



# LIVSCYKELANALYS

VATTENFALLS EL I SVERIGE

## I N N E H Ä L L

Förord	1
Elproduktionssystem	2
Livscykelanalys	4
Vattenfalls LCA-arbete	6
Vattenkraft	9
Kärnkraft	11
Övriga kraftslag	13
Andra kraftslag utanför Vattenfalls produktion	14
Elnätet	17
Vår vardagliga miljöpåverkan	19
Resultat - Vattenfalls el i Sverige	20
Resultat - per kraftslag och levererad kilowattimme	22
Biologisk mångfald	25
Miljörisker	26
Praktisk nytta	27
Referenser	28

Använd gärna materialet, men ange källan.

**För ytterligare information kontakta**

Birgit Bodlund

e-post: [birgit.bodlund@vattenfall.com](mailto:birgit.bodlund@vattenfall.com)

Lasse Kyläkorpi

e-post: [lasse.kylakorpi@vattenfall.com](mailto:lasse.kylakorpi@vattenfall.com)

Marianne Windell (ang. elöverföring)

e-post: [marianne.windell@vattenfall.com](mailto:marianne.windell@vattenfall.com)

Caroline Setterwall

e-post: [caroline.setterwall@swedpower.com](mailto:caroline.setterwall@swedpower.com)

Telefon: 08 739 50 00

[www.vattenfall.se](http://www.vattenfall.se)

Produktion: Vattenfall Business Service Nordic AB, 2005

Foto: Hans Blomberg, Hallandsbild, Tommy Hvitfeldt, Sven-Erik Nord och Sofia Sabel

Tryck: EO Print, Stockholm 2004

Vårt moderna samhälle är beroende av elektricitet. På ett självklart men ändå anonymt sätt finns elen alltid tillgänglig.

Vattenfall vill föra en öppen dialog om elens miljöegenskaper och om företagets miljöarbete. Vi har därför analyserat produktion och överföring av el i ett livscykel-perspektiv. Med våra livscykelanalyser kan vi bistå kunder och andra intressenter med tydlig och korrekt information om elektricitetens miljöprestanda.

Livscykelanalyserna (LCA) har gjorts på alla de olika elproduktionstekniker som Vattenfall använder idag samt på överföringen av el till användaren. Vi har även studerat system som vi inte själva äger, men som producerar el som vi köper och säljer vidare. Analysen omfattar även elproduktionstekniker som kan bli intressanta i framtiden. Det är ett grundligt arbete som utförts med verksamheten i Sverige som bas och som så långt som möjligt utgår från verkliga anläggningar. Vi har även arbetat med att beskriva potentiell miljöbelastning i samband med möjliga olyckor och driftstörningar.

Livscykelanalyserna ger detaljerad information om resursförbrukning, utsläpp och avfall som de olika sätten att producera el medför. Det gör det möjligt att jämföra miljöegenskaper hos olika elproduktionstekniker. Vattenfall gör ingen värdering av vad som är bra eller dåligt för våra kunder. Kunderna gör, baserat på våra livscykelanalyser, sina egna värderingar av produkten.

Det arbete som lagts ned på att ta fram livscykelanalyserna resulterar i en bättre information till våra kunder. Arbetet har också varit till nytta för vårt eget miljöarbete. Livscykelanalyserna tydliggör var i produktionsprocessen förbättringsinsatser gör störst nytta.

Livscykelanalyserna har legat till grund för de miljövarudeklarationer (EPD) som Vattenfall tagit fram för elenergi producerad med vår vattenkraft, kärnkraft och vindkraft. Miljövarudeklarationen är en certifierad deklARATION som granskas av en tredje part enligt ett regelverk som fastlagts av Miljöstyrningsrådet och den redovisar bland annat utsläpp till luft, mark och vatten.

Vi är glada att Vattenfall kunnat medverka till att vidareutveckla och förbättra miljöinformationen om el och hoppas att detta ska vara till nytta för våra kunder.

**Den 1 januari 2005**



**Hans von Uthmann**



**Alf Lindfors**



**Göran Lundgren**

# Elproduktionssystem

Anläggningarna som producerar elen har olika egenskaper och påverkar miljön på olika sätt. Elen måste produceras samtidigt som den används, då den inte kan lagras. Därför måste det alltid finnas produktionsanläggningar i drift, vilket ställer särskilda krav på produktionssystemet.

Förutsättningarna för elproduktion är olika i olika länder och elproduktionssystem måste anpassas till lokala förutsättningar.

## Leveransförmåga

Eftersom elbehovet varierar mellan sommar och vinter, samt mellan olika tider på dygnet, behövs elproduktionsanläggningar med olika egenskaper. Det behövs anläggningar som levererar baskraft under årets alla timmar och anläggningar vars produktion enkelt kan ändras efter förändringar i elanvändningen, så kallad reglerkraft. Dessutom behövs anläggningar för reservkraft som kan sättas igång vid extrema elbehov kalla vinterdagar eller om det inträffar störningar i elnät eller produktionsanläggningar. Systemet kan kompletteras med det vi kallar tillfällig kraft som bara kan producera under vissa förhållanden, till exempel vindkraft.

## Olika egenskaper

All elproduktion som är baserad på bränslen kan man i någon mening bestämma över. En panna kan eldas antingen med bio- eller fossila bränslen och ger ånga till ångturbinen. Man kan också tända en gasbrännare till gasturbinen eller sätta igång kärnreaktionen som ger värme som värmer vatten till ånga för ångturbinen. Men även här finns det olikheter. Kärnreaktionen i reaktorn startas långsamt och ändras sakta och därför fungerar kärnkraften bäst som basproduktion som går lång tid och på ungefär samma nivå hela tiden. Bio-

bränslen används ofta i kraftvärmeverk där man samtidigt producerar el och värme. Kraftvärmeverk är byggda så att man bara producerar el när man behöver leverera värme. Fjärrvärme levereras till bostäder och lokaler, främst under den kalla delen av året, medan hetvatten och ånga behövs året runt inom somliga industrier.

Gasturbiner som är billiga att bygga används som reservkraft då behovet av el är som störst eller när någon basanläggning plötsligt får ett avbrott. De kan startas och stoppas snabbt men de kan vara dyra att driva eftersom gas och olja är jämförelsevis dyra bränslen.

Vattenkraft fungerar dels som baskraft och dels som reglerkraft, förutsatt att det finns regleringsmagasin i systemet. En fördel med vattenkraften är att man sekundsnabbt kan ändra produktionen. En nackdel är att variationerna i vattentillgång kan vara stora mellan olika år.

Det finns också produktionskällor som är beroende av det som för stunden bjuds av naturen. Vindenergin och solenergin kan omvandlas till el vid lämplig vindstyrka och solinstrålning. Båda dessa tekniker fungerar om de ingår i ett system med kraftslag vars produktionsförmåga är reglerbar, exempelvis vattenkraft.

## Utsläpp till luft och vatten

Utsläpp av olika ämnen till luft och vatten sker när man bygger, driver och river anläggningar, samt vid bränsleproduktion. De utsläpp till luft som man vanligen talar om i samband med elproduktion är kväve-, svavel- och koloxider. Kväve- och svaveloxiderna kan man oftast hålla väldigt låga med hjälp av rena bränslen eller genom olika slag av tekniska lösningar för att rena utsläp-

pen. Helt rent blir det dock inte. Att separera och ta hand om koldioxiden är ännu inte kommersiellt möjligt men forskning pågår. Utsläpp till vatten kan vara av olika slag, som oljor eller försurande ämnen. Utsläppen kan renas men det finns alltid rester kvar.

## Restprodukter

Vid förbränning bildas restprodukter, askor, som på olika sätt skall tas omhand. Aska från biobränsle kan återföras till markerna och komma till nytta i skogsbruket. En del aska från kol och gips från reningen av rökgaserna kan användas i vägar och i byggnader. En del måste deponeras på säkert sätt.

Radioaktivt avfall tas omhand på olika sätt beroende på graden av radioaktivitet. Det är förvaringen av det högaktiva avfallet som ställer störst krav på säkerhet. Sådant avfall kommer att lagras djupt i berg och lagren försluts på ett sätt som gör att det endast med mycket stor ansträngning är möjligt att komma åt avfallet.

## Resursförbrukning

Det är förenat med miljöpåverkan att borra efter olja och att bryta malm. Tillgång liksom efterfrågan varierar för olika ämnen. För en del energiomvandlingssystem kan detta vara begränsande, som till exempel för solceller. En del ämnen kan å andra sidan återanvändas och mycket av det guld och den koppar som brutits finns fortfarande kvar i teknosfären. Möjligheten till återvinning är således betydelsefull för miljöprofilen.

## Markanvändning

Olika energisystem påverkar närmiljön på olika sätt. Vattenkraft till exempel har små utsläpp till luft och en



fantastisk leveransförmåga med möjlighet till momentan effekterreglering, men påverkar stora områden genom de stora vattenmagasinen. Kraftverken hindrar vandringsfisken från att ta sig upp i älvarna. Älvfåror torr-läggs eftersom vattnet förs i tunnlar ner i turbinerna. Uppförande av vindkraftverk leder till att man inte kan bygga hus inom ett visst avstånd, däremot kan marken även fortsättningsvis användas för odling eller som betesmark.

Biobränsle kan bestå av flisade grenar och trädtoppar som samlas

ihop i samband med avverkning av sågtimmer och massaved. Skogsmarken påverkas genom att de näringsämnen som finns i grenarna förs bort vilket i förlängningen påverkar växtligheten. Om biobränslen är specialodlade som till exempel *salix* blir det en ändring av markanvändningen från jordbruk till energiskogsodling. Gruvor för brytning av uran, kol och metaller ger också ingrepp i natur och påverkar mark.

#### Risker

Förutom att kärnkraften skapar lång-

livat radioaktivt avfall är den också förknippad med risker, det vill säga kombinationen av sannolikheten och konsekvensen av en olycka. Även om sannolikheten är mycket liten har många svårt att acceptera de konsekvenser som skulle kunna bli följden. Andra energikedjor har också sina miljörisker, som exempelvis tankbåtshaverier med förstörda kuststräckor, flisbränder med utsläpp till luft vid ofullständig förbränning och dammar som rasar med översvämningar som följd.

# Livscykelanalys

På grund av elproduktionens komplexitet och teknikernas olika karaktär går det inte att ge något entydigt svar på vilket kraftslag som är bäst ur miljösynpunkt. Alla kraftslag påverkar miljön på ett eller annat sätt. Vi människor, som de individer vi är, har olika syn på vad som är bra och dåligt i detta sammanhang.

Den huvudsakliga miljöpåverkan sker inte alltid vid drift av kraftverket. För vissa kraftslag är byggfasen avgörande medan bränsleproduktionen är dominerande för andra. Därför har vi valt att beskriva kraftslagets miljöpåverkan i ett livscykelperspektiv som omfattar byggande och rivning, bränsleproduktion, drift samt hantering av restprodukter. Ambitionen är att ge korrekt information framtagen i enlighet med vedertagna metoder.

Arbetet som lagts ned på att ta fram livscykelanalyserna resulterar i en tydlig information till kunder och andra intresserade. Men arbetet är också till nytta i vårt eget miljöarbete. Livscykelanalyserna visar var i produktionsprocessen förbättringsinsatser gör den största nytta.

## Vad är en livscykelanalys?

En livscykelanalys ger omfattande information om resursåtgång och miljöpåverkan. De blir allt viktigare vid beslut som rör vår miljö. En livscykelanalys ska täcka in all verksamhet som är förbunden med en produkt från tillverkning till skrotning. Men den varken kan eller behöver beskriva alla miljökonsekvenser i detalj. Den tar inte hänsyn till ekonomin eller sociala aspekter och innehåller inte heller någon riskanalys

för miljöolycka eller någon analys av påverkan på biologisk mångfald. I en livscykelanalys redovisas endast potentiella miljöeffekter och det görs ingen skillnad på var i världen utsläppen sker.

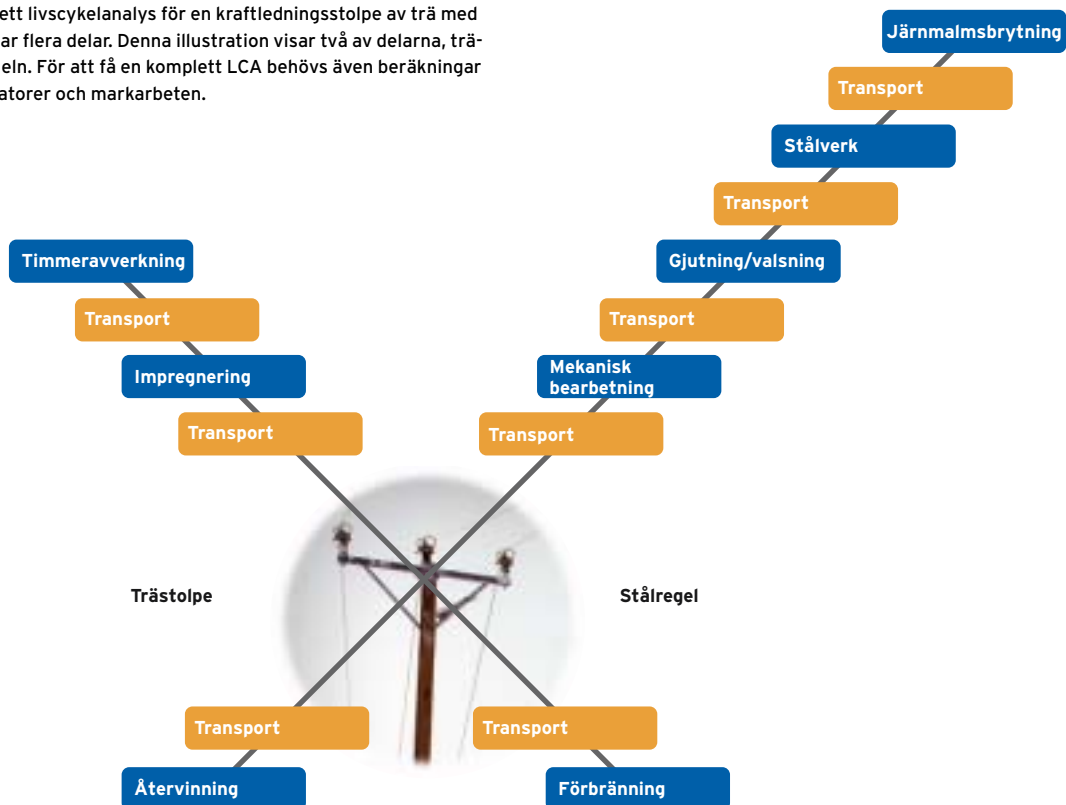
Sammanfattningsvis kan sägas, att i en livscykelanalys studeras ett avgränsat system från vaggan till graven med avseende på resursförbrukning och utsläpp.

