



SVENSKT NÄRINGSLIV



Risk- och sårbarhetsanalys av utökad elektrifiering av svenska samhället

APRIL 2022

Författare: Sweco
Omslagsfoto: Mostphotos

Innehåll

Förord	2
Disclaimer	3
Sammanfattning	4
Ordlista	6
1. Inledning	7
1.1 Olika orsaker och kategorisering till och av elavbrott	10
1.2 Hur påverkas samhället över tid vid elavbrott och vem bär ansvar för vad?	12
1.3 Samhällsekonomiska konsekvenserna av elavbrott	15
2. Djupdykning i elavbrotts samhällsekonomiska kostnader i Sverige	19
2.1 Leveranssäkerhet i Sveriges elnät	19
2.2 Historik analys av elavbrottskostnader och scenarion framåt	23
2.3 Om ett större avbrott skulle inträffa i dag – vad kostar det?	26
2.4 Elavbrott med ytterligare elektrifiering – vad kostar det?	28
3. Slutsatser	34
4. Appendix	37
4.1 Det finns ett antal olika metoder för att skatta elavbrottskostnader	37
4.2 Litteraturstudien visar bland annat på att elavbrott utomlands inneburit mycket signifikanta samhällsekonomiska kostnader	39

Förord

Tillgången till stabil, säker och konkurrenskraftigt prissatt el har varit en grundläggande förutsättning för framväxten av den svenska exportindustrin och för hela det svenska samhället. På senare år har också värdet av Sveriges, i princip helt fossilfria elproduktion, kommit att uppmärksammas allt mer i takt med att klimatomställningsarbetet inom näringslivet har intensifierats.

Omställningen och samhällsutvecklingen kräver dock att vi kan använda mer el och att elektrifieringen blir betydligt mer omfattande än idag. Utfasningen av gammal produktion och de stora tillkommande behoven gör att Sverige i princip kommer att behöva bygga upp ett nytt elsystem under de kommande 25 åren. Samtidigt som ökad elanvändning och elektrifiering innebär stora effektivitets- och klimatvinster så kommer förändringen också medföra nya utmaningar som måste mötas i arbetet med att bygga upp det nya svenska elsystemet.

Användningen av fossila bränslen har dock inneburit en möjlighet att på ett kostnads-effektivt sätt lagra energi över längre tidsperioder och har gett en diversifiering av användbara energislag inom transportsektorn och industrin. Det har i sin tur bidragit till en mer robust energiförsörjning. Men nu när elektrifieringen kommer starkt kan det innebära en ökad sårbarhet eftersom alternativen blir färre.

Dessa aspekter på försörjningstryggheten i energisystemet måste adresseras på ett tydligt sätt för att skapa förtroende för elsystemet, något som är helt avgörande för att nödvändiga investeringsbeslut ska kunna fattas. Det är investeringsbeslut som både lägger grunden för fortsatt tillväxt och välstånd men även för den klimatomställning som måste göras.

I den här rapporten har Svenskt Näringsliv bett konsultbolaget Sweco att göra en risk- och sårbarhetsanalys av hur en utökad elektrifiering kan komma att påverka det svenska samhället. Rapportförfattarna står för slutsatserna och beräkningarna i rapporten.

Analysen påvisar vikten av att försörjningstrygghetsfrågorna lyfts fram på ett tydligare sätt och sätter också fingret på konsekvenserna av stora elavbrott i ett mer elektrifierat samhälle. Paralleller dras till erfarenheter från elavbrott både i Sverige och i andra länder.

Med ökad elektrifiering ökar känsligheten för avbrott, konsekvenserna blir större och riskerna för att avbrott uppstår blir fler. Med den här rapporten vill Svenskt Näringsliv ge ett bidrag till en mer mångfacetterad diskussion kring det framtida svenska elsystemet, där frågan om försörjningstrygghet bör ta en större plats än idag.

Stockholm 2022-03-01

Marie Knutsen-Öy
Ansvarig för energipolicy
Svenskt Näringsliv

Disclaimer

While Sweco Sverige AB ("Sweco") considers that the information and opinions given in this work are sound, all parties must rely upon their own skill and judgement when making use of it. Sweco does not make any representation or warranty, expressed or implied, as to the accuracy or completeness of the information contained in this report and assumes no responsibility for the accuracy or completeness of such information. Sweco will not assume any liability to anyone for any loss or damage arising out of the provision of this report.

Rapportnamn	Risk- och sårbarhetsanalys av utökad elektrifiering av svenska samhället
Datum för färdigställande	2021-11-01, mindre justering 2021-12-14
Versionsspårning	7
Projektledare	Monika Topel
Författare	Monika Topel, Erica Edfeldt Wehtje, Annie Olofsson, Martin Berg
Kvalitetsgranskare	Erica Edfeldt Wehtje, Emma Carlmark

Sammanfattning

Det svenska samhället är i stor utsträckning redan elektrifierat, och vi går mot ytterligare elektrifiering. För att nå till netto-noll utsläpp år 2045 har många branscher och aktörer samlats kring färdplaner som redogör för hur de ska ställa om till att vara fossilfria. En stor del av lösningen är att elektrifiera mer, inte minst inom transportindustrin och processindustrin som båda använder mycket energi. Ytterligare elektrifiering påverkar sårbarheten i samhället vid både kortare och längre elavbrott. De avbrott vi sett idag i Sverige har varit relativt begränsade jämfört med de avbrott som har inträffat i andra länder såsom exempelvis i Texas i USA och i Japan. Tidigare elavbrott i Sverige har till största del uppstått på grund av väderrelaterade orsaker. Risken för väderrelaterade orsaker förväntas öka framåt på grund av klimatförändringar, även om ökad nedgrävning av kablar, så kallad kablifiering, i vissa områden minskar denna risk. Vidare ses risken för andra sorters avbrott, som kopplar an till elsystemet i sig, öka betydligt framöver. Det handlar om risk för timmar av effektbrist på nationell nivå, vilket lyfts i Svenska Kraftnäts långsiktiga marknadsanalys 2021, samt risken för lokal kapacitetsbrist på grund av otillräcklighet i elnätet.

Syftet med denna rapport är att visa hur väl samhället idag står rustat för att klara av elavbrott samt vilka kostnader som är förenade med avbrott och om dessa ändras med avbrottets längd och med ytterligare elektrifiering.

Avbrottskostnaderna är inte jämnt fördelade mellan olika elanvändare. Generellt är värderingen i hushållssektorn relativt låg, medan handeln påverkas relativt mycket även vid kortare avbrott. De som dock har den största kostnaden, framförallt vid elavbrott som drar ut på tiden, är industrin. Vissa delar, eller subsektorer, inom industrin har infört reservkapacitet och påverkas därför inte på kort sikt i samma omfattning som handeln. De påverkas dock desto mer på längre sikt då maskiner riskerar att skadas, leveransåtaganden inte uppfylls och försäljning uteblir. Samtidigt innebär reservkraft i sig en kostnad. Sammanfattningsvis är handeln mest sårbar på grund av avsaknaden av resiliens vid avbrott, medan industrin generellt är den sektor med störst kostnader vid elavbrott.

De förväntade samhällsekonomiska kostnaderna – idag och framåt – vid elavbrott har beräknats i denna rapport genom tre hypotetiska fall. Det första avser att påvisa vilka kostnader ett längre oaviserat avbrott skulle orsaka om det skulle drabba hela SE3. Fall ett påvisade att om ett elavbrott på 105 timmar skulle äga rum idag i hela SE3 skulle de totala samhällsekonomiska kostnaderna uppgå till 45,5 miljarder kronor. Industri och handel skulle vara de användarsektorer som drabbades av högst kostnader, industrin skulle få stå för 47 % av de totala kostnaderna och handeln för 41 %.

Fall två och tre är framtidsscenarioer med en ökad elektrifieringsgrad i hela samhället och en ökad effektbrist. Fall två analyserar de samhällsekonomiska kostnaderna från avbrott orsakade av effektbrist för hela Sverige år 2035 (2,8 miljarder kronor) och 2045 (195,2 miljarder kronor) Enligt de antaganden Sweco gjort sett till den ökade elanvändningen i norra Sverige förväntas SE1 drabbas av högst kostnader både 2035 (59 % av kostnaderna) och 2045 (68 % av kostnaderna) följt av SE3 (25 % respektive 19 %), SE2 (10 % respektive 7 %) och SE4 (7 % respektive 6 %). Den användarsektor som drabbas hårdast är industrin med en förväntad kostnadsandel på 84 % av de totala kostnaderna både 2035 och 2045 och handeln för cirka 12 %.

Fall tre är en kombination av de två första fallen och avser att besvara hur höga kostnader ett längre oaviserat avbrott på 4 timmar kan leda till år 2045, i ett i högre grad elektrifierat samhälle. De totala kostnaderna uppgår till 15,3 miljarder kronor. Resultatet är betydligt lägre än i fall två där avbrottstiden istället för fyra timmar baseras på tiden för effektbrist 2045. Fördelningen av kostnader per elområde är 68 % för SE1, 7 % för SE2, 19 % för SE3 och 6 % för SE4 för båda fallen. Fördelningen av kostnader per användarsektor är 84 % för Industri, 12,3 % för Handel/Tjänster, 2 % för Offentlig Verksamhet och 1,8 % för Hushåll för båda fallen.

Om ett större avbrott i hela SE 3 skulle äga rum under fyra timmar år 2045 uppskattas kostnaderna bli 50 % högre jämfört med om motsvarande avbrott skulle inträffa i dag. Samma exempel för SE1 – som har en kraftig antagen elanvändningsökning – visar på 33 gånger högre kostnader för avbrott än om det skulle inträffa i dag, något som kan minskas av den flexibilitet som vätgasproduktion i norra Sverige förväntas kunna bidra med.

Rapporten belyser vikten för Sverige att förbereda sig på att minska risken för elavbrott framåt samt att hantera dem när de uppstår. Reservkraft finns idag på relativt få ställen i det svenska samhället eftersom det är förenat med en kostnad. Att behöva förlita sig på just reservkraft kan dock komma att bli vanligare eftersom antalet avbrott och dess kostnader riskerar att öka. Det vore något av en tillbakagång för det svenska elsystemet, där elsystemet i sig tidigare varit pålitligt och reservkraft inte behövts. Vidare analys kring hur samhället kan förebygga risker för elavbrott bör därför göras.

