringar kommer också att innebära att behoven av elektricitet kommer att ändras. I det fall somrar blir varmare kan förväntas ett



ökat behov av kylning, vilket skulle öka elbehoven. I det fall vintrarna blir varmare kan tänkas att elbehoven minskar under vintrarna. Alla dessa frågeställningar innebär med nödvändighet inte att marginaler för den hydrologiska säkerheten reduceras. Det omvända kan också visa sig vara fallet.

Troligt är att en förändring av kraftsystemet i sig, med mer förnybara kraftslag som t.ex. biokraftvärme och vindkraft påverkar vattenkraften i större grad än vad klimateffekterna gör.

När det gäller gruvdammar för deponering av gruvavfall i driftskedet byggs de ofta på i etapper och utskov flyttas eller byggs om i samband med detta och kan därmed löpande anpassas till nya förhållanden.

Dimensioneringsberäkningar av extrema flöden innehåller stora osäkerheter, även utan att särskild hänsyn tas till klimatfrågan. När det gäller att förutse effekterna för dimensionerande flöden för dammar i ett framtida förändrat klimat finns det också många osäkerhetsfaktorer. Förutom de grundläggande osäkerheterna i klimatscenerierna och i de globala och regionala klimatmodellerna finns osäkerheter i de metoder som använts för att överföra klimatscenerierna till den hydrologiska modell som används vid flödesdimensionering. Fortsatt forskning och utveckling inom området när det gäller effekterna av en klimatförändring på extrema flöden bör därför bedrivas.

Även om extrema flöden är den helt dominerande klimatfaktorn för dammsäkerheten kan även andra klimatfaktorer som vind, tjäle och is påverka dammsäkerheten i varierande grad. I nuläget finns inga signaler som pekar på att en klimatförändring skulle leda till ökade problem för dammsäkerheten med hänsyn till dessa faktorer. De framtagna scenarierna över max byvind visar så pass små förändringar att det inte ger någon indikation på ökade problem ur dammsäkerhetssynpunkt och med ett varmare klimat torde generellt sett inte dammsäkerhetsproblem med is och tjäle öka.

Andra faktorer som indirekt kan ha betydelse för dammsäkerheten i ett klimat i förändring kan vara att tillgängligheten till dammarna försvåras i samband med extrema väderhändelser. Det kan t.ex. handla om skador på vägar till följd av skyfall.

Ett annat indirekt hot mot dammsäkerheten kan vara att ökade avrinningar och instabila vintrar leder till ökade översvämningssproblem i samhället i övrigt och att detta leder till ökade förväntningar från allmänheten på flödesdämpning dvs. innehållande av vatten i magasinen uppströms för att minska översvämningar

nedströms. Detta skulle kunna leda till ökad risk för dammbrott genom att man utnyttjar magasinens dämpningskapacitet innan tillflödet kulminerat. Flödesdämpning är en komplicerad åtgärd som kräver stora säkerhetsmarginaler och stor kunskap för att bli effektiv och säker. Dammsäkerheten måste prioriteras framför intresset att dämpa flöden för att minska översvämningsproblemen.

### **Kostnader för skador**

Konsekvenserna av om ett dammbrott skulle inträffa skiljer sig från damm till damm och beror bl.a. på magasinets storlek, dammens höjd, typ av damm och förhållandena nedströms. Vid vissa dammar handlar det om katastrofala konsekvenser med förlust av många människoliv och mycket stora skador på infrastrukturen längs en hel älvdal medan det vid andra dammar handlar om endast obetydliga konsekvenser.

I dagsläget finns inte underlag för att göra en bedömning av om en klimatförändring kommer att leda till ökad frekvens av dammbrott. Det går således inte att bedöma om en klimatförändring kommer att leda till ökade kostnader för skador till följd av dammbrott. Riskbilden kan dock sägas ha förändrats något genom den osäkerhet i dimensioneringsunderlaget som klimatfrågan tillfört.

### **Anpassningsåtgärder samt kostnader för dessa**

Dammsäkerhet handlar om komplexa system och stora investeringar. För att kunna vidta rätt åtgärder som verkligen höjer dammsäkerheten krävs att man har tillräcklig kunskap om vad man ska anpassa sig till.