Systemet definieras utifrån studiens målsättning och syfte. De internationella standarderna ISO 14040–42 anger riktlinjer för hur en livscykelanalys ska genomföras.

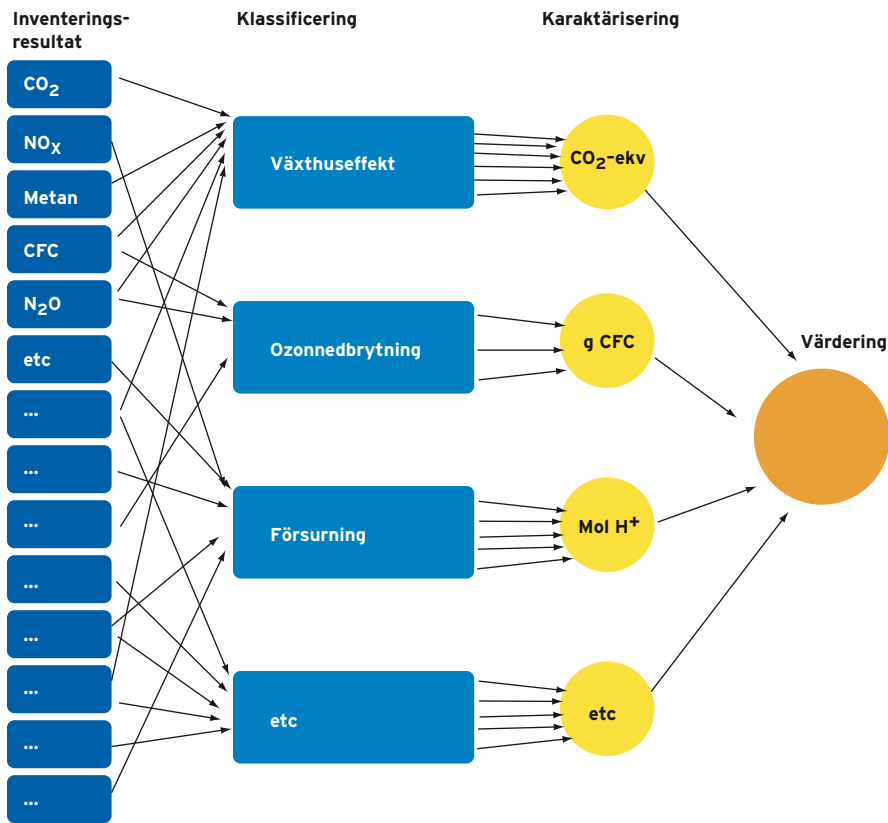
## Inventering

Bilden illustrerar schematiskt två flöden i en kraftledningsstolpes livscykel, en stolpe av trä med en regel av stål. För att få en fullständig livs-

Exempel: En komplett livscykelanalys för en kraftledningsstolpe av trä med en stålregel omfattar flera delar. Denna illustration visar två av delarna, trästolpen och stålregeln. För att få en komplett LCA behövs även beräkningar för exempelvis isolatorer och markarbeten.



### Hur bedömning av miljöpåverkan görs



En del utsläpp räknas med i flera klassificeringar då de påverkar miljön på olika sätt.

cykelanalys behövs även beräkningar för isolatorer, markarbeten och så vidare. I varje steg förbrukas resurser exempelvis i form av el, bränslen och kemikalier, samtidigt som det sker utsläpp av olika slag. I livscykelanalysens inventeringssteg identifieras alla relevanta flöden med tillhörande förbrukning av resurser och utsläpp. Alla dessa faktorer summeras så att man till slut får en totalsiffra för exempelvis utsläpp av koldioxid för en kraftledningsstolpe under hela dess livscykel.

#### Utsläpp

Olika utsläpp påverkar miljön på olika sätt. Koldioxid och metan ger i olika utsträckning upphov till växthuseffekt, medan kväveoxider bidrar till både övergödning och försurning. För att få livscykelns totala bidrag till

en viss miljöeffekt summeras de olika utsläppen med hjälp av allmänt vedertagna viktningsskallor. En del utsläpp kan orsaka flera miljöeffekter och räknas i så fall in i samtliga.

Sista steget i livscykelanalysen är värderingen, där bidragen till de olika miljöeffekterna viktas ihop till ett värde. Det finns olika metoder som alla bygger på värderingar om de olika miljöeffekternas inverkan i förhållande till varandra.

I denna sammanställning har vi valt att endast redovisa resultaten från inventeringssteget. Resultaten är alltså inte viktade eller värderade.

#### Certifierad miljövarudeklaration

Livscykelanalyser ligger till grund för de miljövarudeklarationer (EPD, Environmental Product Declaration) som Vattenfall tagit fram för elenergi

producerad i Lule och Ume älv, Forsmarks och Ringhals kärnkraftverk och vår vindkraft i Sverige. Inom vår värmeproduktion har vi tagit fram en miljövarudeklaration för avfallsförbränningen i Uppsalas block 5.

I en certifierad miljövarudeklaration för el- och värmeproduktion krävs det förutom livscykelanalys även en beskrivning av risker, påverkan på biologisk mångfald och information kring radiologi. Den görs i enlighet med produktspecifika regler för el och värme som tagits fram i samverkan med intressenter på europainivå.

I Sverige förvaltas systemet för certifierade miljövarudeklarationer av Miljöstyrningsrådet som ägs av staten tillsammans med industrin. Det är ett internationellt system för att hantera information om produkters och tjänsters miljöprestanda. Syftet är att informationen ska vara kvalitetssäkrad, adderbar och jämförbar. Informationen granskas av en ackrediterad oberoende part före certifiering.

EPD följer principerna för så kallade Typ III-deklarationer och är en tillämpning av den internationella standarden ISO 14025.

Informationen ska kunna användas vid exempelvis upphandling och inköp av råvaror, eller av privatkonsumenter i samband med inköp av exempelvis kapitalvaror.

Certifierade miljövarudeklarationer publiceras på Internet, vilket möjliggör en stor spridning av informationen runt om i världen. Allt eftersom EPD-systemet utvecklats har det rönt ett allt större intresse bland företag och organisationer och tillämpas idag internationellt.

En EPD innehåller inga krav på miljöprestanda och det finns inga kriterier som ska uppfyllas. Däremot ska en ekoprofil redovisas, som innehåller uppgifter om exempelvis resursförbrukning, utsläpp och avfall.

# Vattenfalls LCA-arbete

Vattenfall Norden beslöt 1993 att göra livscykelanalyser av elproduktionen. Målet var att öka kunskapen om den egna verksamhetens miljöpåverkan. Sedan dess har Vattenfall kontinuerligt arbetat med livscykelanalyser, dels i form av underlag för certifierade miljövarudeklarationer, dels med syfte att öka kunskapen och förståelsen inför interna beslut. Det breda kunnande och de olika kompetenser som finns representerade inom Vattenfall har bidragit till framgången, liksom kontakterna med universitet, högskolor och institut både inom och utom Sverige.

## Syfte

Syftet med denna sammanställning är att ge en inblick i vad en livscykelanalys för elproduktion innebär och redogöra för hur elproduktionssystemet är uppbyggt. Målsättningen är att göra detta utifrån ett brett perspektiv och på ett öppet sätt.

## Datakällor

Data som presenteras här kommer dels från specifik information från livscykelanalyser gjorda inom Vattenfall Norden, dels från offentliga databaser.

- Data för vattenkraft, kärnkraft och vindkraft har hämtats från de

analyser som kontinuerligt görs som underlag för Vattenfalls EPDer.

- Data för kraftslag som naturgaskombi och kraftvärme är baserade på Vattenfalls analyser från mitten av nittioalet kompletterade med nyinventeringar för bränsleproduktion och drift. Dessa är uppdaterade så att de följer de nya reglerna för allokering (fördelning) av miljöpåverkan mellan de två produkterna el och värme.
- Data för reservkraft som oljekondens och gasturbiner har hämtats från Vattenfalls livscykelanalys från 1996. Dock har fakta rörande drift, bränsleframställning, materialtillverkning och transporter uppdaterats. Indata är specifika för respektive anläggning och de studerade anläggningarna är valda så att de ska vara representativa för Vattenfalls verksamhet i Norden.
- Data för kolkraftverk baseras på en livscykelanalys gjord inom Vattenfall (1998) för modern dansk kolkraft modifierad med nyare data för kol från den schweiziska databasen ecoinvent.
- Data för andra kraftslag som Vattenfall Norden saknar, såsom bränsleceller och solceller, har

hämtats från EU-projektet ECLIPSEs databas men har modifierats något för att motsvara nordiska förhållanden. Vattenfall var en aktiv partner i ECLIPSE projektet.

- Data för eldistribution bygger på ett samarbetsprojekt med Svenska Kraftnät och Göteborgs Energi.

## Tillvägagångssätt

Resultaten anges för produktion och leverans av 1 kWh el.

De flesta studierna följer riktlinjerna för certifierade miljövarudeklarationer och där anges också de databaser för framställning av metaller, kemikalier med mera som bör användas.

Analyserna omfattar byggande, rivning, bränsleproduktion, drift (inklusive normala driftstörningar), underhåll, reinvesteringar och hanteringen av restprodukterna från bränslet. Resursanvändning, utsläpp och avfall i de olika faserna har inventerats och miljöpåverkan beräknats för ett antal miljöeffekter. I denna sammanställning redovisas ett urval av parametrar. Urvalet motiveras av EUs elmarknadsdirektiv och praxis inom branschen.

### Våra datakällor

ECLIPSE, Databas med LCI-data för nya och kommande decentraliserade elproduktionssystem

ecoinvent v1.1, Schweizisk nationell databas för LCA

EPD för el från Lule älv 2002

EPD för el från Ume älv 2002

EPD för el från Vattenfalls svenska vindkraftverk 2003

EPD of Electricity from Forsmarks Kraftgrupp AB 2004

EPD of Electricity from Ringhals AB 2004

Underlag till Vattenfalls CSR-rapport för år 2003

Livscykelanalys elöverföring, Vattenfall intern rapport 1997

Livscykelanalys för kol, Vattenfall, intern rapport 1998

Livscykelanalys för Vattenfalls Elproduktion, 1996

Miljörapport Uppsala 2003, Vattenfall Värme Uppsala

Uppföljning av Vattenfalls mottrycksanläggning i Munksund, 2003



I arbetet med att ta fram en livscykelanalys ingår flera olika kompetenser, från företag och universitet.



För Vattenfall är det viktigt att i så stor utsträckning som möjligt samråda med människor som eventuellt berörs av vår verksamhet.



För oss är det självklart att ta reda på vad som sker i gruvorna där uran bryts. Bilden är tagen vid Vattenfalls miljörevision i Namibia.



Den biologiska mångfalden påverkas när älvfåror torrläggs och dammar anläggs. Idag bedrivs flera projekt för att värna om flora och fauna i känsliga områden.



Rennäringen har påverkats av vattenkraftutbyggnaden.



Utbyggnaden påverkar de naturliga fiskbestånden. Som kompensation odlar Vattenfall fisk för utsättning.



Underhåll är viktigt både för att säkerställa en hög leveransförmåga och så liten påverkan på miljön som möjligt.



Flera av vattenkraftstationerna är idag kulturhistoriska minnesmärken och rymmer stor del av Sveriges energihistoria.

# Vattenkraft



Vattenkraften har använts i Sverige i över 100 år och är fortfarande den viktigaste förnybara källan för elproduktion.

Vattentillgången varierar under året och sammanfaller inte med elbehovet. Därför lagras stora mängder vatten i magasin, vilket gör att vi kan använda vattenkraftverken för produktion av bas- och reglerkraft. Magasinen kan bli omfattande, och regleringen kan betyda att vattenståndet i vissa fall förändras upp till 30 meter under året.

## Livscykeln

Analyserna omfattar resursförbrukning och utsläpp från byggande, reinvesteringar och drift. Rivning av dammar och kraftverk ingår inte eftersom den valda reinvesteringsmodellen medför ett utflöde av anläggningar, funktionellt likvärdiga med nybyggda vid slutet av den valda livstiden, 60 år för maskineri och 100 år för betongkonstruktioner och dammar. Detta ger en högre miljöpåverkan i utsläpp och resursförbrukning än om rivningen skulle vara inkluderad, men är ett mer rimligt antagande. Det bidrar även till att eliminera ett antal osäkerhetsfaktorer som skulle leda till spekulativa bedömningar, bland annat huruvida det vore möjligt och önskvärt att återgå till ett oreglerat flöde.

## Utbyggnad påverkar landskapet

Att bygga magasin, dammar och kraftverk innebär ett kraftigt ingrepp i landskapet även om upplag av schaktmassor och sprängsten kan anpassas till naturens topografi. Vattnet till och från kraftverket leds ofta i långa tunnlar, vilket leder till att vattenflödet i en del av älvsfåran minskar eller helt försvinner.