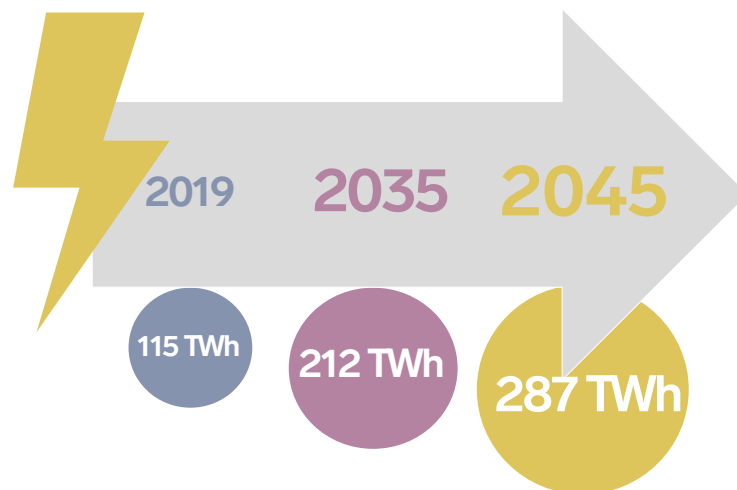
Sammanfattningsvis är det betydligt billigare att förebygga än att ta de kostnader som uppkommer vid ett betydande avbrott. Det bör därför finnas en kollektiv betalningsvilja för att investera förebyggande åtgärder för att undvika de problem som annars ligger framför oss. Vilka aktörer som ska investera och på vilket sätt bör analyseras så att den mest samhällsekonomiska lösningen väljs. En ökad elektrifiering är gynnsam både för klimatet och för Sveriges konkurrenskraft, men tillgången på fossilfri, leveranssäker och prismässigt konkurrenskraftig el bör säkras. Det är nu som Sverige behöver agera för att förbereda oss inför vår elektrifierade framtid.

Ordlista

- VoLL (*Value of Lost Load* eller Värdet av förlorad last) – En gemensam indikator som sätter ett pris på kostnaden för elavbrott. VoLL mäts i kronor per kWh och dess främsta syfte är att sätta ett pris på den förlorande elen under tiden den inte finns tillgänglig.
- ILE (*Icke Levererad Energi*) – Den effekt som inte levereras under en viss tid, med andra ord utebliven energi. Benämns *EENS* om det är beräknad i förtid, det vill säga förväntad ILE.
- LOLE (*Loss of Load Expectation* eller Förväntad förlorad last) – motsvarar det förväntade antalet timmar per år som det av inte finns tillräckliga resurser för att möta all efterfrågan på el i Sverige.
- SAIDI (*System Average Interruption Duration Index*) – ett kundviktat tillförlitlighetsindex för elsystemet. Indexet kan både användas för att beräkna historiska händelser eller för att simulera framtida scenarier. Enheten är avbrottsid per kund och år. Redovisas vanligtvis i minuter eller timmar.
- SAIFI (*System Average Interruption Frequency Index*) – ett tillförlitlighetsindex för den genomsnittliga avbrottsfrekvensen, enheten är antal avbrott per kund och år.
- CAIDI (*Customer Average Interruption Duration Index*) – ett tillförlitlighetsindex för genomsnittlig avbrottsid per kundavbrott. CAIDI är lika med SAIDI/SAIFI. Enheten är vanligtvis minuter eller timmar.

1. Inledning

Sverige har under lång tid och i hög grad kunnat förlita sig på ett robust och leveranssäkert elsystem. En ökad elanvändning, tillsammans med ökade risker för extremväder till följd av klimatförändringarna, väntas dock omkullkasta robustheten och skapa en högre sårbarhet i elsystemet. Detta kommer leda till en ökad sårbarhet och inlåsnings-effekt som skapas då tillit sätts till endast ett (eller få) samhällsbärande energisystem och som kommer bli alltmer påtaglig vid elavbrott. Det ökade elberoendet växer fram inom såväl infrastruktur som digitalisering. Hushåll använder i ökad takt smarta styrsystem och digitala affärs- och säkerhetslösningar utvecklas i snabb takt inom näringslivet. Elektrifierade fordon intar redan våra vägar och snart ser vi även elektrifiering till sjöss och i luften. Redan etablerade och nya industrier planerar omfattande investeringar för att driva på klimatomställningen, och majoriteten av dem medför en enorm ökning i elanvändning. Svenska Kraftnät har utvecklat olika scenarion för Sveriges elanvändning framåt, det med högst elektrifieringsgrad för 2035 och 2045¹ visas i Figur 1.

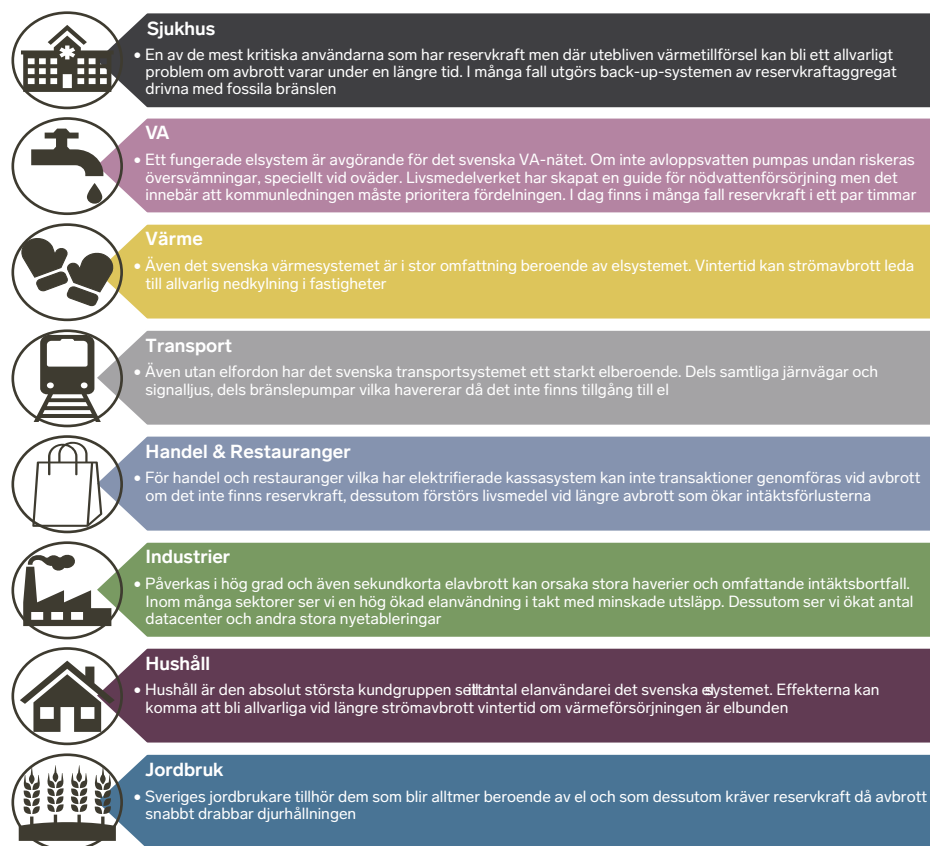


Figur 1. Svk:s högsta elektrifieringsscenario för Sveriges elanvändning framåt.

Källa: Svk (Svenska Kraftnät)

¹ Svenska Kraftnät – Långsiktig marknadsanalys 2021: Scenarier för elsystemets utveckling fram till 2050, Svk 2019/3305. Tillgängligt: <https://www.svk.se/siteassets/om-oss/rapporter/2021/langsiktig-marknadsanalys-2021.pdf>

Sveriges elanvändning kan delas upp i tre huvudsakliga aktörer: Industri, Transporter och Bostäder och service². Dessa kan i sin tur brytas ned, med avseende på elanvändning och sårbarhet, till de åtta sektorer³ som visas i Figur 2. Sett till klimatomställningen – vilken i många fall är drivkraften för samhällets elektrifiering – ligger Sverige i framkant, både i Europa och globalt. Det beror till stor del på gynnsamma förutsättningarna för att producera fossilfri el till ett historiskt lågt pris. Fördelarna med den svenska elproduktionen förväntas dock bli alltmer begränsade i framtiden inte bara med avseende på den ökade efterfrågan på el. Vi ser också nedläggning av planerbar kraftoch en allt mer internationaliserad elmarknad med risk för stigande priser.



Figur 2. En översikt av viktiga elanvändare för samhället och deras elberoende.

Källa: Sweco Analys & Energimyndigheten

² Statens Energimyndighet, Energiläget 2021 – en översikt, ET 2021:10. Tillgängligt: <https://energimyndigheten.a-w2m.se/Home.mvc?ResourceId=198021>

³ Konsekvenser av elavbrott i Sydsvetrike den 23 september 2003, Energimyndigheten ER 4:2004 ISSN 1403-1892

Digitaliseringen går hand i hand med elektrifieringen och krävs för att koordinera och skapa framtidens effektiva och smarta system. Sommaren 2021 såg vi konsekvenser liknande de som kan uppstå vid ett elavbrott, denna gång orsakat av ett datahaveri hos Coop. Störningen resulterade i omfattande kostnader genom förstörda varor och uteblivna intäkter från försäljning då många butiker tvingades hålla stängt under flera dygn. Samtidigt blev det ett uppvaknade för hela samhället att se hur sårbara våra system är. Stormen Gudrun som ägde rum 2005 blev också ett obekvämt uppvaknade, med totala kostnader på ungefär 2 miljarder kronor, men i takt med relativt god leveranssäkerhet av el efter det har debatten kring elavbrott tystnat.

Vid elavbrott drabbas samtliga användare anslutna till nätet eftersom det inte finns någon hierarki i elförsörjningen, däremot finns det olika typer av reservkraft och prioriteringar beroende på typ av avbrott. Målsättningen med rapporten är att uppmärksamma sårbarheten sett till inläsningseffekten som uppstår med ökat elberoende och hur väl förberedda vi är i dagsläget för elavbrott. Vidare beräknas, analyseras och utvärderas i rapporten vad ett avbrott kostar samhället både idag och åren 2035 och 2045 när vi ser ett ökat elberoende. Innan avbrottskostnader och scenarion beräknas presenteras fem steg enligt Figur 3, för att skapa förståelse och ge en bakgrund till vad elavbrott innebär för samhället, hur väl förberedda vi är i dag och vem som bär ansvar för när ett avbrott uppstår. Vidare integreras även inspel från industrier, branschorganisationer och företag inom handeln för att få deras bild av elavbrott och framtida utmaningar.