#### *Strategi för anpassning*

I nuläget finns inte tillräckligt underlag för att kunna uppskatta om och i så fall hur dammarna behöver anpassas med anledning av en klimatförändring. Däremot vet vi med säkerhet att farhågorna om ett förändrat klimat har skapat ytterligare osäkerheter som motive-

rar fortsatta studier av effekterna på dimensionerande flöden och ökade säkerhetsmarginaler vid dimensioneringsarbetet.

Mot bakgrund av bl.a. de osäkerheter som klimatfrågan tillför bör beräkningsförutsättningarna ses över regelbundet. Jämförelser mellan inträffade flödessituationer och beräknade dimensionerande flöden bör utföras fortlöpande. Systemets känslighet för klimatförändringar bör analyseras genom utnyttjande av klimatscenarier. Nya förutsättningar kan leda till att dimensioneringsberäkningarna behöver revideras.

Osäkerheter kring det framtida klimatet får inte hindra att nödvändiga dammsäkerhetshöjande åtgärder vidtas. På grund av dessa osäkerheter bör dessutom flexibilitet och marginaler skapas där så är lämpligt.

Sedan Flödeskommitténs riktlinjer gavs ut görs fortlöpande jämförelser mellan inträffade klimathändelser och beräknade flöden enligt riktlinjerna. Den känslighetsanalys av Flödeskommitténs riktlinjer i ett framtida förändrat klimat som genomförts kommer att följas upp av fler forskningsstudier. Genom uppföljningar av inträffade klimathändelser, fortsatt stöd till och medverkan i forskning och utveckling och fortsatta känslighetsanalyser följs frågan bl.a. inom Flödeskonferensens ram av Svensk Energi, Svemin, Svenska Kraftnät och SMHI och eventuella anpassningsåtgärder kan vidtas om/när man identifierar ett sådant behov. Anpassningsåtgärder kan innebära såväl ombyggnadsåtgärder på dammägarnas initiativ som revidering av riktlinjerna. Genom denna strategi minskar risken för att överraskas av effekter av en klimatförändring och man ökar successivt kunskapen för att kunna vidta rätt åtgärder.

### *Kostnader för anpassning*

Hittills gjorda analyser visar inte om en klimatförändring generellt kommer att öka eller minska de dimensionerande flödena för dammar. Eftersom det med den kunskap som finns i nuläget inte går att säga om och i så fall hur dammarna behöver anpassas till ett förändrat klimat går det inte heller att uppskatta kostnaderna för anpassningsåtgärder. Däremot kan man redan idag säga att man får ökade kostnader för att fortlöpande följa frågan till exempel genom utveckling av beräkningsmetoder och ytterligare beräkningar för att studera systemets känslighet för klimatförändringar.

Det råder stor osäkerhet om hur de dimensionerande flödena enligt Flödeskommitténs riktlinjer kan komma att förändras i ett förändrat klimat. Det kan dock inte uteslutas att kostnader för att anpassa dammarna till en förändring kan komma att bli av samma storleksordning som kostnaderna för de åtgärder som nu genomförs baserat på ett oförändrat klimat. Ställt i relation till det normala underhållsbehovet bedöms inte kostnader för anpassning till klimatfrågan få dominerande betydelse.

#### *Pågående åtgärder för att minska dammarnas sårbarhet i dagens klimat*

Genom de åtgärder som pågår för att minska dammarnas sårbarhet i dagens klimat fås totalt sett en minskad sårbarhet även i ett förändrat klimat.

Förutom den pågående anpassningen av dammar till Flödeskommitténs riktlinjer och andra uppgraderingar kan t.ex. nämnas den utveckling av samordnad beredskap för dammbrott som pågår i de stora kraftverksälvarna samt bildandet av Svenskt vattenkraftcentrum (SVC) En mera utförlig beskrivning av dammsäkerhetsarbetet i Sverige idag lämnas i Svenska Kraftnäts rapport (2007); Dammsäkerhetsutvecklingen i Sverige (bilaga 1).