Variationerna i vattennivån i strandområdet påverkas och stränderna mellan högsta och lägsta vattenstånd förlorar en stor del av sin biologiska rikedom. Det påverkar i

sin tur exempelvis fisk som i huvudsak lever ute i vattenmassan men som under vissa stadier av sitt liv utnyttjar strandzonen för att bland annat söka mat. Olika fiskar påverkas i olika grad. Öringen minskar vanligen vid regleringen medan röding och sik klarar sig bättre.

Även om vattenregleringen påverkar fisket negativt, utgör de reglerade sjöarna fortfarande en stor och välutnyttjad tillgång för husbehovs- och fritidsfisket.

Nedanför regleringsmagasinen och kraftverken inverkar det minskade vattenflödet på växt- och djurliv så att strömlevande arter minskar i antal eller försvinner helt, samtidigt som växter och djur som trivs i lugnvatten ofta ökar i antal. När vårflo den minskar eller försvinner helt påverkas växter och djur i strandområdet så att de som är beroende av årliga översvämningar försvinner eller minskar kraftigt och man får en miljö som mer liknar de omgivande fastmarkerna.

Dammbyggnader och kraftverk blockerar ofta de naturliga vandringvägarna för främst olika laxfiskar.

## Förbättringsåtgärder

Det finns flera åtgärder som kan genomföras för att minska de negativa effekterna på djur och växtliv.

Om en del vatten tappas i älvsfåran, i kombination med att man bygger så kallade grunddammar, bidrar det till att en del av det naturliga växt- och djurlivet finns kvar. Fiskvägar och fisktrappor gör det lättare för vandrande fisk att ta sig förbi hindret. Konstgjorda lekområden gör det lättare för fisken att leka. Dessutom har Vattenfall skyldighet att odla fisk, för att kompensera för förlusten.

Vattenkraftutbyggnaden påverkar även rennärings-, jord- och skogsbruket. Det mest påtagliga är markförluster och markskador genom

dämning. Regleringen innebär å andra sidan att vattenföringen blir jämnare med mindre risk för översvämningar.

Vattenkraftens inverkan på landskap, djur- och växtliv är svår att sammanställa i en livscykelanalys. Med hjälp av Biotopmetoden<sup>®</sup>, som utvecklats av Vattenfall, kan påverkan på biologisk mångfald delvis kvantifieras. I övrigt är man hänvisad till en kvalitativ beskrivning.

## Resultaten

Det är vid byggande och reinvesteringar som resursförbrukningen är störst, främst genom tillverkning av stål och betong. Detta medför bland annat utsläpp av koldioxid, svavel- och kväveoxider. När jord- och stenmassor flyttas uppstår utsläpp från arbetsmaskiner.

De utsläpp som bidrar till växt-huseffekt och övergödning kommer huvudsakligen från mark som lagts under vatten i samband med dämning. Marken innehåller organiska kolföreningar och näringsämnen som successivt bryts ned och frigörs. Dessa syreförbrukande substanser bryts med hjälp av syret i vattnet ner till koldioxid. Små mängder olja läcker ut i vattenvägarna och om det sker ett maskinhaveri kan något större mängder komma ut. Även i samband med inspektionsresor och oljebyten påverkas miljön.

## Studerade anläggningar

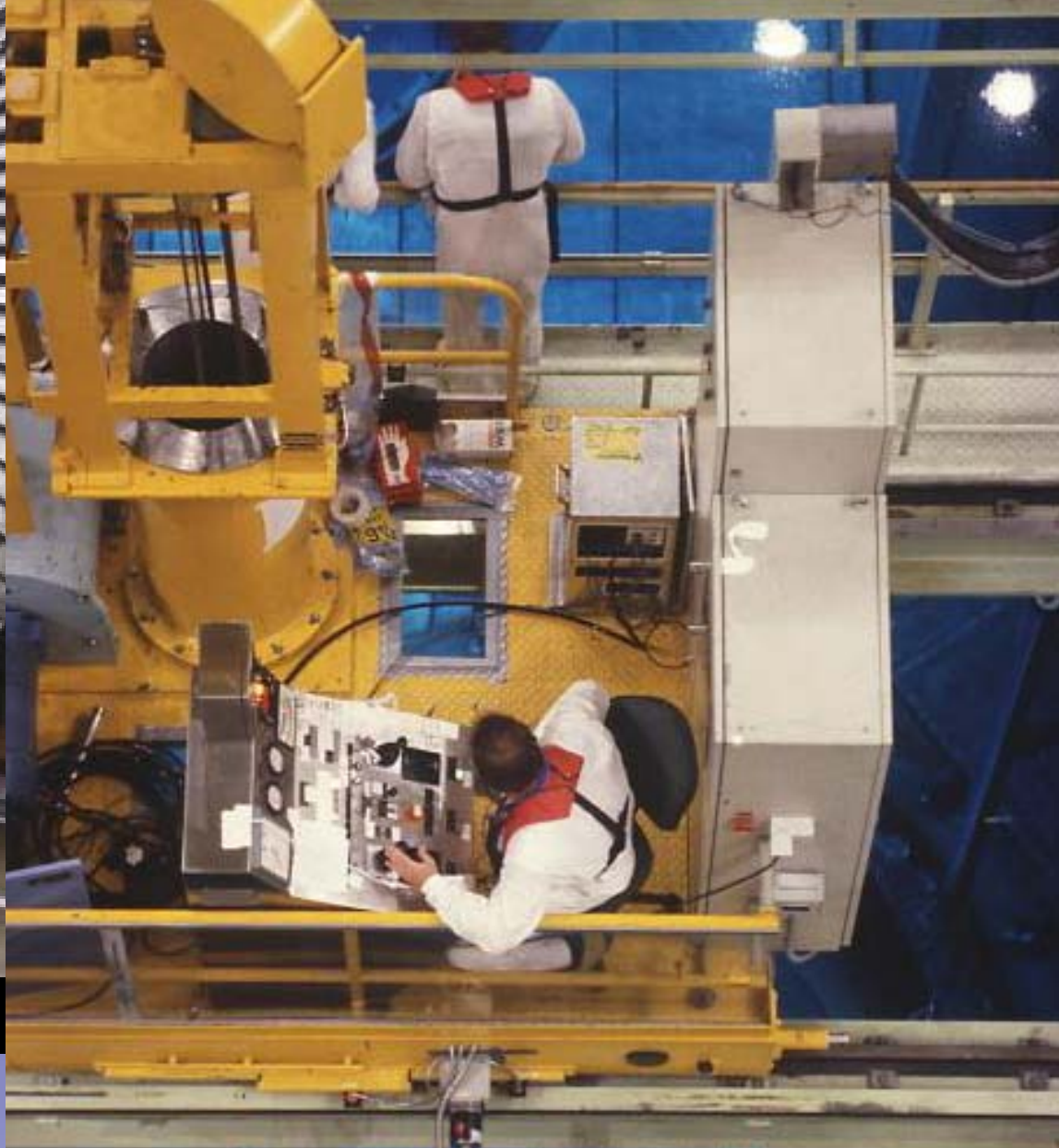
Anläggningarna som valts ut är typiska för Vattenfall.

- 4 kraftverk i Lule älv
- 3 kraftverk i Ume älv

Båda älvarna har årsmagasin. Lule älv är också utbyggd för att ge stor effekt under kortare tider, vilket tidvis kan ge mycket kraftig tappning av vatten. LCA-analyserna ligger till grund för Vattenfalls miljövarudeklarationer.



Underhåll är viktigt för att kunna driva anläggningar med hög säkerhet.



Bränslestavarna i reaktorn byts ut under sommaren.



Utsläppen till luft och vatten kontrolleras nogga.



Sigyn transporterar radioaktivt använt bränsle och annat radioaktivt avfall till mellan- eller slutförvar.

# Kärnkraft



Sveriges 12 kärnkraftsreaktorer byggdes mellan 1965 och 1984 i takt med att elbehovet i landet ökade. De lokaliseras på fyra platser; Ringhals och Barsebäck på västkusten och Oskarshamn och Forsmark på östkusten. Vattenfall är majoritetsägare i Ringhals och Forsmarks kärnkraftverk. Kärnkraften är en baskraft som endast i ganska liten utsträckning kan regleras för att öka eller minska produktionen på kort tid.

## Livscykeln

Analyserna omfattar resursförbrukning och utsläpp från gruva till djupförvar, inklusive byggande, drift och rivning av kraftverk och avfallsanläggningar för hantering av radioaktivt avfall. Kärnkraftsverkens tekniska livslängd har ansatts till 40 år.

Bränsleproduktionen innebär uranbrytning, konvertering, anrikning, bränsletillverkning, samt transporter och sker i anläggningar som är spridda över världen. Vattenfall köper uran från underjordsgruvor, dagbrott och från gruvor som använder insitu-leaching. Den sistnämnda metoden innebär att man låter en vätska cirkulera i en typ av berg som medger att uranet löser sig i vätskan, som sedan pumpas upp till markytan. Efter traditionell uranmalmsbrytning krossas malmen och uranet lakas ur med hjälp av kemikalier och man får en uranoxid, "yellow cake". Verksamheten ger en del radioaktiva avfallsprodukter främst i form av sand och avloppsvatten. Det senare renas, medan de fasta restprodukterna lagras så att strålningen håller sig kring den naturliga nivån.

Uranoxiden transporteras till en anläggning där den konverteras till uranhexafluorid, som sedan trans-

porteras till en anrikningsanläggning där andelen klyvbar isotop, U-235, ökas från cirka 0,7 procent till 3-4 procent. Processen ger två fraktioner, en med den önskade anrikningsgraden och en så kallad tail, utarmat uran, med en lägre halt av U-235 än den naturliga. Det finns två anrikningsmetoder – gasdiffusionsprocessen, som är mycket elkrävande, samt gascentrifugprocessen, som har betydligt lägre elbehov. Det mesta av Vattenfalls bränsle produceras med den senare metoden. Vattenfall köper också en del uran som anrikats ur tail. Bränsletillverkare framställer sedan urandioxid av den anrikade uranhexafluoriden, som pressas till små cylindriska kutsar vilka utgör själva bränslet för kärnkraftverken.

Varje år stängs kärnkraftverken av under sommaren för revision och en femtedel av bränslet ersätts med nytt.

Det använda bränslet mellanlagras i omkring 40 år i en anläggning intill Oskarshamns kärnkraftverk, CLAB, för att sedan placeras i ett djupförvar någonstans i Sverige (eventuellt i anslutning till Forsmarks eller Oskarshamns kärnkraftverk). Det använda bränslet ska enligt planerna kapslas in i koppar och stål och förvaras inbäddat i bentonitlera djupt nere i urberget för all framtid. Övrigt radioaktivt avfall slutlagras i bergrum utanför Forsmark, SFR.

## Miljöpåverkan

Den största andelen av kärnkraftens miljöbelastning uppstår vid framställningen av bränslet. Åtgången av el och bränslen i de olika processtegen är avgörande och mixen av leverantörer har stor betydelse. Även produktionsmixen för den el som förbrukas hos leverantörerna är bety-

delsefull, och mycket fossilbaserad el ger en högre miljöpåverkan genom utsläpp till luft. Uranbrytningen är det miljömässigt dominerande processteget. Precis som vid annan gruvdrift uppstår även en lokal förändring av landskapet.

När kärnkraftverket byggs sker den största resursförbrukningen vid tillverkningen av stål, betong och andra bygg- och konstruktionsmaterial medan kopparkapningen är störst vid inkapsling av utbränt kärnbränsle.

Vid drift av kärnkraftverket är det främst kemikalietillverkning och transporter av radioaktivt avfall som bidrar till utsläppen. Driften ger utsläpp av kylvatten som värmer upp havsområdet närmast kraftverket och därmed påverkar växter och djur.

Vid hanteringen av det använda bränslet inklusive byggande och drift av avfallsanläggningar är det vid tillverkningen av kopparkapslar och transporterna som de största utsläppen sker.

Den radioaktiva strålningen vid framställning av bränsle, vid driften och avfallshanteringen ligger långt under de av myndigheterna fastställda gränsvärdena.

För kärnkraften görs omfattande analyser av risker (sannolikheter och konsekvenser) och dessa rapporteras till tillsynsmyndigheterna samt kortfattat även i miljövarudeklarationerna.

## Studerade anläggningar

Certifierade miljövarudeklarationer har gjorts för elen från de tre kokvattenreaktorerna i Forsmark och de tre tryckvattenreaktorerna samt kokvattenreaktorn i Ringhals. Det är dessa data som presenteras här.



Munksunds kraftvärmeverk eldas med biobränsle.

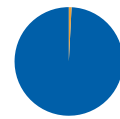


I Uppsala driver vi ett kraftvärmeverk och anläggningar för värmeproduktion av avfall.



Vindkraftverken i Kalmarsund påverkar landskapsbilden. Om det är störande eller inte, råder det olika meningar om.

# Övriga kraftslag



Övriga kraftslag 0,8%  
av Vattenfall Nordens  
elproduktion

## Vindkraft

Vattenfall äger och driver cirka 40 landbaserade vindkraftverk placerade framförallt på Gotland och i Bohuslän. Av dem har vi valt ut elva stycken, som med tanke på vindläge, tillverkare och storlek på 0,2–1,5 MW väl representerar vår produktion.

Vindkraften påverkar miljön som mest när den byggs. Under drifttiden påverkas miljön av resor och förbrukning av oljor och reinvesteringar. Den tekniska livslängden antas vara 25 år.

Under livstiden består miljöpåverkan främst av förändrad landskapsbild. Ett visst buller kan uppstå, som till en del överröstas av naturligt vindbuller. Det finns en liten risk att fåglar skadas.