Figur 3. Rapportens fem steg för bakgrund till elavbrott.

Källa: Sweco Analys

1.1 Olika orsaker och kategorisering till och av elavbrott

Elavbrott inträffar av olika anledningar, vanligtvis är orsaken inte en enda händelse utan resultatet av en kombination av flera funktionsstörningar varav några exempel är; oförutsedda störningar i kraftverk, ett plötsligt ökat energibehov, skadad elektrisk utrustning, felhantering vid underhållsarbete eller strömlinjekollaps⁴. Även externa faktorer såsom cyberattacker eller extremväder, kan ligga bakom. De vanligaste orsakerna sammanfattas i Figur 4.



Figur 4. Sammanställning av fyra orsaker vilka ligger bakom elavbrott.

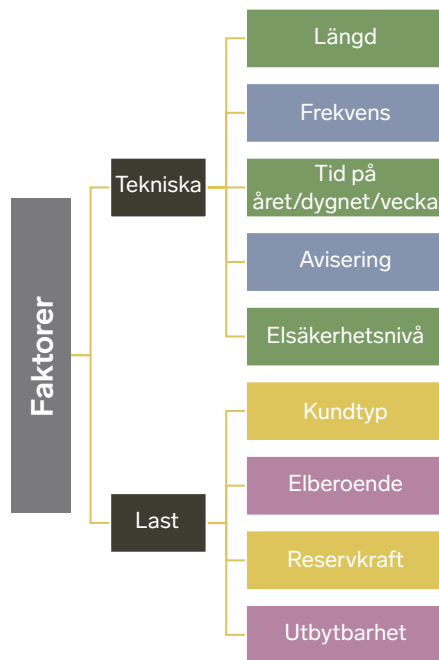
Källa: Sweco Analys

Sett till utmaningarna i samband med energi- och klimatomställningen, ökar risken för avbrott enligt alla fyra punkter ovan. Efterfrågan på el förväntas öka och därmed också effektbehovet och överföringskapaciteten i näten. Tekniska fel riskerar att uppstå på många platser i olika värdekedjor, både på elanvändningssidan och på produktionssidan. Det beror både på att näten expanderar och blir alltmer digitaliserade och på indirekta mänskliga handlingar, såsom brist på tillräckligt underhåll och investeringar. Det finns även faror som hittills påverkat andra länder än Sverige⁵, exempelvis jordbävningar, stora bränder och riktade attacker mot elsystemet. Orsaken bakom avbrottet kommer vara avgörande för avbrottets karaktär och dess konsekvenser. I allmänhet klassificerarnas elavbrott enligt två kategorier: tekniska eller lastbundna⁶ vilka ses i Figur 5.

⁴ Sweco Analys

⁵ B. Gustavsson, P. Albertsson and R. Kolessar, "Regulation of risk and vulnerability analysis in distribution networks – The Swedish experience," CIREN 2009 – 20th International Conference and Exhibition on Electricity Distribution – Part 1, 2009, pp. 1-4, doi: 10.1049/cp.2009.0879.

⁶ A. Ratha, E. Iggländ and G. Andersson, "Value of Lost Load: How much is supply security worth?," 2013 IEEE Power & Energy Society General Meeting, 2013, pp. 1-5, doi: 10.1109/PESMG.2013.6672826.



Figur 5. Olika faktorer vilka karakteriserar elavbrott.

Källa: Sweco Analys

Distinktionen mellan kategorierna skiljer ett avbrott från ett annat och har en avsevärd effekt på kostnaden för varje individuellt avbrott. De tekniska faktorerna beskriver ramvillkoren som begränsar avbrottet medan lastfaktorer i sin tur avser effekter och skador som uppstår hos de drabbade elkunderna. Graden av de olika parametrarna inom de två klassificeringarna avgör i sin tur vilken karaktär avbrottet får där vissa är mer avgörande än andra. Avbrottets varaktighet och frekvens har naturligtvis stor inverkan och påverkar olika typer av kunder på olika sätt. För de kunder som har reservkraft förvärras problemen givetvis om denna reservkraft tar slut. Även kortare avbrott kan få stor påverkan, främst för industri och handel, eftersom dessa sektorer i regel har ett starkt elberoende och i många fall saknar någon form av reservkraft för antingen hela eller delar av sin verksamhet. Även planerade elavbrott som aviseras i förväg kan orsaka problem men eftersom dessa avbrott kan planeras kan förebyggande åtgärder vidtas.

Tiden på året är en viktig faktor tillsammans med var avbrottet sker geografiskt, samt hur stort elberoendet är. För eluppvärmda hushåll och lokaler likt vårdinstanser, skolor och arbetsplatser riskerar längre avbrott vintertid att utgöra en stor fara. Många större sjukhus har reservkraft men den inkluderar sällan behovet av värme. Samtidigt som klimatförändringen förväntas medföra varmare klimat kan samma risk uppstå under sommaren sett till utebliven tillgång till luftkonditionering. För elkunder inom handel kan avbrott, beroende när på året det sker, exempelvis under storhelger, orsaka betydande kostnader genom uteblivna intäkter.

”Skulle ett elavbrott uppstå under Black Friday eller julveckan påverkar det hela årets resultat”

– Klädföretag inom detaljhandel

Elberoende och utbytbarhet avser i vilken utsträckning en industri har möjlighet att nyttja alternativa energikällor som kol, olja eller gas istället för el på kort sikt. För privatkunder är motsvarigheten exempelvis möjligheten att kunna använda gasspis för matlagning vid elavbrott.

1.2 Hur påverkas samhället över tid vid elavbrott och vem bär ansvar för vad?

Beroende på vilken faktor som ligger bakom avbrottet finns olika sätt att hantera problemet. Om det skulle uppstå effekt eller elbrist finns möjligheter att prioritera samhällsviktiga elanvändare, liksom sjukhus, äldreomsorg och räddningstjänst med så kallad styrel.⁷ Vem som bär ansvaret för prioriteringen på olika nivåer⁸ ses i Figur 6. Om avbrottet istället beror på exempelvis extremväder riskerar hela områden att slå ut och upprätthållandet av elförsörjningen kan då endast förlita sig på reservkraftstillgång.

Olika typer av elkunder påverkas olika av samma typ av avbrott. I en mycket vid bemärkelse kan kunder delas in i bostäder respektive kommersiella sektorer. Denna uppdelning bygger på det faktum att hushåll, till skillnad från kommersiella kunder, inte använder el för att producera marknadsvaror. Varje berörd kund får ökade avbrottskostnader under tiden avbrottet varar men beroende på kundens elanvändning kan avbrott för några få stora kunder leda till högre kostnader än för många små. De flesta institutioner med kritiska krav på el, har förinstallerade reservkraft som nämnts tidigare, liksom stora sjukhus, VA och vissa delar inom industri och handel.

Inom handeln finns i vissa fall reservkraft med främsta syfte att genomföra säkra nedstängningar. Där det inte finns slutar kassasystemen att fungera i samma stund som avbrottet sker. När kassasystemen ligger nere finns ingen möjlighet att genomföra transaktioner – inga köp eller byten kan genomföras. Däremot går det i regel snabbt att återställa systemen vid avbrottens slut. Livsmedelshandeln påverkas dessutom genom att frysar och kylar stängs av, även om de innehar en viss tröghet.

**”I frysar stiger temperaturen med en grad var tjugonde minut.
Längre avbrott orsakar därför inte endast intäktsbortfall från
utebliven försäljning utan även förstörda produkter”**

– ICA

För industrier kan kortare avbrott på en millisekund åstadkomma omfattande skador vilka i värsta fall kan ta veckor att åtgärda. Många processindustrier har mångmiljardbelopp investerade i sina anläggningar. Råvaruomsättningen är stor

⁷ Krisinformation, Reservkraft och styrel, tillgängligt: <https://www.krisinformation.se/detta-kan-handa/stromavbrott-ny/styrel>

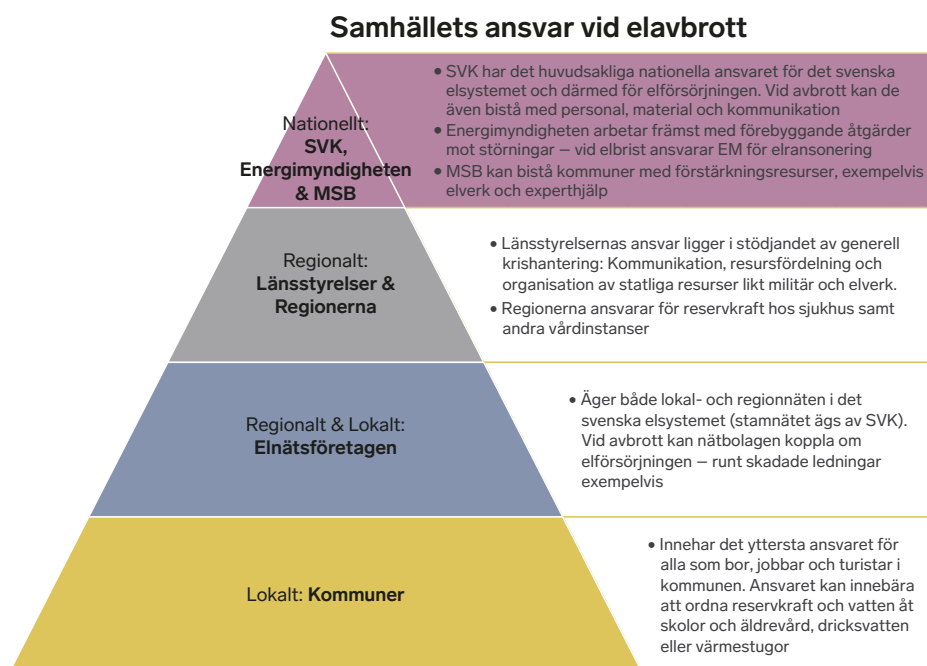
⁸ Krisinformation, Samhällets ansvar vid strömavbrott, tillgängligt: <https://www.krisinformation.se/detta-kan-handa/stromavbrott-ny/samhallets-ansvar-vid-stromavbrott>

och produktionen är beroende av ett konstant flöde vilket upphör om det inte finns el tillgängligt. Till följd av de stora investerade värdena och konsekvenserna av ett elavbrott har industrin ett säkerhets- och redundanstänk integrerat i sina riskbedömningar samt när det planeras för nybyggnationer eller förändringar. Det finns i många fall reservkraft vid känsliga punkter, där både stora kostnader och framför allt säkerhet riskeras vid en avsaknad av el. Dock går det inte att ha back-up-system överallt inom en stor industri.