År 2005 avslutades ett pilotprojekt för utveckling av samordnad beredskapsplanering för dammbrott som bedrivits för Ljusnan. I projektet har ett gemensamt planeringsunderlag tagits fram med GIS-skikt, kartor och tabeller som visar flodvågsutbredningen av dammbrott längs älven. Genom detta fås en bild av vilka konsekvenser som skulle kunna uppstå vid dammbrott i de olika dammarna i älven. En larmplan har också tagits fram som beskriver vilka aktörer som ska larmas i olika situationer. Vidare har ett exempel på informationsbroschyr för kommuninvånarna längs älven utarbetats. Men det kanske allra viktigaste resultatet av projektet är de berörda aktörernas beredskapsplanering och den samverkan som utvecklats mellan aktörerna, främst dammägarna, de kommunala räddningstjänsterna och länsstyrelserna. Med Ljusnan som förebild är ambitionen att beredskapsplanering för dammbrott ska utvecklas i alla de stora kraftverksälvarna och i dagsläget har arbetet med detta påbörjats i Luleälven, Ljungan, Dalälven och Göta älv.

En av de viktigaste faktorerna för att säkerställa hög dammsäkerhet är att vi lyckas upprätthålla god kompetens inom området i landet. Efter vattenkraftens utbyggnadsepok, som kulminerade på 1960-talet, har såväl grundutbildning som forskning inom området stadigt minskat vid våra tekniska högskolor. På initiativ av kraftindustrin, Svenska Kraftnät, Statens energimyndighet och några högskolor bildades därför Svenskt Vattenkraftcentrum (SVC) år 2005. Syftet är att bidra till kunskaps- och kompetensförsörjningen inom dammsäkerhetsområdet genom utveckling av högskoleutbildnings- och forskningsmiljö. Att säkerställa kompetensförsörjningen i landet är troligtvis en av de största utmaningarna när det gäller dammsäkerhet och förutom satsningen på SVC krävs bland annat att dammägarna kontinuerligt nyanställer och erbjuder intressanta arbetstillfällen inom dammsäkerhetsområdet. Även när det gäller anpassning av dammar till ett förändrat klimat är kompetensfrågan viktig. Det krävs hög kompetens hos såväl dammägare som hos övriga aktörer, såsom konsulter, domstolar och myndigheter för att kunna bedöma behovet av anpassning och säkerställa att eventuella anpassningsåtgärder görs på ett insiktsfullt sätt.

## Slutsatser

Extrema flöden är den helt dominerande klimatfaktorn för dammsäkerhet. För närvarande pågår en anpassning av dammarna enligt kraven i Flödeskommitténs riktlinjer. Denna anpassning avser extrema flöden under dagens klimatförhållanden och har ingen direkt koppling till frågan om en klimatförändring.

### *Konsekvenser av klimatförändringar*

Hittills gjorda analyser ger inget entydigt besked om klimatförändringen kommer att öka eller minska dimensionerande flöden för klass I dammar. Beroende på hur ändringar i dimensionerande nederbördssekvens och dimensionerande snötäcke samspelar kan dimensionerande flöden både öka och minska beroende på plats och val av scenarier. Det är därför svårt att dra generella slutsatser om hur de dimensionerande flödena påverkas av en klimatförändring. En generell slutsats är dock att klimatfrågan tillför en extra osäkerhet som behöver beaktas vid den slutliga dimensioneringen.

Mot bakgrund av bl.a. de osäkerheter som klimatfrågan tillför bör beräkningsförutsättningarna ses över regelbundet. Jämförelser mellan inträffade flödessituationer och beräknade dimensionerande flöden bör utföras fortlöpande. Systemets känslighet för klimatförändringar bör analyseras genom utnyttjande av klimatscenarier. Nya förutsättningar kan leda till att dimensioneringsberäkningarna behöver revideras. Osäkerheter kring det framtida klimatet får inte hindra att nödvändiga dammsäkerhetshöjande åtgärder vidtas. På grund av dessa osäkerheter bör dessutom flexibilitet och marginaler skapas där så är lämpligt.

#### *Kostnader för skador*

Kostnaderna för en stor dammolycka kan bli mycket stora genom förlust av liv och egendom, skadad infrastruktur och förlorad elkraftproduktion.

Det går dock i dagsläget inte att bedöma om en klimatförändring kommer att leda till ökade kostnader för skador till följd av dammbrott.