Drifttiden under ett år avgörs av hur mycket och hur ofta det blåser, vilket är av stor betydelse för vindkraftens miljöbelastning per producerad kWh el. För att under ett år få lika mycket el som i det naturgasdrivna kombikraftverket som beskrivs på sidan 14, behövs det ungefär 4 000 vindkraftverk à 1 MW.

Vindkraftverk klarar inte ensamma att försörja kunder med el, eftersom de producerar enbart när det blåser.

## Kraftvärme

I kraftvärmeverk produceras både el och värme. Elverkningsgraden är lägre än i en anläggning där överskottsvärmen kyls bort, men å andra sidan kan värmen tas tillvara som fjärr- eller processvärme.

De bränslen som eldas är huvudsakligen biobränsle, torv, kol och olja.

Livscykelanalysen bygger i första hand på data från kraftvärmeverket i Uppsala som använder flera olika bränslen och från Munksund, som främst eldar med biobränsle.

Livscykeln omfattar bränsleproduktion (förädling och transport),

förbränning, hantering av askan samt byggande, reinvestering och rivning av kraftverk.

Fördelningen av miljöpåverkan mellan de båda produkterna el och värme har gjorts enligt reglerna för miljövarudeklaration.

**Biobränsle** Det biobränsle som Vattenfall använder är huvudsakligen flisade hyggesrester, som toppar och grenar, bark, samt rester från sågverk och pappersindustri i Sverige. I beräkningen för livscykelanalysen har vi inkluderat ihopsamling, flisning, transport till kraftverk och ytterligare ett finfördelningssteg. Det första momentet ger de största utsläppen följt av transporten som har beräknats till 34 kilometer i genomsnitt.

**Torv** Den torv Vattenfall eldar kommer huvudsakligen från torvmossar i Härjedalen och från Ryssland. Dieseldrivna maskiner gräver upp den blöta torven varefter den transporteras till en eldriven tork. Den torkade torven pressas till briketter och fraktas med lastbil, tåg och ibland även båt, till kraftverket där briketterna mals. Data för rysk brytning och torkning har approximerats med svenska data men med rysk el.

**Kol** Vattenfall köper för närvarande kol från i huvudsak ryska och polska gruvor. Kolet fraktas med tåg, båt och lastbil till kraftverket där det mals. I livscykelanalysen ingår brytning i underjordsgruvor och dagbrott med el- och dieseldrivna maskiner, uppbyggnad för avskiljning av svavel och en del andra föroreningar, lagring och transporter. Utsläppen av metan som sker vid kolbrytningen har inkluderats. En del av detta metan används som bränsle i processer vid gruvorna.

**Olja** Oljebänslet består av en blandning av lättare och tyngre oljor och utgör endast en liten del av allt bränsle som eldas i Vattenfalls kraftvärmeverk.

## Oljekondens

I ett oljekondenskraftverk framställs enbart el och överskottsvärmen kyls bort. I dag används de svenska kondenskraftverken endast som reservkraft under kortare perioder när elförbrukningen är särskilt hög.

Underlaget för livscykelanalysen kommer från Stenungsund. Det bränsle som används är en lättolja med låg svavelhalt.

Verkningsgraden i kraftverket är 38 procent och den tekniska livslängden är satt till 60 år. Reinvesteringstakten är låg på grund av den korta drifttiden per år.

Den studerade livscykeln för oljekondenskraftverk omfattar råoljeutvinning, raffinering, transporter och förbränning i kraftverket. För oljebänslet har genomsnittliga data för Europa använts. Även byggande och rivning av kraftverket ingår.

Driften av kraftverket dominerar miljöpåverkan framförallt genom utsläpp till luften. Bränsleproduktionen ger också utsläpp, men byggandet står för en mindre del av utsläppen.

## Gasturbin

Gasturbiner används som reserv och kan med kort varsel startas och leverera el. Gasturbinernas årliga drifttid inom Vattenfall Norden är mycket kort.

Data har hämtats från ett gasturbinkraftverk i Slite. Bränslet är jetbränsle med låg föroreningshalt. Data för framställning motsvarar ett europeiskt genomsnitt för fotogen.

Verkningsgraden är 27 procent och den tekniska livslängden är ansatt till 60 år.

Analysen börjar med utvinning av råolja och fortsätter med raffinering transport och förbränning av oljan i gasturbinerna.

Förbränningssteget ger de största utsläppen till luften, följt av bränsleproduktionen. Byggandet står för en mindre del.

# Andra kraftslag, utanför Vattenfalls produktion

## Naturgasdrivet kombikraftverk

Idag finns inga stora kombikraftverk för naturgas inom Vattenfall Norden. Den anläggning som studerats är ett projekterat naturgaseldat kombikraftverk för produktion av 900 MW el och där överskottsvärmen kyls bort. Kombitekniken innebär att el genereras från både gasturbin och ångturbin. Därmed ökar verkningsgraden betydligt och i vårt scenario antas att 58 procent av tillförd bränsleenergi omvandlas till el. Anläggningens tekniska livslängd är satt till 40 år.

Livscykeln omfattar gasutvinning i norska havet, gasbehandling i Kårstø på norska fastlandet, transport i gasledning till Sverige och förbränning i kraftverket.

Analysen omfattar utsläpp till luft och vatten, resursåtgång och restprodukter som uppstår vid borrhning och utvinning av naturgas, anläggning av gasledning och gaslager samt byggande och rivning av kraftverket. De största utsläppen av koldioxid och kväveoxider kommer från driften.

Även utvinning, behandling och transport av rysk naturgas från gasfält i västra Sibirien har studerats. Ett antagande har då varit att nuvarande ryska gastransporter moderniserats och att gasen förs till Sverige via Finland.

Användning av rysk gas istället för norsk skulle medföra att utsläppen av koldioxid och kväveoxider från bränsleproduktionen skulle öka med ungefär 10 respektive 30 procent, på grund av effektiviteten vid utvinning och transport. Samtidigt minskar utsläppen av svavel, eftersom den ryska gasen innehåller mindre svavel än den norska. I denna sammanställning redovisas endast resultat med norsk gas.

## Kolkraft

I dag finns inga kolkondenskraftverk inom Vattenfall Norden. Data för

byggande, rivning och drift som presenteras här baseras på Vattenfalls livscykelanalys för ett modernt danskt kolkraftverk på 385 MW topp effekt (1998) kompletterad med kolbränsledata från den schweiziska databasen. Verket är så konstruerat att det kan drivas som kondenskraftverk (hög elverkningsgrad, 47 procent, värmen kyls bort) eller som kraftvärmeverk (lägre elverkningsgrad, 30 procent, värmen används för fjärrvärme eller processvärme). Här har vi antagit att verket drivs 7 000 timmar vid full last per år och som kraftvärmeverk under knappt halva året (genomsnittlig totalverkningsgrad 65 procent). Anläggningen är av konventionell typ med panna och ångcykel och har stoftrening med elektrofilter och våt avsvävling med kalk (restprodukt blir gips) och kvävereduktion med ammoniak.

Livscykeln omfattar byggande, reinvesteringar och rivning av kraftverk, gruvdrift (underjordsgruvor och dagbrott), rening och förädling av bränslet, bränsletransporter och lagring, förbränning i kraftverket och hantering av askor inklusive lakning från askdeponi.

Den tekniska livslängden är satt till 40 år.

Miljöbelastningen från kolkraft sker i första hand vid själva förbränningen av kolet, men produktion och transport av bränslet ger också upphov till resursförbrukning och utsläpp.

## Solceller

I Sverige används idag solceller på platser som ligger långt från befintligt elnät och som har ett litet behov av el. Fyrrar, väderstationer och fränskiljare i elnäten är några exempel, som alla även har back-up i form av batterier. I fallet med fränskiljaren passar solceller väl in, eftersom den måste ha el från separat källa. Dessutom används solceller ofta i konsu-

mentprodukter som till exempel miniräknare.

Solceller omvandlar solenergi direkt till el. Solcellsystem är modulära och består av solceller som seriekopplas till moduler vilka sätts samman till solcellspaneler. För att kunna använda panelerna krävs en del kringutrustning i form av stativ och dylikt. Solceller består av halvledarmaterial och producerar likström vid låg spänning. Det finns kristallina kiselceller men även tunnfilmsceller med olika sammansättning. Vid anslutning till elnätet tillkommer en växelriktare för omvandling till växelström. Nettoproduktionen av el i ett solcellsystem påverkas till exempel av cellernas verkningsgrad (5–15 procent), av solinstrålningen (1 000–2 000 kWh/m<sup>2</sup> och år i Europa), av cellernas vinkel i förhållande till solinstrålningen och av förluster i växelriktare.

Det valda solcellsystemet är ett nätanslutet byggnadsintegrerat system med kommersiell kiselteknik. Solcellspanelerna antas vara tillverkade i Europa och är monterade på hustak med en optimal vinkel i förhållande till solinstrålningen. I beräkningen har solinstrålningen anpassats till nordiska förhållanden, 1 150 kWh/m<sup>2</sup>. Valet av denna typ av anläggning motiveras av att den går att köpa och att byggnadsintegrering är en växande marknad medan stora fristående solpanelsfält inte efterfrågas i Europa idag.

Livscykeln omfattar tillverkning av solcellsmoduler och kringutrustning samt drift och skrotning.

Miljöpåverkan från solcellsystem uppstår framförallt vid tillverkning av solcellerna, speciellt vid kiselframställning, följt av tillverkningen av kringutrustningen.

## Bränsleceller

Bränsleceller ses idag som ett intressant alternativ för framtida produk-

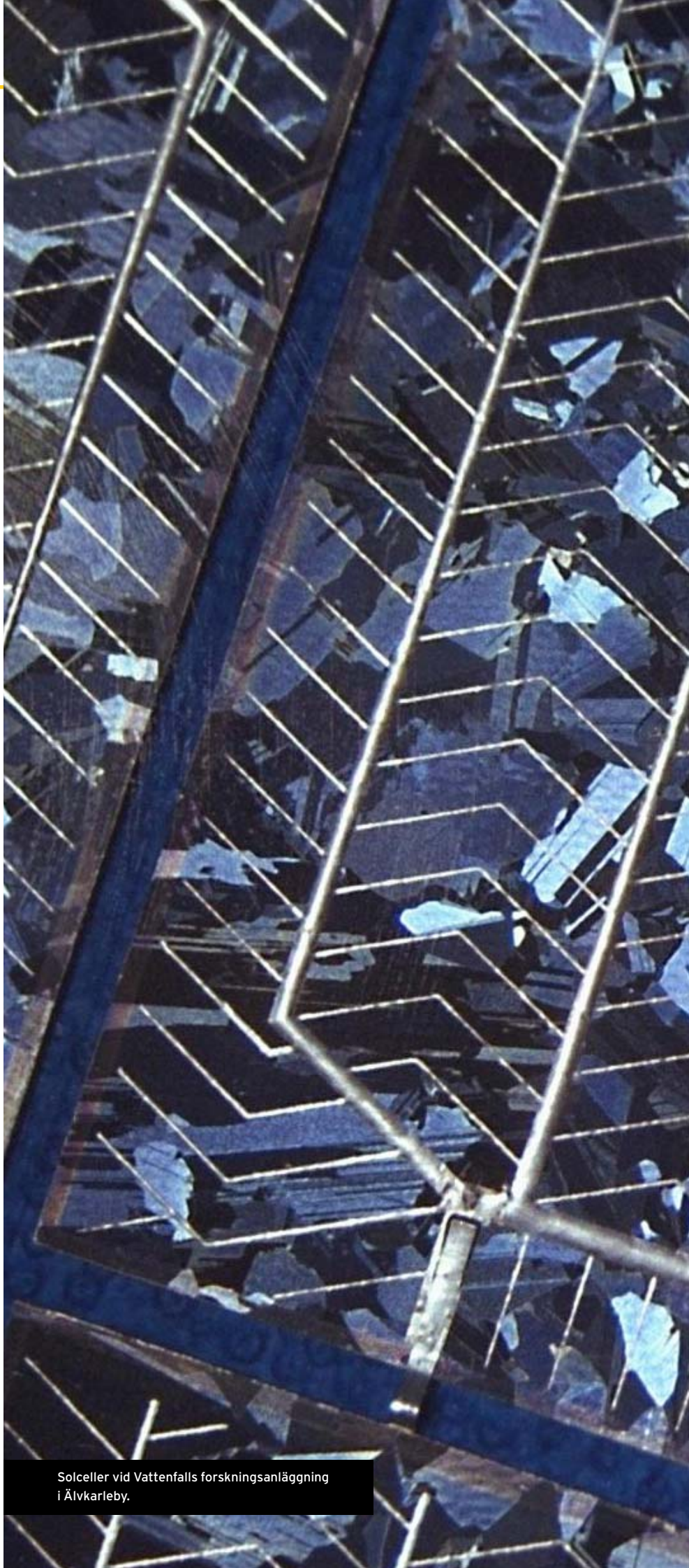
tion av el och tekniken är under utveckling. Bränslecellen är en lokal energikälla och ansluten till lågspänningsnätet. Möjligheter till användning i bilar driver på utvecklingen, men den bränslecell vi redovisar här, SOFC (solid oxide fuel cell), kommer troligen endast att användas i stationära sammanhang på grund av den höga drifttemperaturen på över 1 000 °C.

Bränsleceller är elektrokemiska apparater som omvandlar kemisk energi till el vid låg spänning. De genererar likström genom oxidation av bränslet (till exempel vätgas) med hjälp av syre från luften. Flera bränsleceller kopplas ihop till en stack för att få önskad spänning och effekt. En bränslecellsanläggning består av fyra huvudkomponenter plus stödsystem i form av exempelvis pumpar och kontrollsystem. Huvudkomponenterna är en bränsleprocessor som renar och eventuellt omvandlar inmatat bränsle (till exempel naturgas) till vätgas, en bränslecellstack där elen genereras, en omriktare som konverterar likströmmen till växelström och ett system för tillvaratagande av överskottsvärme. Utsläppen till luft vid drift är låga.