”Varje blink stannar ofta stora delar av anläggningen och det kan ta åtskilliga timmar innan vi är tillbaka i full skala”

– Cementa

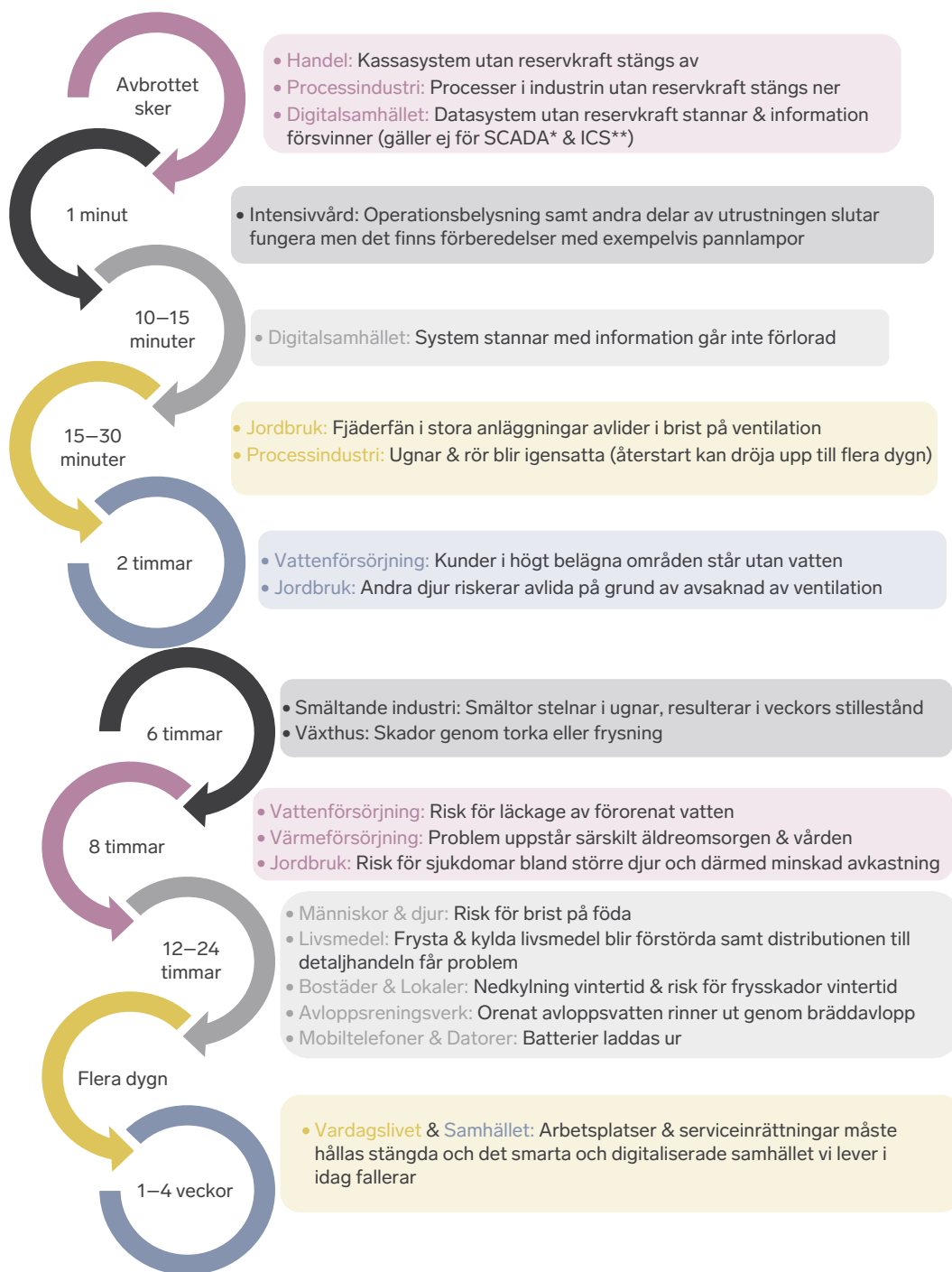
För att skapa en bättre förståelse över vad som sker vid ett elavbrott⁹ har Figur 7 tagits fram. Här inkluderas inte reservkraft i någon större utsträckning eftersom det skiljer sig mellan olika aktörer, även inom samma kundkategori. Att ha reservkapacitet är även förknippat med kostnader, och det är inte rimligt att varje enskild aktör ska kunna säkra sin egen elförsörjning med hjälp av reservkraft.



Figur 6. Olika aktörers ansvar vid elavbrott från lokal till nationell nivå.

Källa: Krisinformation

⁹ Konsekvenser av energibortfall på samhällets funktionalitet och civilbefolkningens hälsa, FOI-R--4755—SE, 2019



Figur 7. En tidslinje över hur olika delar av samhället påverkas vid elavbrott.

* Supervisory Control And Data Acquisition, ** Industrial control system (båda är datasystem som används för styrning och övervakning).

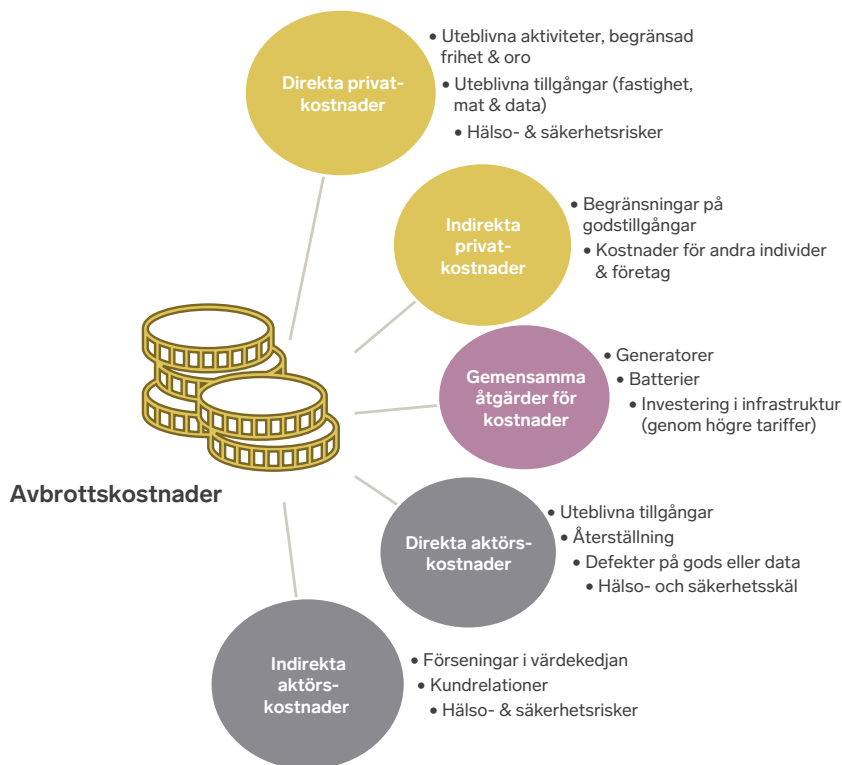
Källa: Sweco Analys, intervju med MSB & FOI

1.3 Samhällsekonomiska konsekvenserna av elavbrott

Moderna industrialiserade samhällen är extremt beroende av el och el kan därför betraktas både som en väsentlig insatsfaktor för alla ekonomiska processer och också som grunden för många former av fritidsaktiviteter. Ur ekonomisk synvinkel kan det därför hävdas att i princip all ekonomisk verksamhet upphör när det inte finns någon elektricitet. Dessutom kan konsekvenserna av ett elavbrott uttryckas i form av monetära förluster.

Det finns olika kostnadstyper och kategorier för de olika slutanvändningsgrupperna. I allmänhet finns det två typer av kostnader: skadekostnader och åtgärderkostnader vilka finns kategoriserade i Figur 8. Skadekostnaderna kan i sin tur delas upp i direkta och indirekta kostnader. Direkta skadekostnader avser de som uppstår direkt hos företaget eller hos den berörda individen medan indirekta kostnader inkluderar monetära skador på andra på grund av till exempel försenade leveranser. Åtgärderkostnader är till exempel kostnader för inköp och drift av reservgeneratorer.

Kostnadskonsekvenserna för många industrier är stora vid elavbrott eftersom även kortare avbrott riskerar många och långa följdproblem där reservkraft saknas. Det innebär att intäktsbortfallet inte upphör när elen återvänder. Följdproblemen kan i sin tur generera förseningar om det är viktig utrustning som behöver bytas ut men inte finns i lager. Vidare påverkas hela värdekedjan nedåt från där avbrottet uppstår, vilket gäller för all typ av produktion och försäljning.



Figur 8. Olika kategorier av kostnader vid elavbrott.

Källa: Sweco Analys

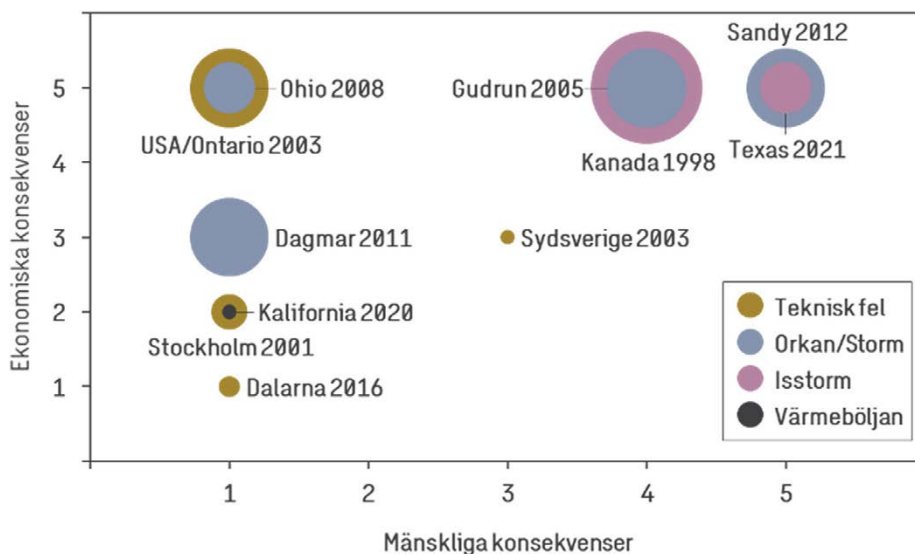
1.3.1 Jämförelse av svenska och internationella elavbrott och dess konsekvenser

För att sätta avbrott som har skett i Sverige i relation till internationella avbrott med allvarliga konsekvenser har en jämförelse gjorts baserat på inverkan på både mänskliga och ekonomiska konsekvenser, rankade enligt Tabell 1. Med inspiration från tidigare studier och med beaktning av de senaste större avbrotten i Sverige^{10,11,12}, har Figur 9 tagits fram.