#### *Anpassningsåtgärder samt kostnader för dessa*

I nuläget vet vi inte tillräckligt mycket om klimatförändringarna och dess samspel med vattenregleringar i framtiden för att kunna uppskatta om och i så fall hur dammarna behöver anpassas med anledning av en klimatförändring. Kraft- och gruvindustrins strategi för hantering av klimatfrågan vid flödesdimensionering är att fortlöpande bevaka frågan och att skapa flexibilitet och marginaler där så är lämpligt samtidigt som man fortsätter med det pågående arbetet med anpassning till Flödeskommitténs riktlinjer. Genom uppföljningar av inträffade klimathändelser, fortsatt stöd till och medverkan i forskning och utveckling inom området samt fortsatta känslighetsanalyser följs frågan av dammägare inom kraft- och gruvindustrin, Svenska Kraftnät och SMHI, bl.a. inom Flödeskonferensens ram, och eventuella anpassningsåtgärder kan vidtas om/när man identifierar ett sådant behov. Genom denna strategi minskar risken för att överraskas av effekter av en klimatförändring och man ökar successivt kunskapen för att kunna vidta rätt åtgärder.

Det råder stor osäkerhet om hur de dimensionerande flödena enligt Flödeskommitténs riktlinjer kan komma att förändras i ett förändrat klimat. Med den kunskap som finns i nuläget går det inte att säga om och i så fall hur dammarna behöver anpassas till ett förändrat klimat. Redan idag kan man säga att man får ökade kostnader för att fortlöpande följa frågan till exempel genom ytterligare beräkningar för att studera systemets känslighet för klimatförändringar. Det kan inte uteslutas att kostnader för att anpassa dammarna till en klimatförändring kan komma att bli av samma storleksordning som kostnaderna för de åtgärder som nu genomförs baserat på ett oförändrat klimat. Ställt i relation till det normala underhållsbehovet bedöms dock inte kostnader för anpassning till klimatfrågan få någon dominerande betydelse.

### Bilagor:

1. Svenska Kraftnät (2007). Dammsäkerhetsutvecklingen i Sverige. En sammanställning baserad bl.a. på dammägarnas årsrapportering till länsstyrelserna om dammsäkerhet årsskiftena 2004/2005 och 2005/2006. Dnr 393-2006-BE90.

### Referenser

- [1] SMHI, 1994, Svenskt dammregister, södra Sverige. SMHI rapporter Hydrologi, nr 55. Norrköping.
- [2] SMHI, 1995, Svenskt dammregister, norra Sverige. SMHI rapporter Hydrologi, nr 56. Norrköping.
- [3] Flödeskommittén (1990). Riktlinjer för bestämning av dimensionerande flöden för dammanläggningar – Slutrapport från Flödeskommittén. Statens vattenfallsverk, Svenska Kraftverksföreningen, Sveriges Meteorologiska och Hydrologiska Institut.
- [4] Andréasson, J., Gardelin, M., Hellström, S.-S. och Bergström, S. (2007). Känslighetsanalys av Flödeskommitténs riktlinjer i ett framtida förändrat klimat, andra upplagan, kompletterad med analyser för Umeälven. Elforsk rapport 07:15.

- [5] Carlsson, B., Bergström, S., Andréasson, J. och Hellström, S.-S. (2006). Framtidens översvämningsrisker. SMHI, Reports Hydrology, No. 19, Norrköping.
- [6] Svensk Energi, 2002, RIDAS – Kraftföretagens riktlinjer för dammsäkerhet. Reviderad 2002.
- [7] Svenska Kraftnät, 2007, Dammsäkerhetsutvecklingen i Sverige. En sammanställning baserad bl.a. på dammägarnas årsrapportering till länsstyrelserna om dammsäkerhet årskiftena 2004/2005 och 2005/2006. Dnr 393-2006-BE90.



# Höga flöden i Umeälven i ett framtida förändrat klimat

– rapport till Elforsk och Klimat- och  
sårbarhetsutredningen

SMHI  
Sten Bergström, Marie Gardelin, Judith Olofsson,  
Johan Andréasson

Underlagsrapport utarbetad för Klimat- och sårbarhetsutredningen,  
2007-05-22



# Innehåll

<b>Inledning .....</b>	<b>5</b>
Umeälven som testområde .....	5
Metodik.....	6
Resultat .....	9
Diskussion .....	11
Referenser.....	12