Studerad anläggning producerar både el och värme och har en elektrisk effekt på 250 kW, en elverkningsgrad på 47 procent (totalverkningsgrad 80 procent) och drivs med naturgas. Den tekniska livstiden är ansatt till 100 000 timmars drift och livstidsproduktionen är 25 GWh el.

Fördelningen av miljöpåverkan mellan de båda produkterna el och värme har gjorts i enlighet med riktlinjerna för miljövarudeklaration.

Driften av den naturgasdrivna SOFCn är dominerade vad gäller utsläpp av CO<sub>2</sub>, i övrigt dominerar produktionen av bränslet. Miljöpåverkan vid tillverkning av anläggningen är jämförelsevis låg.



Solceller vid Vattenfalls forskningsanläggning i Älvkarleby.



Ett nät innehåller många olika delar.



Ledningsnätet är stort och underhållsarbetet krävande.



Ledningsgata sedd från luften.



Kraftledningstolpar kan se ut på olika sätt.

# Elnätet

Kraftverk och konsumenter är anslutna till ett landsomfattande integrerat elförsörjningssystem. Detta utgörs av överförings- och distributionssystem och består enkelt uttryckt av ett stort antal ledningar, kablar, transformatorer och ställverk.

El produceras till stor del i stora centraliserade anläggningar som till exempel kärnkraftverk vid en spänning på cirka 6–25 kV varefter den transformeras upp till stamnätets driftspänning som är 220 eller 400 kV för vidare transport ut över landet. Från stamnätet sker en transformering stegvis till lägre spänningar då elen transporteras ut via region-

ledningar (70/130 kV) och lokalnät (0,4–70 kV) för distribution till konsumenterna.

Medelstora elproducerande anläggningar som till exempel kommunala kraftvärmeverk kan leverera el till region- eller högspänt lokalnät och småskaliga kraftanläggningar som vindkraftverk, solceller och bränsleceller levererar till lokalnät (0,4–130 kV).

Större användare, till exempel vissa industrier, ansluts oftast till regionnät eller högspänt lokalnät (6–130 kV) medan mindre förbrukare, till exempel hushåll, ansluts till det lågspända lokalnätet (0,4 kV).

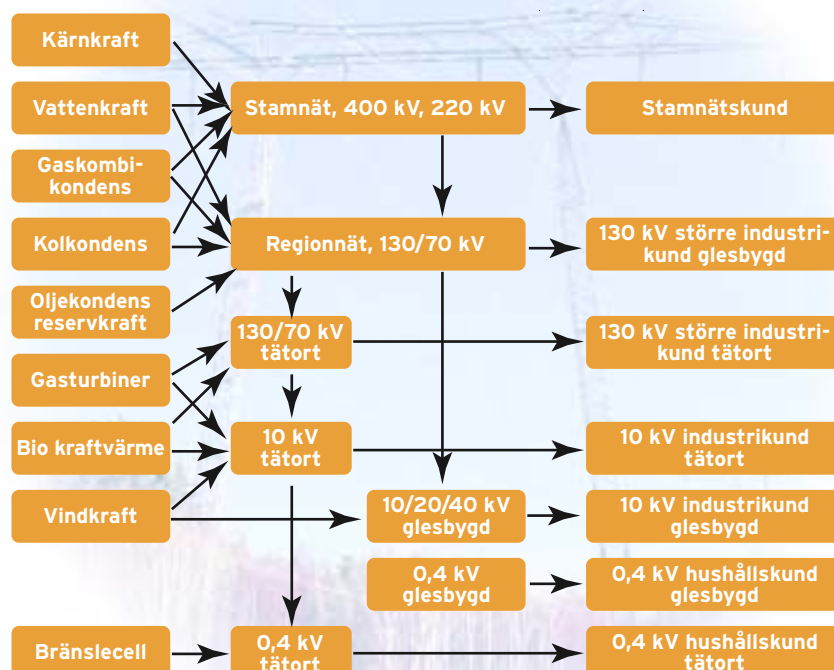
## Nätstruktur

Svenska Kraftnät äger och driver stamnätet. De regionala näten ägs av olika företag varav Vattenfall AB är ett. Lokaldistribution sker över lokala nät (0,4–130 kV). Idag finns cirka 180 nätföretag som distribuerar el i Sverige och omkring 125 handelsföretag som säljer el.

## Ledningar och kablar

För överföring och distribution används luftledningningar eller nedgrävda kablar. Det vanligaste ledarmaterialet är aluminium. En viss andel koppar förekommer också. Polyeten används oftast som isolering. Stolpar

## Elen väg till kund



Elen kan ta många olika vägar från kraftverk till kund.

för de högsta spänningsnivåerna är oftast byggda av galvaniserat stål. Impregnerade trästolpar används på lägre spänningsnivåer. Trä och betong används till fundament och staginfästningar. Isolatorerna är av glas eller porslin.

### Transformatorstationer

I transformatorstationerna finns transformatorer och ställverk med tillhörande kontrollanläggningar. Via transformatorerna sker en transformering mellan olika spänningsnivåer. De flesta av de apparater som krävs för drift av kraftöverföringssystemet är sammanförda till ställverken. I dessa sker alla kopplingar, mätning av ström och spänning samt kommunikation med driftcentraler. I ställverken finns skensystem som sammanbinder transformatorerna med de in- och utgående ledningarna. Kopplingar sker med hjälp av brytare eller lastfränkskiljare.

### Drift, underhåll och rivning

Vid drift uppstår överförings- och

transformeringsförluster. Till underhåll hör bland annat inspektioner, funktionskontroller, revisioner, reparationer och röjning av kraftledningsgator.

Användningen av olika fordon dominerar miljöpåverkan under detta skede. Vid rivning återvinns en stor del av uttjänt material.

### Miljöpåverkan

Elöverföringen påverkar miljön dels direkt genom resursåtgång och utsläpp i samband med byggande drift och underhåll och dels indirekt på grund av de förluster av el som sker vid överföring och transformering. Förlusterna måste ju ersättas genom en högre produktion i kraftverken.

### Förluster i nätet

Överföringsförlusterna vid distribution av el till en kund varierar kraftigt. Faktorer som påverkar den verkliga förlusten i en elleverans är: överföringssträcka, momentan belastning i nätet, spänningsnivå som

kraftverken kopplar till och spänningsnivå som kunden är ansluten till. Genomsnittliga överföringsförluster kan beräknas för olika spänningsnivåer/grupper av spänningsnivåer i nätet.

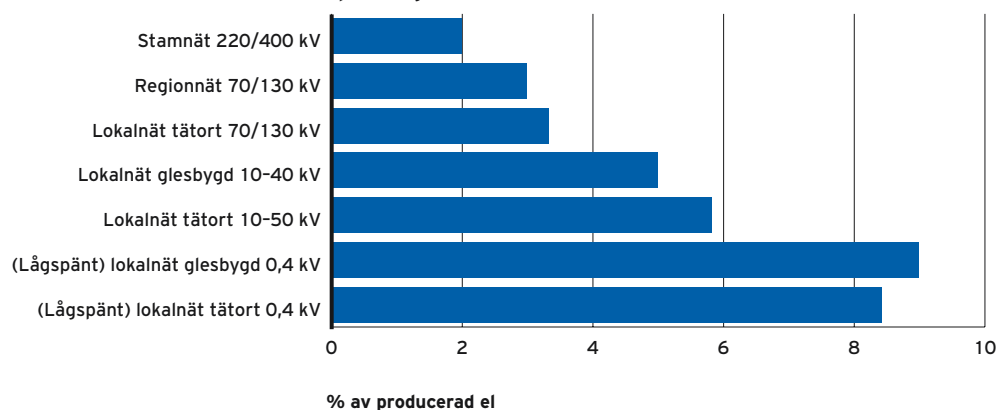
Till en hushållskund på lågspänningsnivå i tätort (0,4 kV) är den genomsnittliga överföringsförlusten – om kraftverken matar ut till stamnätet – kring 8,5 procent.

I denna sammanställning beaktas endast miljöpåverkan orsakad av den extra elproduktion som krävs för att kompensera för förlusterna i nätet.

### Elektriska och magnetiska fält

Fält finns runt alla elektriska apparater och ledningar. Vattenfall arbetar utifrån försiktighetsprincipen. Den förtydligas i allmänna råd som ges ut av Strålskyddsinstitutet och Arbetsmiljöverket. Detta innebär att vi strävar efter att minska fält som avviker starkt från vad som kan anses vara normalt i den aktuella miljön.

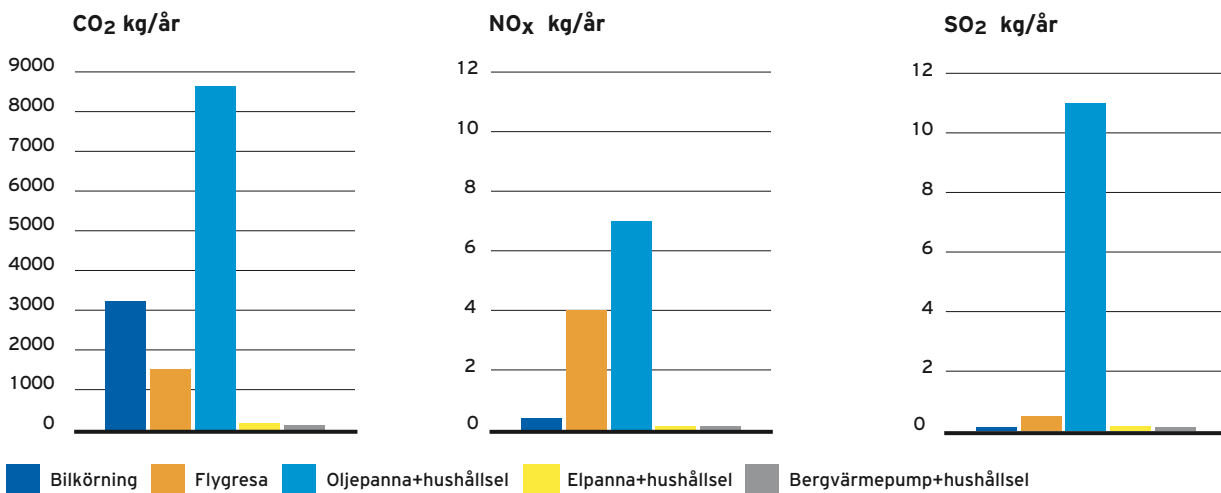
Genomsnittliga överföringsförluster till kunder på olika spänningsnivåer ackumulerat från stamnätet



# Vår vardagliga miljöpåverkan



## Jämförelse med andra aktiviteter



**Jämförelse med andra aktiviteter**  
 Så här kan det se ut för en familj i Mälardalen som bor i radhus från början av 1980-talet, har bil och reser på chartersemester en gång per år. (Siffrorna är beräknade utifrån de emissioner som sker under drift, inte för hela livscykeln). Diagrammen visar de emissioner som el, uppvärmning av huset samt familjens resor ger upphov till under ett år.

**Bilkörning:** Volvo V 70 2,4, årsmodell 2002, 170 hk. Körning 1 500 mil per år, stad och landsväg. Källa: Volvo Car Corporation  
**Flygresa:** Boeing 737-800 Euro. Mallorca t o r, 495 mil, 90 procent av stolarna är belagda. Källa: SAS  
**Värme och el:** Värmebehov: 20 000 kWh per år. Elbehov: 5 000 kWh per år. Tre

uppvärmningsalternativ: oljepanna med 70 procents verkningsgrad, elpanna med 90 procents verkningsgrad, bergvärmepump med värmefaktor 2,8.  
 Källor: Värmebehov och förbränningsdata – Energimyndigheten, emissioner – Vattenfall AB, genomsnittlig produktionsmix.

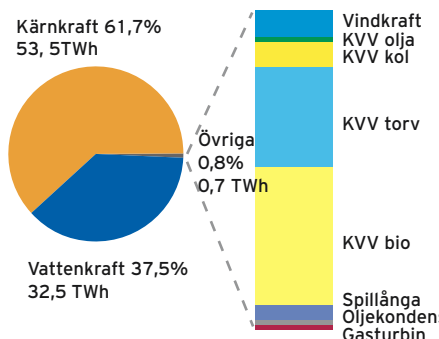
# Resultat - Vattenfalls el i Sverige

Vattenfall producerar kring 86,7 TWh el per år i Sverige och cirkeldiagrammet här bredvid visar den genomsnittliga produktionsmixen (prognos 2004–2006) med 61,7 procent kärnkraft, 37,5 procent vattenkraft och 0,8 procent andra kraftslag.

Miljöpåverkan för en genomsnittlig kWh som produceras av Vattenfall kan beräknas, förutsatt att vi känner till följande:

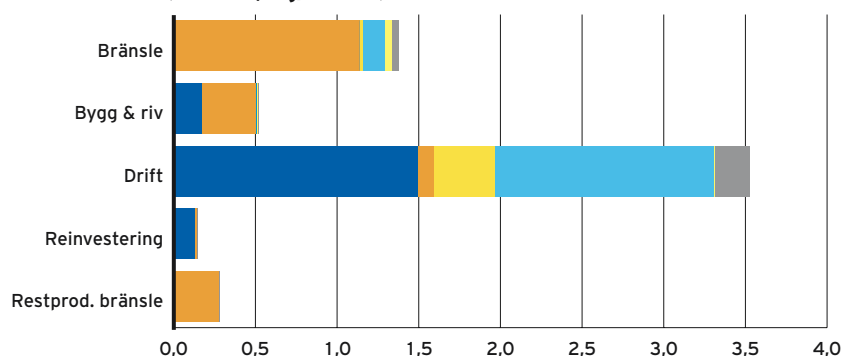
- Vattenfalls mix av elproduktionsanläggningar.
- Anläggningarnas respektive årliga produktion.
- De olika kraftslagens miljöpåverkan per producerad kWh.