Tabell 1. Skalar för konsekvensbedömning som använts för att kategorisera de händelser som beskrivs i Figur 9.

Skala	Mänskliga konsekvenser	Ekonomiska konsekvenser
1 Mycket Små	Inga döda eller svårt skadade, antal lätta skador	≤ 20 miljoner SEK
2 Små	1 död och/eller 1–9 svårt skadade	20–99 miljoner SEK
3 Medelstora	2–9 döda och/eller 10–49 svårt skadade	100–499 miljoner SEK
4 Stora	10–49 döda och/eller 50–100 svårt skadade	500 miljoner – 1 miljard SEK
5 Mycket stora	≥ 50 döda och/eller > 100 svårt skadade	≥ 1 miljard SEK

Källa: FOI



Figur 9. Ekonomiska och mänskliga konsekvenser vid inträffade elavbrott, bubbelstorlekar representerar incidenters varaktighet och färgerna representerar huvudorsaken (X och Y skala görs enligt Tabell 1).

Källa: FOI och Sweco Analys

¹⁰ Konsekvenser av energibortfall på samhällets funktionalitet och civilbefolkningens hälsa, FOI-R--4755--SE, 2019

¹¹ Kalifornien roterande bortfall i nyheter i : <https://eu.desertsun.com/story/news/environment/wildfires/2020/08/19/california-power-outages-rolling-blackouts-why-they-happening-again/5612003002/>; <https://www.cnn.com/2019/10/10/pge-power-outage-could-cost-the-california-economy-more-than-2-billion.html>; <https://www.bloomberg.com/news/articles/2021-07-10/california-orders-stage-2-grid-emergency-power-shortfalls-loom>

¹² C. King, J. Rhodes, J. Zarnikau, The timeline and events of the February 2021 Texas Electric Grid Blackouts, The University of Texas at Austin, July 2021. Tillgängligt: <https://energy.utexas.edu/sites/default/files/UTAustin%20%282021%29%20EventsFebruary2021TexasBlackout%2020210714.pdf>

Figur 9 visar även incidenternas varaktighet genom bubblornas storlek, desto större bubbla desto längre avbrott. Bubblornas färg visar huvudorsaken till avbrottet. Korrelationen mellan ökade kostnader och avbrottets längd utläses vid jämförelse av incidenter som klassades till en etta enligt låga mänskliga konsekvenser. Bubblornas kostnad stiger i takt med varaktigheten (cirkelns storlek). Det finns emellertid en spridning av incidenter av jämförbar varaktighet med olika mänskliga konsekvenser. Detta kan kopplas till beredskapsnivån i samhället, det blir generellt mindre mänskliga konsekvenser om samhället är bra förberett för avbrott. Ett konkret exempel på detta från Figur 9 är om Kalifornien 2020 jämförs med Texas 2021. En skillnad mellan de två avbrotten var under vilken årstid händelserna inträffade vilket hade påverkan på sårbarheten och kostnaderna sett till olika utomhustemperaturer. En annan distinktion mellan fallen är att bortkopplingen i Kalifornien aviserades innan medan det inte gjordes detsamma i Texas. I Kalifornien har dessutom roterande bortkoppling¹³ använts fler gånger och samhället är mer van vid denna åtgärd. Detsamma kan sägas angående Japans avbrottsincident 2021. På grund av Fukushima finns det liknade erfarenheter gällande beredskap och acceptans vad gäller roterande bortkopplingar. I Japan finns en högre medvetenhet hos framförallt hushåll vad gäller en mer sparsam elanvändning och detta har därför studerats som ett exempel på hur beteende och efterfrågeflexibilitet kan hjälpa att mildra konsekvenser av störningar i elsystemet¹⁴.

Händelseutvecklingen i Texas och Kalifornien är intressant att studera i ett svenskt perspektiv eftersom den skulle kunna ge ledtrådar om de utmaningar vårt eget elsystem står inför. I båda incidenter användes roterande bortkoppling av elkunder som åtgärd. En viktig observation från Texasincidenten är att kostnaderna för att undvika avbrottet skulle ha varit betydligt lägre (ett fåtal miljarder dollar) jämfört med kostnaderna för den faktiska incidenten (cirka 130 miljarder dollar, 1 183 miljarder kronor)¹⁵.

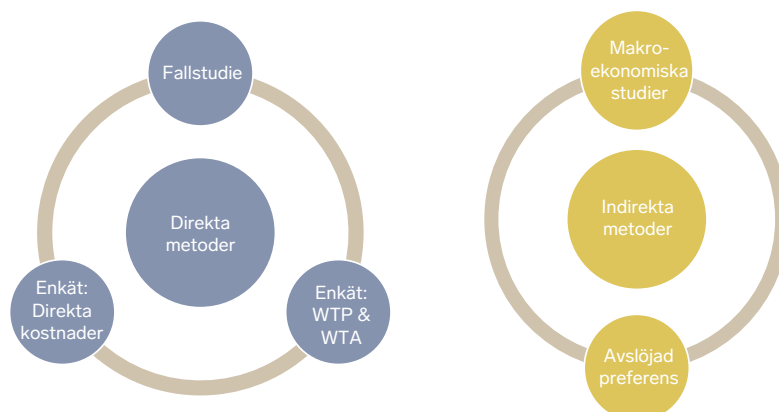
1.3.2 Elavbrottskostnader kan skattas med olika metoder

Det finns en gemensam indikator som sätter ett pris på kostanden för elavbrott som heter VoLL (Value of Lost Load, eller Värdet av förlorad last). VoLL mäts i kronor per kWh och dess främsta syfte är att sätta ett pris på den förlorade elen under tiden den inte finns tillgänglig – vilket i flera fall är lättare sagt än gjort. Vid avbrott uppstår vissa konsekvenser som inte är linjära med tiden för avbrottet, till exempel kaskadeffekter för industrin eller effekter som är svåra att skatta i kronor, såsom förlorad fritid. I optimala fall uttrycker VoLL marginalkostnaden för de skador som uppkommer och som i teorin är lika med marginalkostnaden för motsvarande kostnad att upprätthålla leveranssäkerheten. Med andra ord är VoLL en ekonomisk indikator för den sammanlagda kostnaden för avbrott likväl en indikator för vad ett elsystem utan avbrott är värt. Det finns en rad olika metoder för att sätta ett pris på elavbrott och beräkna VoLL. Metoderna går att dela upp i direkta eller indirekta enligt Figur 10 och finns mer utförligt beskrivna i Appendix.

¹³ Vid föraviserade avbrott finns viss tillgång på el som "delas ut" till kunderna vid olika tillfällen under avbrottet

¹⁴ T. Makoto, I. Takanori, 2013 Voluntary electricity conservation of households after the Great East Japan Earthquake: A stated preference analysis, *Energy Economics*, Vol: 39, pp 296-304.

¹⁵ J. Busby et al. (2021) "Cascading risks: Understanding the 2021 winter blackout in Texas", *Energy Research & Social Science*, Vol 77, 102106



Figur 10. Beskriver direkta och indirekta metoder för att utvärdera VoLL.

Källa: Sweco Analys

Alla metoder i Figur 10 kan användas för att beräkna VoLL. Med detta i åtanke bör jämförelse av olika studier och länder göras med försiktighet eftersom alla metoder varierar i någon grad sett till frågeformuleringen, avbrottsscenarion, avbrottsintervall, dataformat och normaliseringsfaktor. I Sverige har enkätbaserade studier genom WTP (*Willingness to Pay* eller *Betalningsvilja*) genomförts sedan 1969. När effekterna av avbrott är mindre påtagliga och den monetära förlusten är svårare att utvärdera (till exempel för hushåll), tillfrågas människor om deras WTP för att undvika avbrott. Med andra ord: Vad är ett hushåll villigt att betala för att undvika avbrottet?

Generellt sett är enkätstudier den bästa metodiken då det går att behandla faktiska avbrott eller uppskattade kostnader genom att kunder får vara med och delta. En studie jämförde resultaten från åren 1969 och 1979 och fann att det nationella VoLL hade fördubblats under denna tid till 27,2 SEK/kWh¹⁶ för 2 timmar avbrott, vilket motsvarar 103 SEK/kWh idag. De omfattande elavbrotten orsakade av stormen Gudrun 2005 utgjorde en samhällsekonomisk kostnad på cirka 4–5 miljarder kronor¹⁷. Enligt det utsända frågeunderlaget till utvalda företag framgick det att det beräknade totala leveransbortfallet uppgick till 111 GWh¹⁸. Detta indikerar en VoLL på 36,03 SEK/kWh relaterad till katastrofens fallstudie, vilket motsvarar 43,75 SEK/kWh för dagens prisnivåer.