## Inledning

Under arbete med underlag till Klimat- och sårbarhetsutredningen har frågeställningen om hur ett förändrat klimat kan komma att påverka risken för höga flöden i en större reglerad älv visat sig svår att besvara. Av den anledningen har SMHI fått två uppdrag, ett från Elforsk (Elforsk projekt nr 1875) och ett från Klimat- och sårbarhetsutredningen. Uppdraget från Elforsk bestod i att genomföra en beräkning av ett dimensionerande klass-1 flöde enligt Flödeskommitténs riktlinjer för dimensionerande flöden för dammanläggningar, dels för dagens klimat och dels för ett förändrat klimat enligt den metodik som utvecklats inom projektet "Känslighetsanalys av Flödeskommitténs riktlinjer i ett framtida förändrat klimat" (Andréasson et al., 2006). Från Klimat- och sårbarhetsutredningen har SMHI fått i uppdrag att närmare studera hur ett 100-års flöde kan komma att förändras om klimatet ändras i en kraftigt reglerad älv.

## Umeälven som testområde

Av praktiska skäl valdes Umeälven ut för båda dessa studier (Fig. 1). Det är en stor älv med stora regleringsmagasin som framgår av den schematiska bilden från Vattenregleringsföretagen (Fig. 2). I figur 3 visas hur regleringarna påverkat de högsta flödena i Stornorrfors längst ner i älven i historisk tid fram till och med 1998. Då ingår även vattenflöden från den oreglerade Vindelälven. Bilden illustrerar svårigheterna att bestämma ett 100-års flöde i en reglerad älv, med gradvis ökande påverkan av regleringar. För Umeälven blir de högsta flödena oftast lägre på grund av regleringen, men dock inte alltid. Höstflöden kan till och med förstärkas, något som var fallet 1981. Denna problematik har diskuterats ingående av Bergström (1999).

Beräkningarna i de nu genomförda uppdragen från Elforsk och Klimat- och sårbarhetsutredningen koncentrerades till Pengfors alldeles ovanför sammanflödet med den oreglerade Vindelälven. På så sätt gavs möjlighet att studera ett hårt reglerat system.

**Figur 1 Umeälvens avrinningsområde uppströms Pengfors**

## Metodik

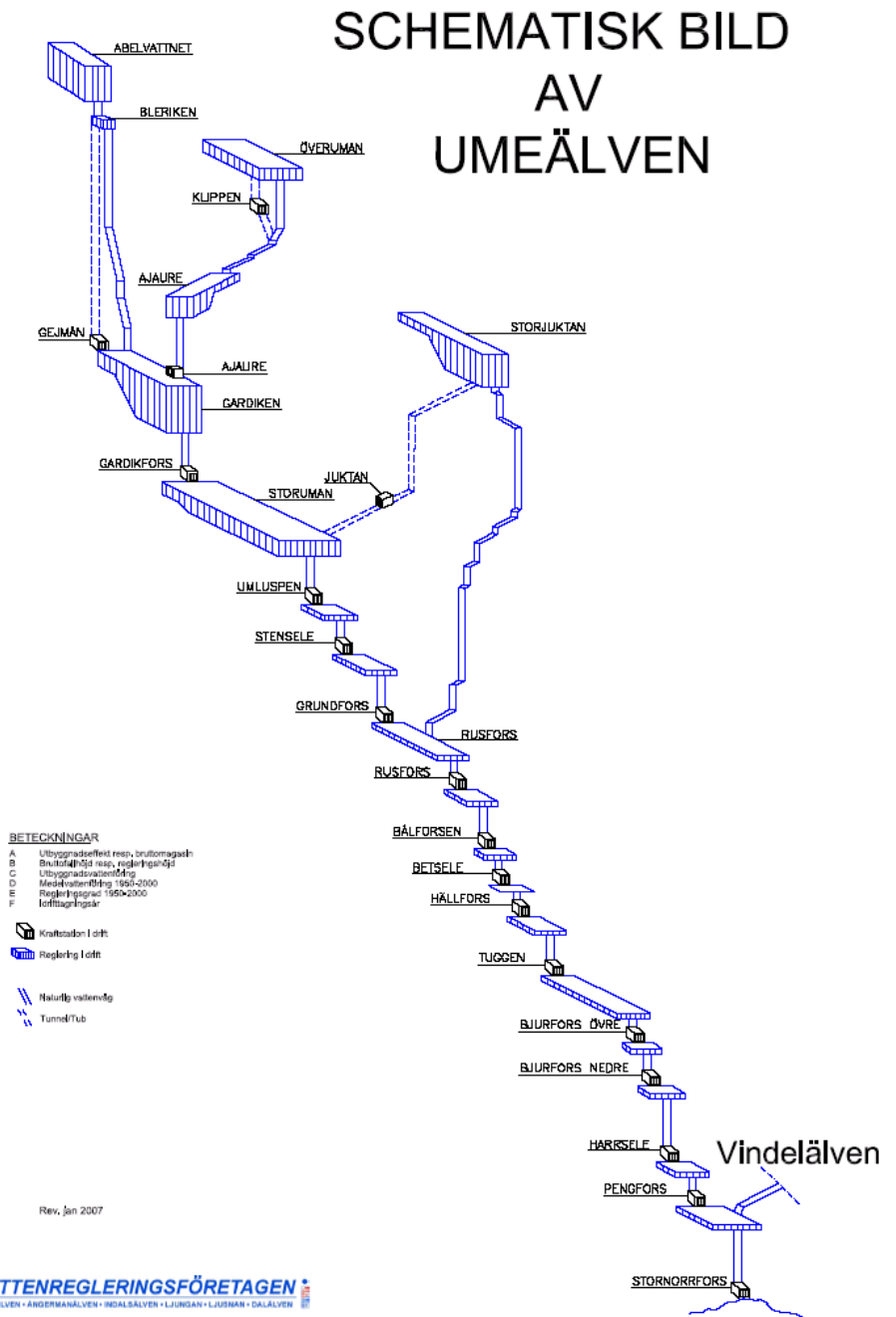
I beräkningarna användes en befintlig hydrologisk prognosmodell som är anpassad till areella meteorologiska indata. Klass-1 flödet beräknades enligt Flödeskommittén riktlinjer och den metod som utvecklats av Andréasson et al. (2006). För scenarieberäkningarna användes resultat från Rossby Centres regionala klimatmodell, RCAO, med en horisontell upplösning på cirka 49 km. För att driva RCAO har randvärden från två globala modeller, HadAM3H från Hadley Centre i England och ECHAM4/OPYC3 från Max-Planck Institutet för Meteorologi i Hamburg använts.