## Vattenfalls genomsnittliga produktionsmix i Sverige

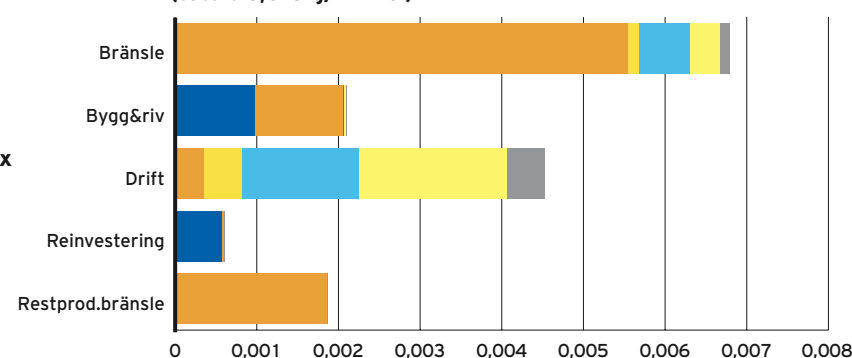


(KVV = Kraftvärme)

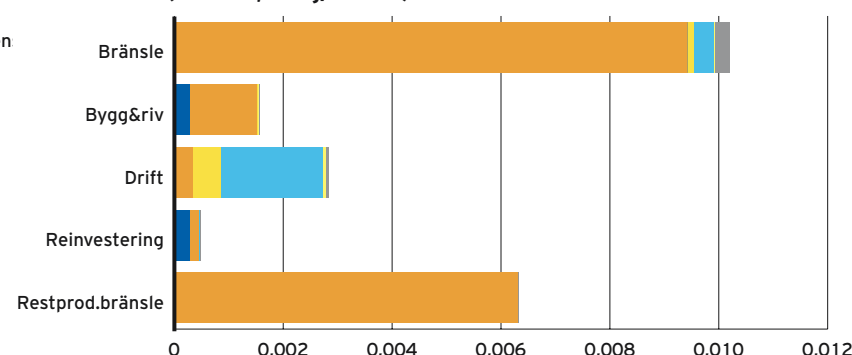
Utsläpp av fossilt g CO<sub>2</sub> per genomsnittlig kWh från Vattenfall (totalt 5,8 g/kWh el)



Utsläpp av g NO<sub>x</sub> per genomsnittlig kWh från Vattenfall (totalt 0,016 g/kWh el)



Utsläpp av g SO<sub>2</sub> per genomsnittlig kWh från Vattenfall (totalt 0,021 g/kWh el)



Stapeldiagrammen visar några exempel på miljöpåverkande parametrar. Resultaten gäller för hela livscykelns, där några moment såsom byggande av anläggningar är historiska, några sker kontinuerligt vid drift under hela livscykelns och andra är framtida, som exempelvis rivning. Utsläppen sker i Vattenfalls kraftverk men också hos Vattenfalls underleverantörer som bland annat tillverkar byggmaterial, kemikalier och bränslen.

Kärnkraften, närmare bestämt el- och bränsleanvändningen vid framställning av uranbränsle, dominerar Vattenfalls utsläpp av  $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_2$  och stoft. I livscykelns "hantering av restprodukter från bränslet" har kopparinkapslingen av det uttjänta uranbränslet och transportererna av bentonit stor betydelse.

Vattenkraftens bidrag uppstår vid byggande och investering och vad gäller utsläpp av  $\text{CO}_2$  även under drift, på grund av de utsläpp som sker från mark som lagts under vatten vid anläggande av vattenmagasin.

Trots att kraftvärme och reservkraft utgör en sån liten andel av Vattenfalls elproduktion syns deras bidrag till utsläppen tydligt i driftfasen men även i bränsleproduktionsfasen.

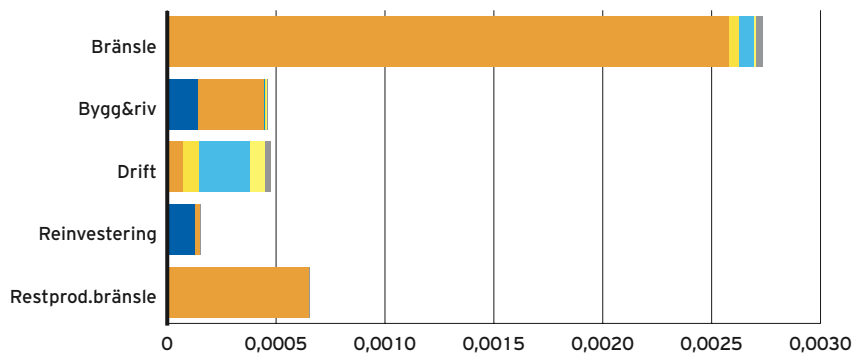
Koppar används till generatorer, transformatorer och kablar vid byggande och investering men framförallt för att kapsla in uttjänt kärnbränsle inför djupförvaring i berggrunden.

Högaktivt avfall uppstår vid drift av kärnkraftverken men också vid bränsleproduktion eftersom kärnkraftsel används av flera leverantörer i bränslekedjan.

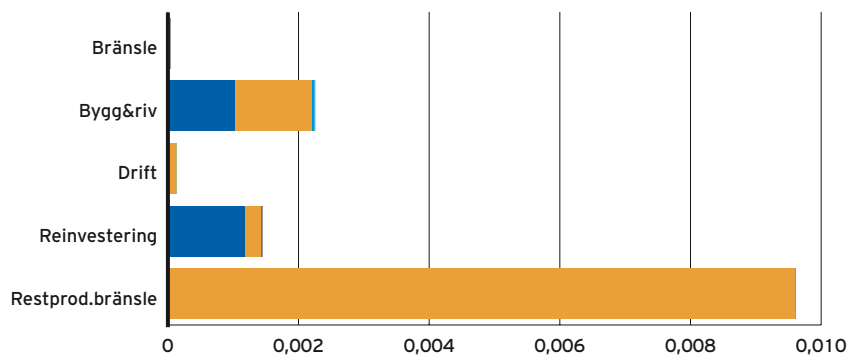
För att få miljöpåverkan ända fram till kund måste den elproduktion som krävs för att kompensera för förlusterna i nätet adderas (se sid 17–18).

Av de 87 TWh som produceras i anläggningar där Vattenfall har ett majoritetsägande i Sverige kan Vattenfall sälja kring 68 TWh, resten säljs av minoritetsdelägarna. Vattenfalls elförsäljning till de egna elkunderna i Sverige är mindre än elproduktionen.

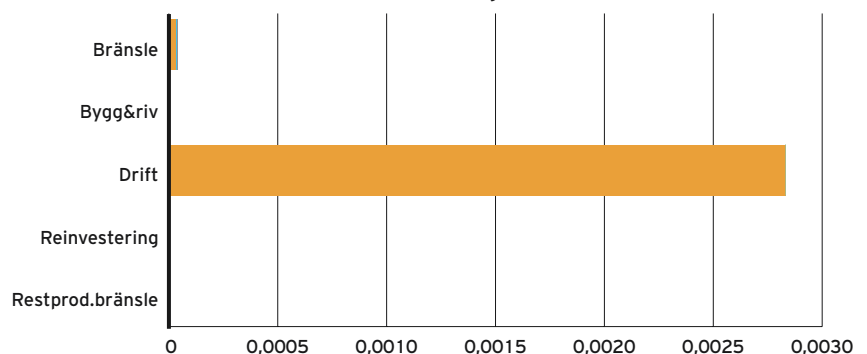
Utsläpp av g stoft per genomsnittlig kWh från Vattenfall (totalt 0,0045 g/kWh el)



Användning av g koppar från gruva per genomsnittlig kWh från Vattenfall (totalt 0,013 g/kWh el)



Alstring av g högaktivt avfall per en genomsnittlig kWh från Vattenfall (totalt 0,0029 g/kWh el)



# Resultat per kraftslag och levererad kilowattimme

Observera att redovisade resultat enbart gäller under de förutsättningar som angivits i denna sammanställning. De kan inte anses representera elproduktion generellt.

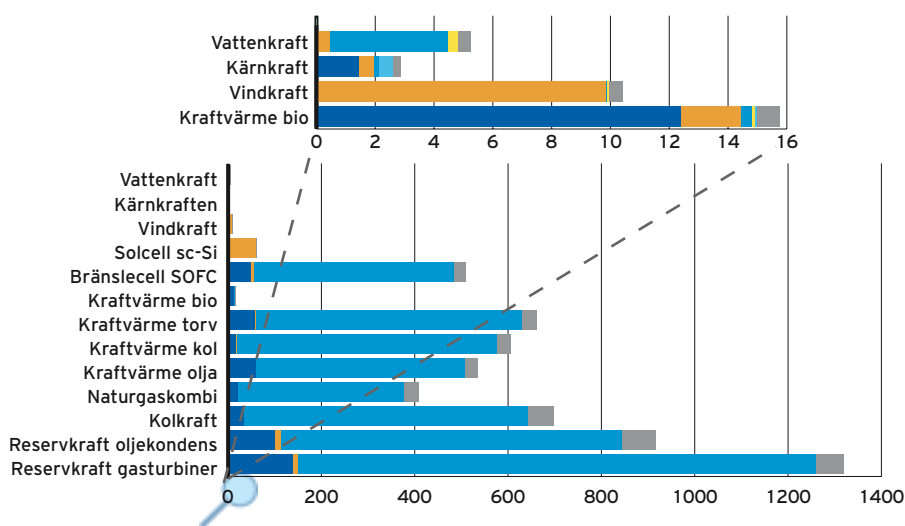
Miljöparametrarna för olika kraftslag är uttryckta i gram per producerad och överförd kWh el fram till hushållskund (0,4 kV) i tätort. Genom att ange utsläppen per levererad kWh kan olika kraftslag jämföras oberoende av producerad mängd el. Man bör komma ihåg att kraftslagen inte fullt ut kan ersätta varandra eftersom de har olika funktion.

## Generellt gäller att:

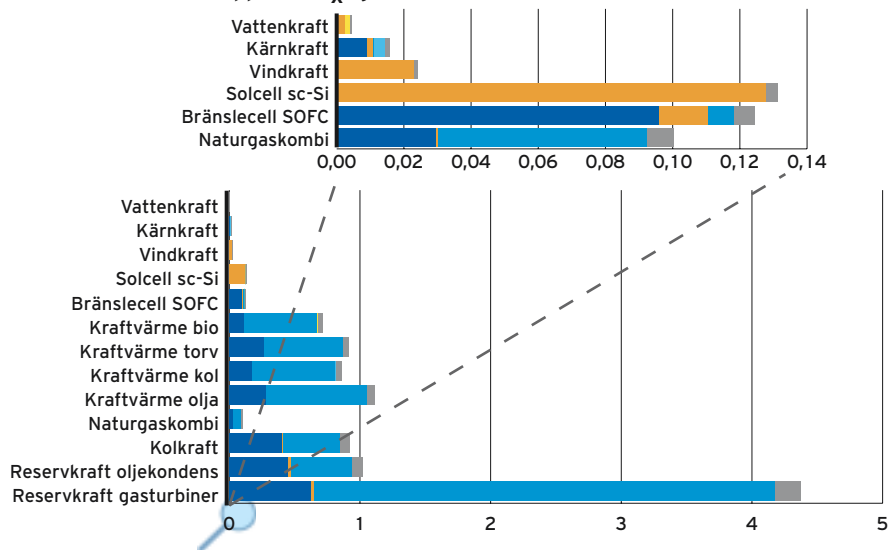
- Byggandet dominerar för de kraftslag som saknar bränsle och istället använder en flödande energikälla (vatten-, vind- och solkraft).
- Driften dominerar för alla bränsleeldade kraftverk följt av produktionen av bränslet.
- El från kraftvärme ger ofta lägre utsläpp per kWh än el från kondenskraftverk med samma bränsle.
- Rivningsfasen innebär en förhållandevis låg påverkan bland annat eftersom metaller och betong kan återvinnas.

För kraftslag som nyttjar flödande energikällor är således "materialmängd per installerad effekt" en viktig parameter för miljöprofilen liksom val av ingående material: ju mer och sällsyntare material desto sämre miljöprofil. Det har också betydelse var materialen tillverkas och vilken sorts el som används vid framställning, mycket fossilbaserad el ger större utsläpp till luft. Därutöver har verkningsgraden, det vill säga hur effektivt den flödande energin omvandlas till el betydelse för miljöprofilen liksom den flödande energins tillgänglighet under året.

### Utsläpp av fossilt CO<sub>2</sub>, g/kWh levererad el till hushållskund



### Utsläpp av NO<sub>x</sub>, g/kWh levererad el till hushållskund



**Baskraft:** vattenkraft, kärnkraft, kolkraft, kraftvärme

**Reglerkraft:** vattenkraft, gasturbiner

**Reservkraft:** oljekondens, gasturbiner

**Tillfällig kraft:** kraftvärme, solceller, vindkraft

Verkningsgraden, det vill säga hur effektivt energin i bränslet omvandlas till el är avgörande för de fossil-, torv- och biobränsle drivna kraftslagen. Hur rent bränslet är och hur effektiv rökgasreningen är påverkar också. Resultaten för naturgaskombi och kolkraft som visas i diagrammen speglar modern teknik med höga verkningsgrader och effektiv rökgasrening. Data för oljekondens och gasturbiner är hämtade från äldre anläggningar med relativt låga verkningsgrader och begränsad eller ingen rökgasrening. Eftersom reservkraften utnyttjas så få timmar per år tillåter myndigheterna högre utsläpp. Resultaten för kraftvärme speglar dagens befintliga teknik inom Vattenfall. Bränslecellen är en framtida möjlig lösning.