¹⁶ R. Anderson, L. Taylor, The social cost of unsupplied electricity: a critical review, *Energy Economics*, 8 (3) (1986), pp. 139-146

¹⁷ Statens Energimyndighet, Stormen Gudrun – vad kan vi lära av naturkatastrofen 2005? Tillgänglig: <https://www.energimyndigheten.se/trygg-energiforsorjning/lardomar-fran-intraffade-handelser/stormen-gudrun/>

¹⁸ Statens Energimyndighet, Stormen Gudrun – Konsekvenser för nätbolag och samhälle, ER 16:2005

2. Djupdykning i elavbrotts samhällsekonomiska kostnader i Sverige

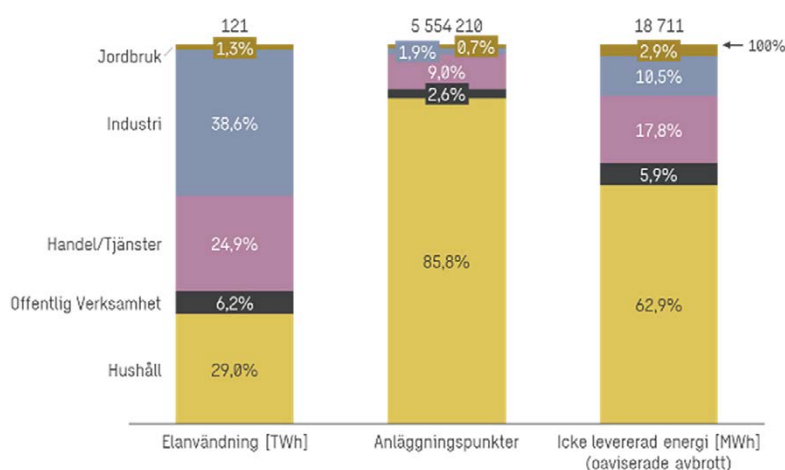
2.1 Leveranssäkerhet i Sveriges elnät

I början av 2000-talet började Energimarknadsinspektionen (Ei) att samla in elavbrottsdata från varje elnätsföretag på en aggregerad nivå. Några år senare, 2005, slog orkanen Gudrun till i Sverige och belyste det svenska elsystemets sårbarhet. Resultatet blev en ny uppsättning regler relaterade till elavbrott och mer detaljerade data på kundnivå har samlats in sedan 2010. I data från år 2000 och framåt kan en positiv tendens ses även om leveranssäkerhet fluktuerar från år till år på grund av bland annat väderhändelser. Leveranssäkerheten har varit något bättre under år med mildt väder och påverkan är numera mindre negativ under år med kraftiga stormar än tidigare, även om det fortfarande uppstår avbrott¹⁹. Några andra allmänna observationer från historisk statistik av elavbrott mellan 2000–2018¹⁹:

- Den genomsnittliga årliga avbrottstiden har varit betydligt högre under de år då stora stormar har inträffat i Sverige, till exempel 2005 (Gudrun), 2007 (Per) och 2011 (Dagmar).
- Den genomsnittliga avbrottslängden (SAIDI) påverkas mycket mer av enskilda väderhändelser än genomsnittlig avbrottsfrekvens (SAIFI).
- Avbrott i landsbygdsnät är både vanligare och längre än i nät med högre kundtätthet.
- Kraftiga stormar påverkar leveranssäkerhet i större utsträckning på landsbygden.
- Det finns i allmänhet en högre andel luftledningar (ibland fortfarande oisolerade) i landsbygdsnäten som gör systemet mer sårbart för väderhändelser. Dessutom saknar landsbygdsnät ofta redundans, vilket innebär att störningar leder till längre avbrott. Dessutom leder större avstånd ofta till längre tid för att upptäcka fel och att transportera ett reparationsteam. Andelen jordkablar har dock ökat även i landsbygdsnät efter 2005.

¹⁹ C. J. Wallnerström, M. Dalheim, M. Seratelius and T. Johansson, "Power outage related statistics in Sweden since the early 2000s and evaluation of reliability trends," 2020 International Conference on Probabilistic Methods Applied to Power Systems (PMAPS), 2020, pp. 1-6, doi: 10.1109/PMAPS47429.2020.9183500.

Figur 11 visar uppdelningar av kundkategorier med avseende på energiförbrukning, antalet anläggningspunkter och den icke levererade energin för oaviserade avbrott år 2019. Cirka 86 % av alla anläggningspunkter i Sverige utgörs av hushållskunder. Industrikunderna står för den största andelen av energiförbrukningen (38,6 %) följt av hushåll (29,1 %) och handel/tjänster (24,9 %). Från Figur 11 kan slutsatsen dras att relativt få användare med hög andel elanvändning drabbas mer av elavbrott än vissa andra kundgrupper, bland dem industrier och handel, just givet att de har en hög elanvändning. I slutändan beror detta dock på frekvensen och varaktigheten för avbrottet för respektive kund, vilket återspeglas i ILE (*Icke Levererad Energi*). I början av januari 2019 drabbades Sverige av stormen Alfrida som hade en betydande negativ påverkan på leveranssäkerheten i elnätet, speciellt med avseende på längden på avbrotten. Det genomsnittliga antalet avbrott (SAIFI) och avbrottstiden (SAIDI) för samtliga kundkategorier motsvarar 1,33 avbrott av 137,5 minuter. Den totala ILE för 2019 (för aviserade och oaviserade avbrott) motsvarar 0,02 % av den totala energiförbrukningen.



Figur 11. kundkategorier med avseende på elanvändning, antalet anläggningspunkter och icke levererad energi för oaviserade avbrott i Sverige året 2019.

Källa: Energimarknadsinspektionen

I den senaste statistiken för 2019²⁰ framgår att drygt 45 % av kunderna inte hade några avbrott alls under 2019, vilket är lägre än normalt (nivån brukar vanligtvis ligga på cirka 50 %). Ungefär 10 % av kunderna hade fler än tre avbrott. Dock hade enbart 0,6 % av kunderna fler än 11 avbrott, vilket är en av de lägsta siffrorna sedan 2010. Under 2019 drabbades drygt 53 300 lokalnätskunder av minst ett avbrott över 24 timmar. Det är fler än de flesta år sedan 2007 men färre än andra år med stora stormar. Motsvarande siffra för 2018 var 3 488 anläggningspunkter. Den huvudsakliga anledningen till den stora ökningen är stormen Alfrida. Alfrida orsakade långa elavbrott på grund av träd som fallit på elledningarna. Enligt Ei:

²⁰ Energimarknadsinspektionen, Leveranssäkerhet i Sveriges elnät 2019: Statistik och analys av elavbrott, Ei R2020:08. Tillgänglig: <https://www.ei.se/download/18.6f9b6b2617714873b45f11d6/1613487466312/Leverans%C3%A4kerhet-i-Sveriges-eln%C3%A4t-2019-Ei-R2020-08%20.pdf>

tillsyn i samband med leveranssäkerheten²¹, kunde cirka 74 % av samtliga avbrott under 2019 relateras till olika väderförhållanden. För avbrott som varade längre än 24 timmar var det 83 % som orsakades av olika väderförhållanden (träd eller grenar som föll på ledningarna orsakade flest avbrott).

Byrån för samarbete mellan energitillsynsmyndigheter (ACER) har nyligen beslutat²² om en enhällig metod för att beräkna VoLL. Enligt metoden ska VoLL tas fram genom att olika kundkategoriers kostnader för elavbrott värderas. Av metoden framgår att om det har gjorts studier för att göra en avbrottskostnadsvärdering inom de senaste fem åren, och om dessa studier är i linje med avbrottskostnadsvärderingen i metoden, kan resultatet av dessa studier användas för framtagandet av VoLL. I enlighet med ACER:s metod har Ei beräknat VoLL för Sverige med användning av resultatet från en studie om avbrottskostnader som presenterades av Handelshögskolan vid Göteborgs universitet i slutet av 2018²³. I denna enkätbaserade studie har hushållskunder tillfrågats om deras WTP (*Willingness To Pay* eller betalningsvilja) och industriella/kommersiella kunder tillfrågades om sina direkta kostnader för avbrott.

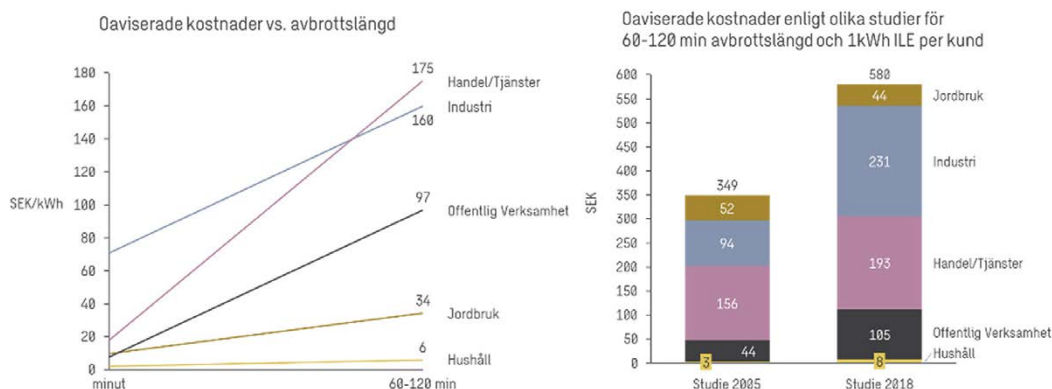
Figur 12 till vänster visar kostnadsparametrar som resulterade från studien för de olika kundkategorier vid oaviserade avbrott omedelbart (i SEK/kW) till 60–120 minuters längd (i SEK/kWh)²⁴. Dessa parametrar används för avbrottskostnadsberäkningar i avsnitten framåt. Samma studie genomfördes även 2005. Resultatet av Figur 12 till vänster är baserat på enkätundersökningar där frågan ställdes vad de olika kundkategorierna teoretiskt skulle skatta sina kostnader till vid ett avbrott. Det går inte att säga huruvida de uppskattade kostnaderna inkluderar kaskadeffekter för exempelvis industrin, som i intervjustudien påvisades kunna utgöra betydligt högre kostnader än de som uppstår under avbrottets faktiska varaktighet. Figur 12 till vänster är således en teoretisk uppskattning som gjorts individuellt av samtliga deltagare men som ger en bild av hur kundkategorierna uppskattar sina kostnader. I Figur 12 till höger jämförs istället kostnaderna för om alla kunder skulle ha förlorat 1 kWh energi för samma avbrottskategori år 2005 respektive 2018. Detta kallas för ILE (*Icke Levererad Energi*). Handel och tjänster är den kundkategori där ett avbrott i genomsnitt orsakar högst avbrottskostnad. Som kan ses av Figur 12 till höger har den upplevda kostnaden vid elavbrott ökat för samtliga kategorier utom jordbruk, vilket tros bero på att jordbruk i högre grad skaffat egna generatorer och reservkraft. Detta kan relateras till det som tidigare nämnts, om att det sker fler elavbrott på landsbygden.