I beräkningarna representerar tidsperioden 1961–1990 dagens klimat (referens) och det framtida klimatet avser tidsperioden 2071–2100 (scenario). Liksom i det tidigare arbetet av Andréasson et al. (2006) användes två scenarier över framtidens utsläpp av växthusgaser, A2 respektive B2. Detta ger sammantaget fyra

scenarier, som i den fortsatta texten benämns RCAO-H/A2 (Modellen från Hadley Centre, utsläpp A2), RCAO-H/B2, RCAO-E/A2 (ECHAM-modellen, utsläpp A2) respektive RCAO-E/B2.

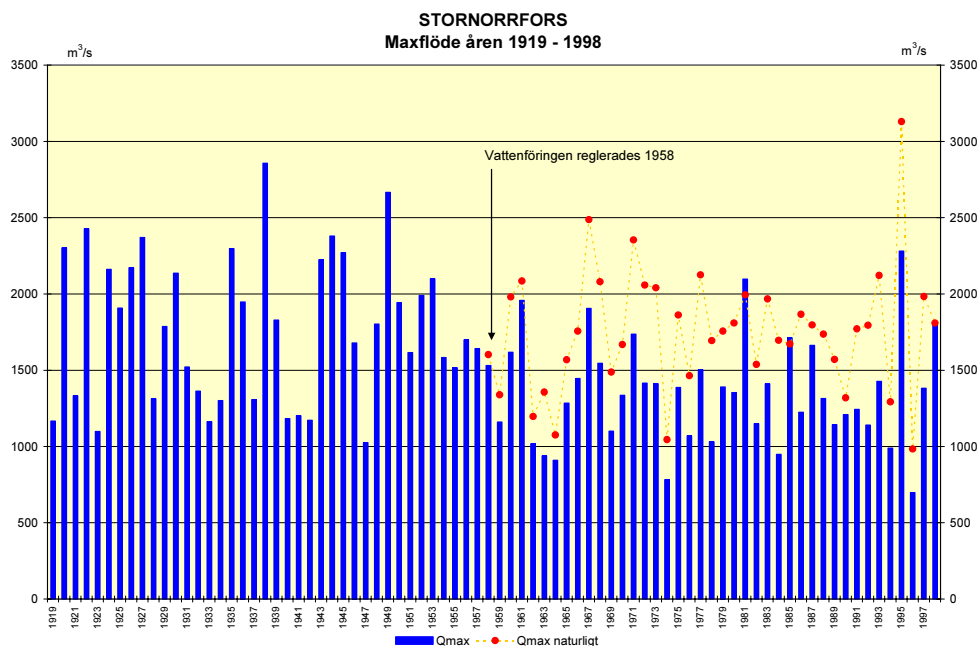
För beräkning av 100-års flödet användes en regleringsstrategi, som förenklat beskriver de genomsnittliga regleringsförhållandena under perioden 1961–90. På så sätt beräknades först en trettio-årsserie av reglerade flöden (1961–1990) i dagens klimat och med dagens utbyggnad av älven. Därefter gjordes motsvarande beräkning för flöden i ett förändrat klimat (2071–2100) enligt de fyra klimatscenarier som beskrevs ovan. I denna beräkning gjordes en justering av regleringsstrategierna, som innebär att datumet för starten av påfyllnadsfasen tidigareläggs 4–6 veckor för de viktigaste magasinen. Genom denna justering undviks de mest orealistiska förhållandena, som annars skulle inträffa i scenarieberäkningarna.