Produktion av fossil-, torv- och biobränsle har större inverkan på resultaten ju lägre verkningsgraden i kraftverken är eftersom det går åt mer bränsle per producerad kWh vid lägre verkningsgrad.

Data för framställning av kolbränslet till kraftvärmerna, se stapeln "Kraftvärme kol" i diagrammen, representerar Vattenfalls faktiska inköp medan kolet i stapeln "Kolkraft" motsvarar ett genomsnitt för europeisk kolanvändning med kol från hela världen.

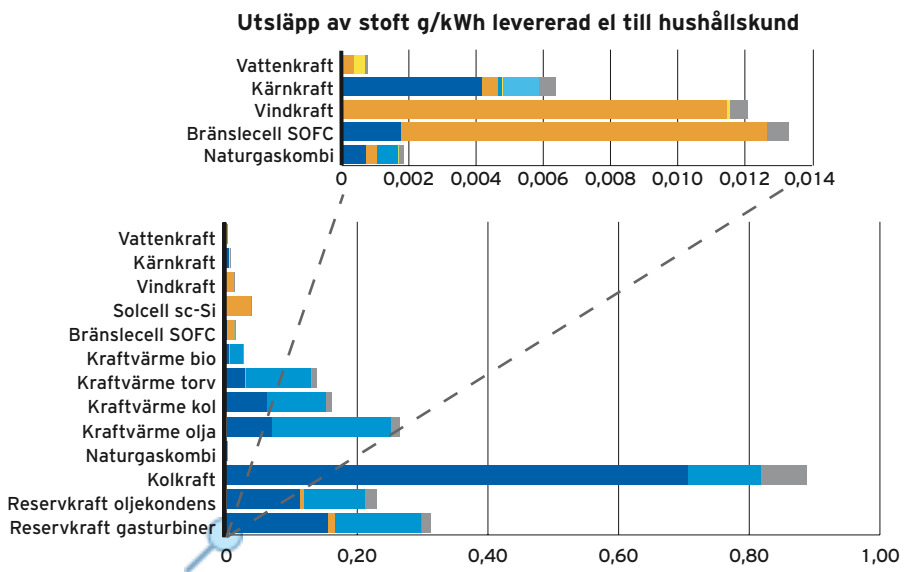
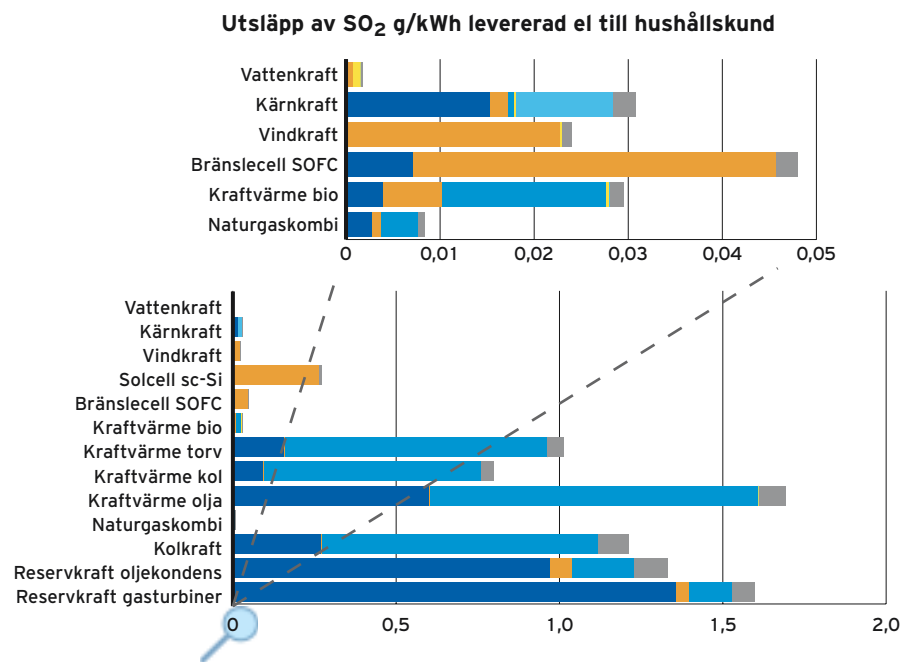
Oljebränslet i kraftvärmefallet (se stapel "Kraftvärme olja") består av hälften tung och hälften lättolja vilket går bra eftersom det finns reningsutrustning. I reservkraftanläggningarna används renare oljebränslen för att gränsvärdena för utsläpp ska klaras.

Att torka torv kräver en hel del el. Denna el står för en ganska stor del av utsläppen för det studerade torveldade kraftvärmeverket (se stapeln "Kraftvärme torv"). Detta gäller särskilt rysk torv, eftersom den ryska elproduktionen till stor del är fossilbaserad (>65 %). Även de långa transportererna av torv från Ryssland

påverkar miljöprofilen.

Bränsleproduktionen står för drygt hälften av kärnkraftens utsläpp till luft under livscykeln. Valet av leverantörer i bränslekedjan har stor betydelse, det gäller särskilt för gruvor och anrikare. Halten av uran i malmen spelar in, liksom valet av an-

rikningsmetod. Elanvändningen kan skilja en tiopotens mellan olika metoder att anrika uran. Hur mycket fossilbaserad elektricitet som används av underleverantörerna i bränslekedjan har också betydelse för resultaten. Redovisade resultat speglar Vattenfalls svenska kärnkraft.



Koppar är en starkt efterfrågad resurs, inte minst inom kärnkraftsindustrin som behöver det för inkapsling av utjämt bränsle inför djupförvaring. Denna koppar kommer inte att kunna återvinnas, åtminstone inte inom överskådlig tid, eftersom bränslet måste lagras i 100 000 år. För övriga kraftslag är det främst i byggfasen som koppar används, koppar som till stor del kan återvinnas. Koppar ingår i många komponenter såsom generatorer, transformatorer, elektronik, kablar och så vidare. Solceller använder mest koppar av de kraftslag som redovisas här följt av vindkraften. Reservkraften får ett relativt högt värde per producerad kWh eftersom produktionen är så liten.

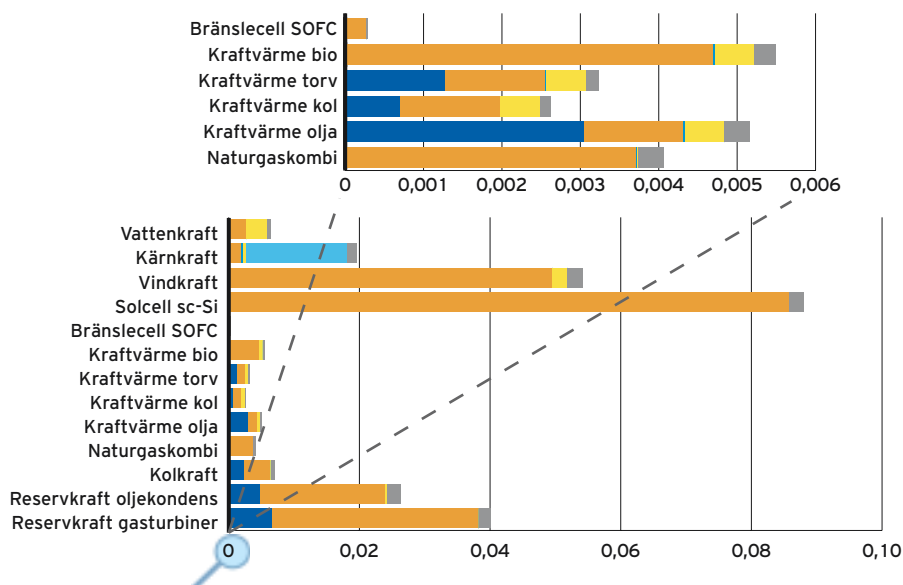
Alla kraftslag ger indirekt upphov till högaktivt radioaktivt avfall eftersom det används kärnkraftsel vid framställning av bränslen, material och kemikalier.

### Elproduktion som kompenserar för förluster

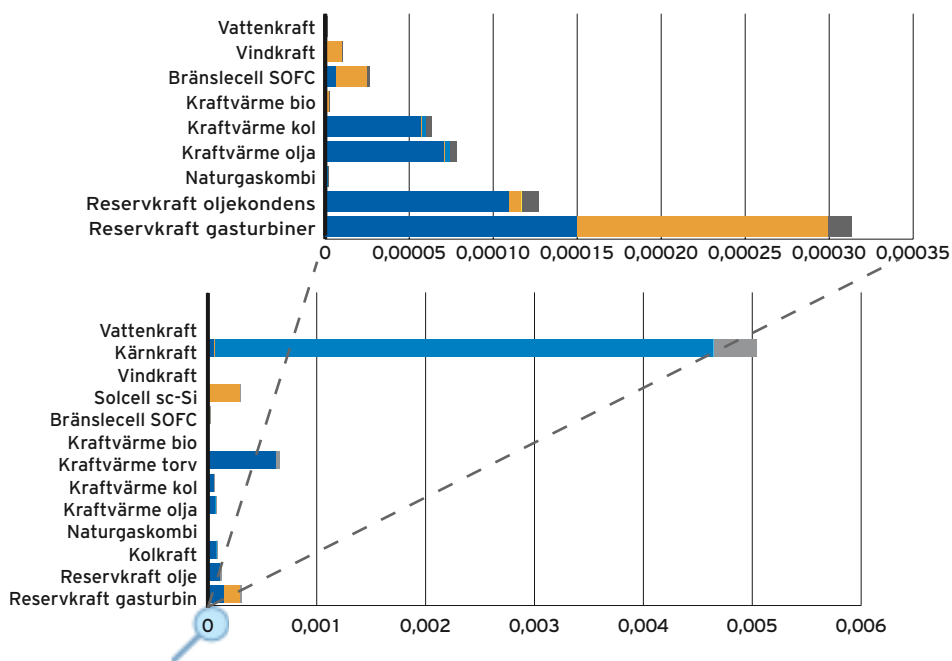
Vi har antagit att kraftslagen kopplar till nätet i enlighet med tabellen här nedan. Förlusterna till en hushållskund blir då olika för olika kraftslag. I stapeldiagrammen antar vi genomgående att förlusten kompenseras av det aktuella kraftslaget.

- Bränsle   ■ Bygg & riv   ■ Drift
- Reinvestering   ■ Restprod. bränsle
- Kompensationsprod. för förluster

Förbrukning av koppar ur gruva g/kWh levererad el till hushållskund



Högaktivt avfall g/kWh levererad el till hushållskund



Kraftslag	Antas koppla till nedanstående nät för vidare nedtransformering till 0,4 kV	Genomsnittlig förlust i procent
Vattenkraft	stamnät	8,4
Kärnkraft	stamnät	8,4
Vindkraft	lokálnät glesbygd 10-40 kV	4,6
Solcell sc-Si	lågspänningsnät tätort 0,4 kV	2,6
Bränslecell SOFC	lokálnät tätort 10-50 kV	5,1
Kraftvärme bio	lokálnät tätort 10-50 kV	5,1
Kraftvärme torv	lokálnät tätort 10-50 kV	5,1
Kraftvärme kol	lokálnät tätort 10-50 kV	5,1
Kraftvärme olja	lokálnät tätort 10-50 kV	5,1
Naturgaskombi	stamnät	8,4
Kolkraft	stamnät	8,4
Reservkraft oljekondesns	stamnät	8,4
Resevkraft gasturbiner	lokálnät glesbygd 10-40 kV	4,6

# Biologisk mångfald

## Markanvändning

De olika elproduktionssätten har olika ytbehov, både vad gäller storlek och typ, vilket gör det svårt att jämföra dem med varandra.

Ett kraftverksmagasin tar stora ytor i anspråk, men kan utnyttjas för bland annat sjöfart och fiske. Att samla ihop biobränsle i samband med avverkning av ett skogsområde sker högst vart åttionde år och under en stor del av denna tid kan området användas för exempelvis jakt och friluftsliv. Områden kring vindkraftverk kan användas för exempelvis jordbruk, men det går inte att bygga hus för nära. Kärnkraften släpper ut uppvärmt kylvatten och det varma vattnet påverkar växt- och djurlivet i havet närmast kraftverken.

Även processer som materialtillverkning, transporter med mera kräver mark. All gruvverksamhet medför stora ingrepp i naturen. Det gör även infrastruktur i form av vägar och järnvägar, som skär genom landskapet och gör det svårare för djur och växter att röra och sprida sig obehindrat.

## Biotopmetoden®

Livscykelanalyserna belyser inte effekterna på biologisk mångfald. Därför har Vattenfall tagit fram Biotopmetoden®, med vars hjälp sådana effekter kan beskrivas i siffror. Metoden används i de certifierade miljövarudeklarationernas avsnitt om biologisk mångfald och innebär att de ytor som berörs av den verksamhet

man studerar identifieras, avgränsas och mäts in för att sedan klassificeras och karakteriseras. Med hjälp av kartor, flygbilder, litteratur, databaser och platsbesök typbestäms biotoperna inom de aktuella områdena. För att därefter karakterisera markområdena som biotopförluster, allmänna, sällsynta eller kritiska biotoper används bland annat Artdatabankens, nationellt accepterade, förteckning över rödlistade arter. Detta görs för två skilda tidpunkter: "Före" och "efter". Före är tiden innan den aktuella verksamheten påbörjades och efter är en tidpunkt då verksamheten pågått en tid och biotoperna kunnat återhämta sig efter själva anläggandet av verksamheten (definieras från fall till fall). Genom att jämföra ytorna för de olika biotoptyperna Före och Efter kan man visa på den förändring som den aktuella verksamheten orsakar. Resultatet kompletteras alltid med en kvalitativ beskrivning.