²¹ Energimarknadsinspektionen, Tillsyn avseende leveranssäkerheten i elnäten: Planlagd tillsyn avseende 2019 års avbrottsdata, PM2020:08. Tillgänglig: <https://www.ei.se/download/18.6f9b6b2617714873b45f1210/1613487555856/Tillsyn-avseende-leveranssaekerheten-i-eln%C3%A4ten-Ei-PM2020-08.pdf>

²² Methodology for calculating the value of lost load, the cost of new entry and the reliability standard, in accordance with Article 23(6) of Regulation (EU) 2019/943 of the European Parliament and of the Council of 5 June 2019 on the internal market for electricity, 2 October 2020. Finns tillgänglig här: <https://acer.europa.eu/en/Electricity/Pages/European-resource-adequacy-assessment.aspx>

²³ Fredrik Carlsson et al. Kostnader av elavbrott för Svenska elkunder, Institutionen för nationalekonomi med statistik, Göteborgs Universitet, december 2018

²⁴ Fredrik Carlsson et al. Kostnader av elavbrott för Svenska elkunder, Institutionen för nationalekonomi med statistik, Göteborgs Universitet, december 2018



Figur 12. Kostnadsparametrar för olika kundkategorier för oaviserade avbrott. I den vänstra diagrammet visas SEK/kWh mot avbrottslängd enligt studien från 2018. I det högra diagrammet visas en jämförelse av parametrar för studierna från 2005 och 2018.

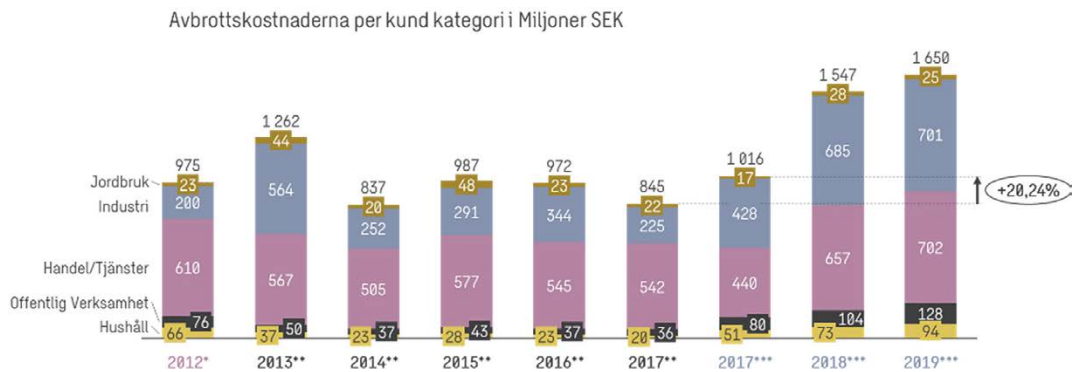
Källa: Carlsson & Martisson 2018

Ett av målen med rapporten är att förmedla hur avbrott kan komma att påverka Sverige, både i dag och framåt, och som ett steg i detta behövs ett nationellt VoLL-värde. Detta sammanvägda värde har tagits fram genom att använda VoLL för respektive kundkategori (Figur 12 till vänster), därefter har en fördelning gjorts mellan kundkategorierna som reflekterar i vilken grad de blir bortkopplade vid effektbrist och utifrån denna fördelning har sedan en viktning gjorts för att beräkna ett sammanvägt nationellt VoLL. Utifrån detta har VoLL för hela Sverige skattas till 82,52 SEK/kWh²⁵ i 2020 års prisnivå.

²⁵ Energimarknadsinspektionen, Beräkning av värdet av förlorad last (VoLL), PM2021:01. Tillgänglig: <https://ei.se/download/18.6f9b6b2617714873b45f1838/1613489129164/Ber%C3%A4kning-av-v%C3%A4rdet-av-f%C3%B6rlorad-last-VoLL-Ei-PM2021-01.pdf>

2.2 Historik analys av elavbrottskostnader och scenarion framåt

Avbrottskostnader vid elavbrott beror på vilka kunder det berör, hur stor elanvändningen är samt vilken varaktighet elavbrott har. Kostnaden för elavbrotten för respektive kundkategori kan beräknas med hjälp av de kostnadsparametrar som presenteras i Figur 12 till vänster, vilka idag används av Energimarknadsinspektionen. Avbrottskostnaderna för respektive kundkategori, enligt Ei, beräknas genom att multiplicera avbrottskostnaden angiven i SEK/kW eller SEK/kWh med den icke-levererade effekten respektive energin för varje kategori. Figur 13 visar de totala avbrottskostnaderna per kundkategori i miljoner SEK från 2012 till 2019, i prisnivåer för respektive år. Det bör beaktas att olika kostnadsparametrar har använts under åren, vilket är markerat på x-axeln med olika färger. Kostnadsparametrarna tillhör olika enkätstudier som genomförts under de olika tidsperioderna: 2012²⁶, 2013–2017²⁷ och 2017–2019²⁸. I Ei:s leveranssäkerhetsrapport för 2017 års data görs en jämförelse av kostnadsparametrarna mellan de olika enkätstudierna, därför finns 2017 med två gånger i figuren. I genomsnitt värderas avbrott för 2017 drygt 20 % högre med de nya kostnadsparametrarna. Så trots att en del av ökningen beror på ändrad metod kan en tydlig tendens mot högre upplevd avbrottskostnad ses i samhället.



Figur 13. Avbrottskostnader för olika kundkategorier enligt kostnadsparametrar från enkätstudier under åren: 2012²⁶, 2013–2017²⁸ och 2017–2019²⁸.

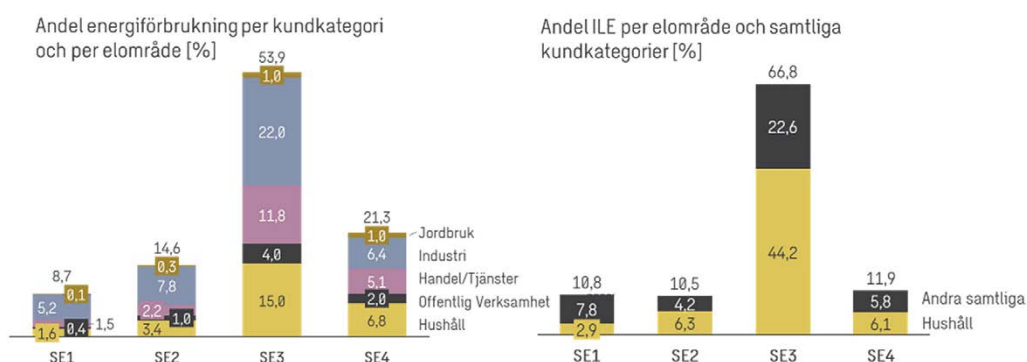
Källa: Energimarknadsinspektionen

²⁶ Carlsson, F och Martinsson, (2006) P, Kostnader av elavbrott: en studie av svenska elkunder, Elforsk rapport 06:15, Stockholm

²⁷ SINTEF, H. Vefsnmo och G. Kjølle, "Estimation of Costs of Electricity Interruptions in Sweden – Interruption cost parameters based on the survey conducted by University of Gothenburg from 2005", 2015

²⁸ Fredrik Carlsson et al., "Kostnader av elavbrott för svenska elkunder", Institutionen för nationalekonomi med statistik, Göteborgs Universitet, 2018

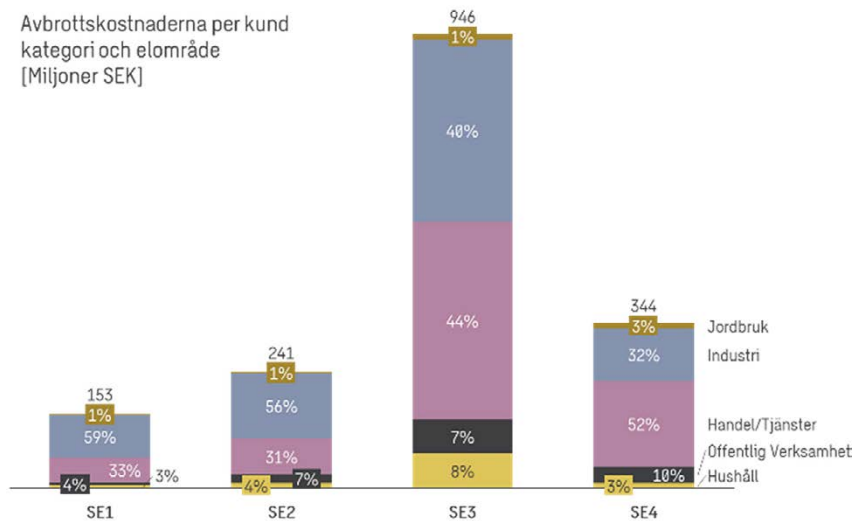
Det finns också statistik att tillgå från Statistiska Centralbyrån (SCB) avseende elanvändning och från Ei avseende ILE (*icke levererad energi*) per kommun i Sverige. Denna information har lagts ihop per elområde och visas i Figur 14. Figur 14 till vänster visar elanvändningen per kundkategori och elområde medan Figur 14 till höger visar ILE per elområde. Givet den statistik som finns tillgänglig är alla kundkategorier grupperade på kommunnivå och endast hushåll presenteras separat. Det kan ses i figuren att det finns en proportionell korrelation mellan energianvändning och ILE per elområde. Andelen ILE för varje kundkategori är dock inte nödvändigtvis proportionell eftersom detta beror på faktiska elavbrott och den fullständiga informationen inte finns tillgänglig i statistiken.



Figur 14. Vänster: Andel energiförbrukning i procent per kundkategori och elområde. Höger: Andel ILE i procent per elområde och för hushåll och för andra samtliga kundkategorier.

Källa: SCB, Energimarknadsinspektionen och Sweco Analys

De totala elavbrottkostnaderna för 2019 från Figur 13 har fördelats per elområde och visas i Figur 15 i 2021 års prisnivå. Detta gjordes med hjälp av informationen från Figur 13 genom förenklade antaganden där totala kostnader per kundkategori viktas efter kunders elanvändning och ILE per elområde. Hushållens viktning gjordes enligt andel ILE (Figur 14 till höger) medan de andra kategorier gjordes enligt elanvändningen (Figur 14 till vänster) eftersom statistik för ILE inte finns tillgänglig för övriga kundkategorier. De totala avbrottskostnaderna för hela Sverige i Figur 15 uppgår till 1 683 miljoner kronor, vilket motsvarar de 1 650 miljoner kronor som visas i Figur 13 för 2019 i 2021 prisnivå. Siffrorna som visas i Figur 15 används vidare som baskostnader för kommande scenarion, där Sweco har modellerat utfall och kostnader om ett större elavbrott skulle ske idag i SE3 (avsnitt 2.3) samt i framtida scenarier för år 2035 respektive 2045 (avsnitt 2.4). Alla dessa kostnader presenteras i 2021 års prisnivå.



Figur 15. Totala kostnader 2019 indelat per elområde i 2021 års prisnivå [Miljoner SEK].