Figur 2 Schematisk bild av Umeälven med dess regleringsmagasin och kraftverk. (Publiceras med tillstånd från Vattenregleringsföretagen)





**Figur 3** Sammanställning av maxflöden i Stornorrfors längst ner i Umeälven nedströms sammanflödet med Vindelälven för perioden 1919–1998. Röda prickar visar beräknade rekonstruktioner av de toppflöden, som skulle ha inträffat om älven varit oreglerad. (Publiceras med tillstånd från Vattenregleringsföretagen)



Slutligen genomfördes frekvensanalyser av de beräknade trettioårsserierna för att ta fram 100-års flödet för dagens respektive framtidens klimat. Därvid användes tre olika frekvensfördelningsfunktioner; Gumbel, Lognormal 2 och Lognormal 3.

## Resultat

I tabell 1 och tabell 2 redovisas resultatet av beräkningarna av snömagasinet (Gumbelfördelningen) och det dimensionerande klass-1 flödet, tillsammans med de tidigare beräkningarna från Andréasson et al. (2006). Beräkningarna av 100-årsflödet för Pengfors redovisas i tabell 3. Där redovisas även de högsta beräknade flödena i respektive 30-års period samt den månad då de tre högsta beräknade värdena i denna period inträffat.

Som framgår av tabell 1 så minskar det beräknade 30-års snötäcket enligt alla fyra klimatscenerierna. Tabell 2 visar att det dimensionerande klass-1 flödet i stort sett förblir oförändrat enligt beräkningar baserade på HadAM3H medan det sker en ökning på närmare 20 % om beräkningarna baseras på den globala ECHAM4/OPYC3-modellen.

Beträffande 100-års flöden, som redovisas i tabell 3, så ger beräkningarna som baseras på den globala ECHAM4/OPYC3-modellen en ökning av flödet med 14–35 % i framtidens klimat. Det högsta värdet i 30-års perioden minskar något för beräkningarna enligt HadAM3H men trots det ger frekvensanalysen en mindre ökning av 100-års flödet med 0–7 %.

**Tabell 1 Förändring i det beräknade dimensionerande snötäcket (30 års återkomsttid, Gumbelfördelningen) enligt fyra klimatscenerier (%)**

	<i>Suorva</i>	<i>Torpshammar</i>	<i>Trängslet</i>	<i>Vänern</i>	<i>Torsebro</i>	<b>Umeälven Pengfors</b>
RCAO-H/A2	- 41	- 11	0	- 42	- 70	- 13
RCAO-H/B2	- 33	- 3	- 1	- 34	- 54	- 10
RCAO-E/A2	- 11	- 35	- 21	- 56	-76	- 8
RCAO-E/B2	- 14	- 23	- 7	- 45	- 68	- 8