## Ledningsgator

Ledningsgator kan vara till fördel för den biologiska mångfalden. Biotopinventeringar som Vattenfall gjort indikerar detta. Røjning av gatorna skapar miljöer som påminner om hagmarker, vilka blir allt sällsyntare i det svenska landskapet. Gatorna blir hemvist för exempelvis en rad sällsynta örter och fjärilar. Några ledningsområden är idag Natura 2000-områden.



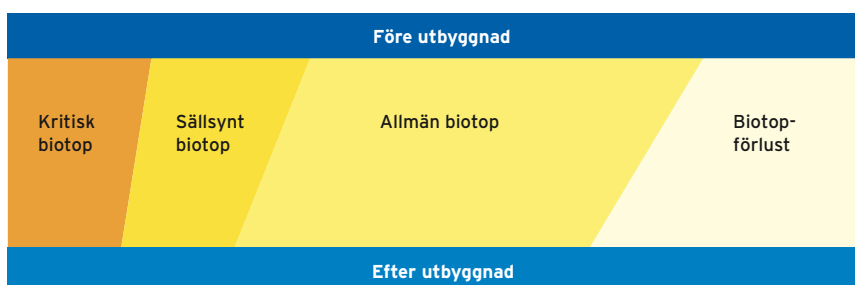
Får som betar under ett vindkraftverk.



Fjärilar trivs i ledningsgator.



Bombmurkla och norna från ett värn-område i Norrland.



Illustrationen visar schematisk hur ett markområde förändras av en anläggning.

# Miljörisker

I livscykelanalysen behandlas bara det som händer under normal verksamhet i anläggningarna. Men det kan även uppstå störningar och olyckor. Under normal drift sker utsläppen kontinuerligt och kontrollerat medan olyckor ofta orsakar ett större utsläpp under en kort tid. Konsekvenserna av en olycka är oftast lokala det vill säga påverkar den närmast omgivningen. Vattenfall har tagit fram en metod att inventera miljörisker på ett systematiskt sätt. Miljöriskinventering används i miljövarudeklarationerna.

Risk definieras som sannolikheten att en oönskad händelse inträffar multiplicerad med händelsens konsekvens.

Miljöriskinventering sker i flera steg. Efter gränsdragningar där det bland annat fastslås vilka system som berörs av den verksamhet man studerar följer insamling av underlag som beskriver verksamheten: ritningar, bilder, listor över förekommande kemikalier med mera. En preliminär lista tas fram över tänkbara olycksscenarier. Nästa steg är ett platsbesök. Drift- och underhållspersonal intervjuas bland annat för att få en grov bedömning av konsekvenser och sannolikheter. Vidare analys av

konsekvenser sker bland annat med hjälp av historiskt material, litteratur och databaser. Resultaten remissas till flera personer med olika erfarenheter och bedömningarna justeras i samarbete med dem.

Prognoser för sannolikhet är alltid behäftade med osäkerheter av skilda slag. Osäkerheterna är störst för händelser som inträffar mycket sällan eller där den mänskliga faktorn är huvudorsak. Även bedömningar av konsekvenser kan vara osäkra. Det är exempelvis svårt att kvantifiera innehållet i rökgaser vid en okontrollerad förbränning.

Resultaten ger likväl en uppfattning om storleksordningen på utsläpp som orsakas av störningar och olyckor. Detta i sin tur ger underlag för att bestämma vilka åtgärder som genererar den största miljönyttan.

De miljöriskinventeringar som hittills har gjorts i Vattenfalls kraftanläggningar (Forsmark, Ringhals, vindkraft, vattenkraft i Ume och Lule älv, avfallsförbränning i Uppsala) visar att sett över en lång period blir utsläppen vid olyckor små jämfört med normal drift. Detta utsluter dock inte att en olycka kan få stora lokala konsekvenser.

## Exempel

Sannolikheten att råka ut för en bilolycka med smärre personskador, bensinläckage och en bilreparation är 1 på 2 000 mil. Denna sannolikhet multipliceras med följande konsekvenser:

2 000 förlorade kronor på grund av reparationskostnader och höjd försäkringskostnad.

20 liters bensinläckage till ett dike.

10 dagars konvalescens.

Risken kan beräknas till 100 kr och 1 liter spilld bensin och 0,5 dagars konvalescens per 100 körda mil.

**Risken är konstant över tiden, det vill säga den ökar inte efter 1 eller 10 körda mil. Varje biltur innebär samma risk per kilometer.**



Förstärkning av kraftverksdammen i Suorva.



# Praktisk nytta

Livscykelanalys, miljöriskinventering och biotopstudier är underlag till Vattenfalls miljövarudeklarationer, men även verktyg i det operativa miljöarbetet. Resultaten är tillsammans med annan information underlag vid bedömning av miljöaspekter, åtgärder och investeringar.

## Verktygen inklusive EPDerna har bland annat bidragit till följande:

- Vi fann intressanta biotoper kring Lule älv som avsatts som värn-områden VVO, Vattenfalls Värn-Områden.
- Hög vattenförbrukning identifierades i Forsmark. Vidtagna åtgärder har lett till minskad förbrukning av vatten, kemikalier och el.
- Vattenfall Bränsle AB använder resultat från livscykelanalyser för att identifiera vilka delar inom kärnbränslekedjan, gruvdrift, konvertering, anrikning samt bränsletillverkningen, som har stor miljöpåverkan. Resultaten används i dialog med leverantörerna.
- Ett system för återvinning och återanvändning av material från ledningsnät har utvecklats i samarbete med en kabeltillverkare.
- Vattenfall Eldistribution AB har tagit fram ett verktyg som är baserat på livscykelanalyser, som kan användas när nya elöverföringssystem ska anläggas.
- Miljövarudeklarationer används i tillståndsprocesser.
- Ett arbete pågår med att minska risken för oljeutsläpp till mark och vatten.

Allmänt ökad kunskap och engagemang hos medarbetare inom koncernen har lett till att livscykeltänkande i allt större utsträckning blivit en naturlig del i planeringsfasen vid ombyggnader och investeringar.

Ett exempel på detta är avfallsförbränningen i block 5 i Uppsala, där miljövarudeklarationen har gjorts samtidigt som man har byggt anläggningen.

Analyserna används även för att utvärdera olika tekniska lösningar, som exempelvis:

- ABBs generator Powerformer (i samarbete med ABB).
- Kraftledningsstolpar i kompositmaterial jämfört med trä.
- Mobila ställverk kontra stationära.
- Ställverk isolerade med gasen svavelhexafluorid (SF6) istället för med luft.
- Olika borrhingsalternativ vid lagring av utbränt kärnbränsle (SKB Svensk Kärnbränslehantering).
- Solceller för elektrifiering av fritidshus i Sverige.
- Vid upphandling av vindkraftverk begärs underlag in från leverantörerna så att det ska vara möjligt att utvärdera de offererade vindkraftverken miljömässigt i livscykelperspektiv.



Kontrollrummet i Forsmark.

### Liten ordlista

**EPD** Environmental Product Declaration, certifierad miljövarudeklaration enligt EPD-systemet, ett system för information om produkters och tjänsters miljöprestanda baserad på livscykelanalys.

**LCA** Livscykelanalys (Life Cycle Assessment)

**LCI** Livscykelinventering, (Life Cycle Inventory), del av en LCA.

**LCIA** Miljöpåverkansbedömning (Life Cycle Impact Assessment), del av LCA.

**CLAB** Centralt mellanlager för använt kärnbränsle.

**SFR** Slutförvar för låg- och medelaktivt avfall.

### Vill du veta mera?

**Alternativproduktions-metoden** Metod för allokering (fördelning) av miljöpåverkan mellan el och värme i ett kraftvärmeverk, se PCR Productcategory-specific Rules for preparing an Environmental Product Declaration (EPD) for Electricity and District Heat Generation, PSR 2004:2, annex 2. [www.environdec.com](http://www.environdec.com)

**Biotopmetoden**<sup>®</sup> Metod för kvantifiering av påverkan på biologisk mångfald. [www.vattenfall.se](http://www.vattenfall.se)

**ECLIPSE** Environmental and eCological Life cycle Inventories for present and future Power Systems in Europe, utvecklingsprojekt inom EU's femte ramprogram, område "Energy Environment and Sustainable Development". Databas med LCI-data om nya och kommande decentraliserade elproduktionssystem. [www.eclipse-eu.org](http://www.eclipse-eu.org)

**ecoinvent** Schweizisk databas för LCA. [www.ecoinvent.ch](http://www.ecoinvent.ch)

**EUs Elmarknadsdirektiv** Hittar du på EUs huvudportal. [http://europa.eu.int/index\\_sv.htm](http://europa.eu.int/index_sv.htm)

**Forsmarks Kraftgrupp** Här hittar du mer information om Vattenfalls kärnkraftverk. [www.forsmark.com](http://www.forsmark.com)

**Miljöstyrningsrådet** Förvaltar EPD-systemet. Har alla EPDer och metoddokument tillgängliga på hemsidan. [www.environdec.com](http://www.environdec.com)

**MSR 1999:2** Bestämmelser för certifierade miljövarudeklarationer, EPD, tillämpning av ISO TR 14025 TYP III MILJÖDEKLARATIONER, AB Svenska Miljöstyrningsrådet, 2000. [www.environdec.com](http://www.environdec.com)

**PSR 2004:2** PCR Productcategory-specific Rules for preparing an Environmental Product Declaration (EPD) for Electricity and District Heat Generation, PSR 2004:2. [www.environdec.com](http://www.environdec.com)

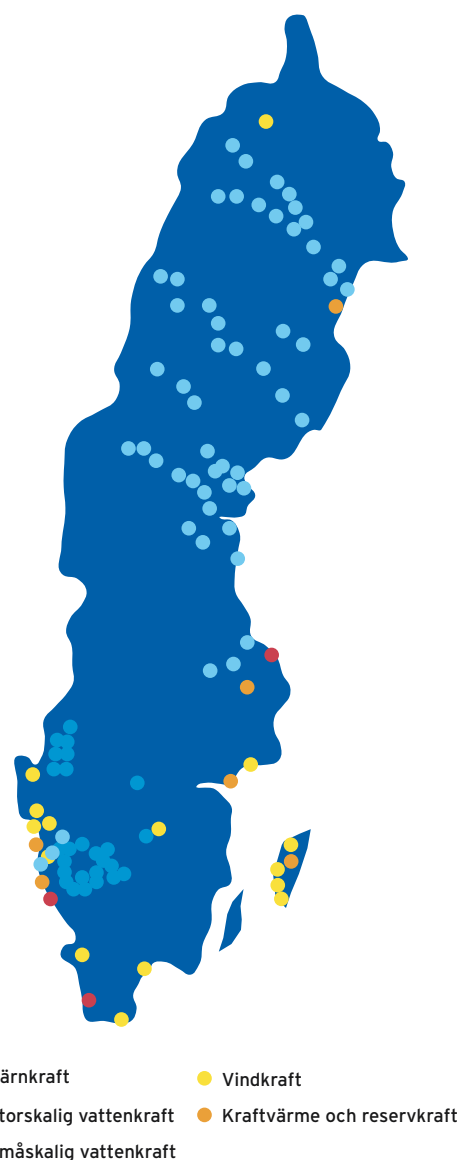
**Ringhals AB** Här hittar du mer information om Vattenfalls kärnkraftverk. [www.ringhals.se](http://www.ringhals.se)

**SIS, Swedish Standards Institute** Här hittar du information om och kan beställa standarder för LCA och EPD, ISO 14040 ff, ISO TR 14025. [www.iso14000.nu](http://www.iso14000.nu)

**SKB Svensk Kärnbränslehantering** Har i uppdrag att ta hand om det radioaktiva avfallet från de svenska kärnkraftverken, men tar också hand om annat radioaktivt avfall. [www.skb.se](http://www.skb.se)

**Vattenfall AB** Här hittar du mer information om Vattenfalls miljöarbete i Norden. [www.vattenfall.se](http://www.vattenfall.se)

**Vattenfalls Värnområden VVO** Områden som Vattenfall lovat sköta så att den biologiska mångfalden bevaras. [www.vattenfall.se](http://www.vattenfall.se)



### Energitermer

#### Effektenheter

Effekt är energi per tidsenhet

Effekt anges i watt (W)

1 kW (kilowatt) = 1 000 W

1 MW (megawatt) = 1 000 kW

1 GW (gigawatt) = 1 000 000 kW

#### Energienheter

Energi är effekt gånger tid

1 kWh (kilowattimme) = 1 kW under en timme

1 MWh (megawattimme) = 1 000 kWh

1 GWh (gigawattimme) = 1 000 000 kWh

1 TWh (terawattimme) = 1 000 000 000 kWh

#### Spänning

1 kV (kilovolt) = 1 000 volt (V)

### "Ögonmått" på energi

**1 kWh** räcker för att driva en normal bilküpévärmare ungefär en timme eller en 11 W-lågenergylampa i nästan fyra dygn.

**1 MWh** räcker för att värma en villa ett par veckor, produceras på 20 minuter i Vattenfalls största vindkraftverk när det blåser bra.

**1 GWh** räcker för elbehovet i en stad av Lunds storlek (cirka 100 000 invånare) under åtta timmar och kan produceras i Harsprångets vattenkraftstation på en timme eller i kärnkraftverket i Forsmark på 20 minuter.

**1 TWh** räcker för att driva två stora tidningspappersmaskiner i ett år. Räcker för att driva alla Sveriges tåg, tunnelbanor och spårvagnar i fem månader. Produceras av Ringhals kärnkraftverk på 12 dagar.