**Tabell 2 Förändring i de beräknade dimensionerande klass-1 flödena (%) enligt fyra klimatscenerier**

	<i>Suorva</i>	<i>Torpshammar</i>	<i>Trängslet</i>	<i>Vänern</i>	<i>Torsebro</i>	<b>Umeälven Pengfors</b>
RCAO-H/A2	- 9	- 3	+ 14	+ 16	- 8	+ 1
RCAO-H/B2	- 6	0	+ 9	- 5	- 19	+ 1
RCAO-E/A2	+ 20	- 3	- 14	+ 13	-10	+ 19
RCAO-E/B2	+ 16	- 1	+ 1	+ 6	- 22	+ 17

**Tabell 3** Beräknat 100-årsflöde för Pengfors i Umeälven för dagens klimat och enligt fyra klimatscenarier (m<sup>3</sup>/s respektive %) samt högsta värde och månad då de tre högsta värdena beräknats inträffa för dagens klimat och för respektive scenario. Frekvensanalysen är gjord med tre olika frekvensfördelningar

	<i>100-års värde Gumbel</i>	<i>100-års värde Logonormal 2</i>	<i>100-års värde Logonormal 3</i>	<i>Högsta värde</i>	<i>Månad för de tre högsta värdena i resp. serie</i>
Dagens klimat	<b>908</b>	<b>854</b>	<b>894</b>	<b>847</b>	aug, aug, juli
RCAO-H/A2	<b>947 (+ 4%)</b>	<b>911 (+ 7%)</b>	<b>952 (+ 7%)</b>	<b>809</b>	nov, nov, aug
RCAO-H/B2	<b>907 (± 0%)</b>	<b>866 (+ 1%)</b>	<b>903 (+ 1%)</b>	<b>803</b>	aug, nov, nov
RCAO-E/A2	<b>1209 (+ 33%)</b>	<b>1152 (+35%)</b>	<b>1201 (+ 34%)</b>	<b>1038</b>	apr, okt, okt
RCAO-E/B2	<b>1034 (+ 14%)</b>	<b>993 (+ 16%)</b>	<b>1040 (+ 16%)</b>	<b>896</b>	okt, nov, okt

## Diskussion

De nu redovisade uppdragen har slutförts på mycket kort tid och med utnyttjande av befintliga hydrologiska modeller och med en schematisk beskrivning av vattenhushållningen. Detta gör att beräkningsresultaten bör tolkas med försiktighet. En speciell svårighet vid beräkning av 100-års flödet har varit att justera regleringsstrategin, så att den skall var tänkbar för förhållanden i ett framtida klimat. Det faktum att 100-års flödena i de flesta fall beräknas inträffa under andra årstider i framtidens klimat än vad som är fallet idag, ger anledning till försiktighet i tolkningen. En ny hydrologisk regim får troligen stor påverkan på regleringsstrategin. Justeringen av denna strategi har hittills bara kunnat göras för förhållandena inför vårfloden.

Det är också uppenbart att det kan var helt andra faktorer som styr vattenhushållningen i framtiden, såsom marknadens utveckling, samspelet med andra kraftslag och nya regelverk. Fortsättningsvis bör därför dessa studier fördjupas och då i ett närmare samarbete med dem som ansvarar för regleringarna än som varit möjligt under den korta tid som stått till förfogande för detta uppdrag.

De beräkningar av klass-1 flöden som genomförts för Umeälven uppvisar likheter med tidigare beräkningar för Suorva såtillvida att

valet av global klimatmodell har mycket stor betydelse. Det medför att nya resultat från klimatforskningen kan leda till stora förändringar.

Beräkningarna visar att den stora ökningen av de framtida nederbördsvärden i fjälltrakterna, som erhålles om de regionala klimatberäkningarna baseras på den globala ECHAM4/OPYC3-modellen, också påverkar flödena längre ner i Umeälven. Speciellt stor blir effekten om A2-scenariet antas gälla. Det är dock svårt att avgöra om förhållanden i Umeälven gäller generellt för fler reglerade älvar. För att belysa detta krävs specifika beräkningar för respektive vattendrag och dess reglering.

## Referenser

- Andréasson, J., Gardelin, M., Hellström, S.-S. och Bergström, S. (2006). *Känslighetsanalys av Flödeskommitténs riktlinjer i ett framtida förändrat klimat*. Elforsk rapport 06:80. Stockholm.
- Bergström, S. (1999) *Höga vattenflöden i reglerade älvar*. SMHI Fakta nr 1, Norrköping.