Källa: Sweco analys

För att utveckla scenarier för modellerade elavbrottskostnader behövs årsmedels-effekten per kundkategori och per elområde. Dessa beräknas med hjälp av Ekvation 1, där de totala kostnaderna per kundkategori från Figur 15 och kostnadsparametrarna från (Figur 12 till vänster) används i kombination med en avbrottsvaraktighet. För att ta fram nyckeltalen för årsmedeleffekt behövs en bestämd avbrottsvaraktighet, vilket sätts till 103 minuter genom att CAIDI (*Customer Average Interruption Duration Index*, genomsnittlig avbrottstid per kundavbrott) beräknas baserat på värden av SAIDI (System Average Interruption Duration Index, avbrottstid per kund och år) och SAIFI (System Average Interruption Frequency Index, antal avbrott per kund och år), vilka presenteras i statistiken ovan. En förenkling som används i detta steg, i samband med Ekvation 1, är att samma avbrottsvaraktighet antas för alla kundkategorier och att alla avbrott är oaviserade. När årsmedeleffekterna finns beräknade används vidare Ekvation 1 för att beräkna avbrottskostnaderna för de framtida scenarier med varierande avbrottsvaraktigheter. Tre hypotetiska scenarier har tagits fram med hjälp av Ekvation 1 för att påvisa vilka samhällsekonomiska kostnader elavbrott orsakar. Det första avser att påvisa vilka kostnader ett längre oaviserat avbrott i SE3 i dag skulle innebära. Scenario två utgår från på ett avbrott som sker i framtiden för samtliga elområden på grund av effektbrist, då samhället i hög grad är elektrifierat. Det tredje och sista scenariet kombinerar de två första, ett framtidsscenario där ett elanvändningen kraftigt ökat och det inträffar ett längre avbrott på 4 timmar.

Ekvation 1. Förenklad beräkning av totala avbrottskostnader per kundkategori baserad på årsmedelseffekt, avbrottsvaraktighet och kostnadsparametrar för effekt (K_p) och energi (K_E).

$$TOTALA KOSTNADER = K_p \times (\text{Årsmedelseffekt}) + K_E \times (\text{Årsmedelseffekt} \times \text{Avbrottsvaraktighet})$$

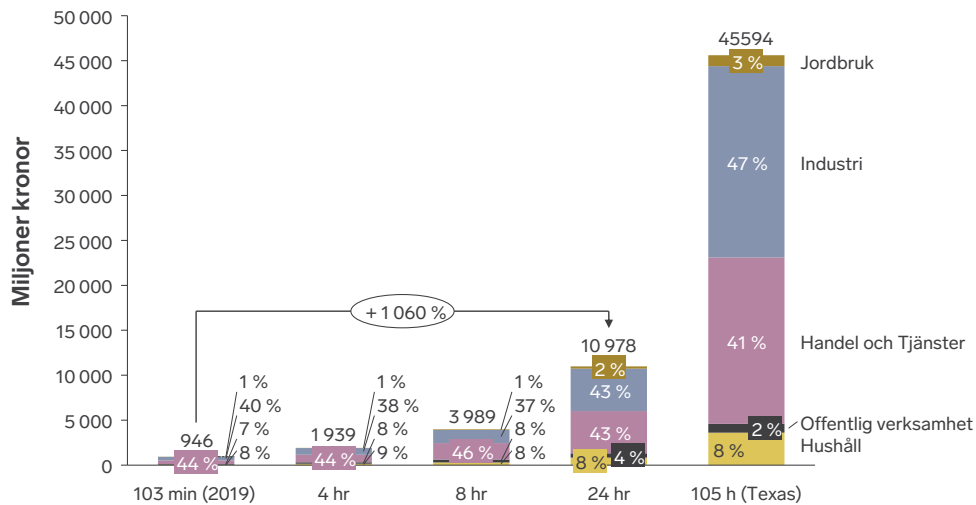
2.3 Om ett större avbrott skulle inträffa i dag – vad kostar det?

Sweco har valt SE3 för att skapa det första hypotetiska fallet för att få en bättre förståelse för vilka kostnadskonsekvenser som skulle uppstå om hela elområdet skulle drabbas av ett längre avbrott i dag. SE3 är inte endast intressant ur den synpunkt att det är det elområde med högst elanvändning utan även med tanke på de stora industrisatsningar som planeras i norra Sverige kommer att minska överföringskapaciteten till södra Sverige. Vidare har även en del planerbar kraft lagts ner i SE3. Avbrottskostnader för de olika kundkategorierna har räknats ut för fyra olika tidsintervall, 4, 8, 24 respektive 105 timmar för att påvisa hur kostnader ökar i relation till avbrottets längd. Värdet 105 timmar har valts eftersom det var längden på det avbrott som ägde rum i Texas år 2021 (avsnitt 1.3.1). Huvudantagandena för scenariot är att alla kunder i SE3 påverkas lika länge av avbrottet och att samma kostnadsparametrar (Figur 12 till vänster) och årsmedelseffekt (som ledde till Figur 15) från tidigare avsnitt bibehålls. Ekvation 1 används i det här scenariot genom att variera avbrottsvaraktighet medan kostnadsparametrar och årsmedelseffekt är samma i varje beräkning. Resultatet syns i Figur 16. Ett fyra timmar långt avbrott skulle i detta fall kosta 1,9 miljarder kronor, vilket är nästan lika höga kostnader som avbrottet i samband med stormen Gudrun orsakade. Texasfallet 2021 orsakade kostnader på över 130 miljarder²⁹ dollar (1 183 miljarder kronor), påverkade 2,8 miljoner²⁹ personer och ILE (icke-levererad energi) var 998,8 GWh³⁰. De beräknade kostnader i SE3 för en motsvarande avbrottslängd som i Texasfallet (105 timmar) är cirka 5 miljarder dollar (45,5 miljarder kronor) och motsvarar en ILE på 936 GWh. Även om ILE är jämförbar för samma avbrottslängd är kostnaderna i Texasfallet mycket högre. En förklaring kring detta är att beräkningar på SE3-fallet är teoretiska och baserade på WTP (*Willingness to Pay*)-metodiken medan de för Texas-fallet var de faktiska kostnaderna. Kostnaderna för ett längre elavbrott i Sverige kan därför vara underskattade. Ett intressant resultat i Figur 16 är utvecklingen av andelen Industri och Handel/Tjänster av de totala avbrottskostnaderna. Ju längre avbrott desto dyrare är det för industrikunder relativt för segmentet Handel/Tjänster. Orsaken till detta är relaterat till kostnadsparametrarna från enkätstudien från rapporten Kostnader av elavbrott för svenska elkunder³¹. I Figur 12 i diagrammet till vänster visas att det blir dyrare för Handel/Tjänster vid ett avbrott på 60–120 minuter, men vid längre avbrott har industrin generellt sett större kostnader.

²⁹ J. Busby et al. (2021) "Cascading risks: Understanding the 2021 winter blackout in Texas", Energy Research & Social Science, Vol 77, 102106

³⁰ D.Wu et al. (2021) "An open-source extendable model and corrective measure assessment of the 2021 texas power outage", Advances in Applied Energy, Volume 4, 100056.

³¹ Fredrik Carlsson et al. Kostnader av elavbrott för svenska elkunder, Institutionen för nationalekonomi med statistik, Göteborgs Universitet, december 2018



Figur 16. Exempelberäkning för avbrottskostnader i Sveriges elområde SE3 om större avbrott skulle inträffa framåt (kostnader i 2021 års prisnivå).

Källa: Sweco analys

Sammanfattningsvis kan man, enligt dessa beräkningar, dra slutsatsen att om ett elavbrott på 105 timmar skulle äga rum i hela SE3 idag, skulle de totala samhälls-ekonomiska kostnaderna uppgå till 45,5 miljarder kronor. Industri och handel skulle vara de användarsektorer som drabbades av högst kostnader, där industrins kostnader uppskattas motsvara för 47 % av de totala kostnaderna och handels kostnader uppskattas motsvara 41 % av de totala kostnaderna.

2.4 Elavbrott med ytterligare elektrifiering – vad kostar det?

Sweco har gjort ytterligare kostnadsanalyser utifrån ett framtidsscenario med mer elektrifiering i samhället och i näringslivet. Till grund ligger det högsta elektrifierings-scenariot som presenterades i Svk:s långsiktiga marknadsanalys³² som scenario ”Elektrifiering förnybart”. Scenarierna innebär, för åren 2035 och 2045, en elanvändning för hela Sverige på 212 TWh respektive 287 TWh. Utifrån den totala nationella elanvändningen som presenteras i Svk:s scenario har Sweco fördelat ut ökningen per elområde. Ökningen har fördelats ut olika för varje elprisområde baserat på kunskap om den kommande elektrifieringen av industrin i SE1 och SE2, det vill säga stora planerade industriprojekt såsom Hybrit, Northvolt, H2Green Steel med flera, har fördelats till respektive elprisområde. Resultatet för elektrifieringsscenarierna per elområde visas i Figur 17 samt i Figur 18 som även visar fördelningen per kundkategori, elområde och scenario.

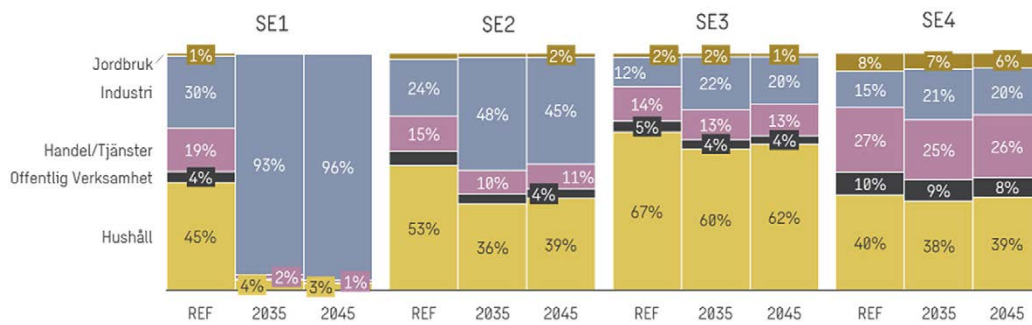


Figur 17. TWh-utveckling per elområde vid elektrifieringsscenariot.

Källa: Sweco analys & Svk

På grund av att så mycket av den tillkommande elektrifieringen sker i norra Sverige ökar elanvändningen i SE1 med cirka 18 gånger mellan 2019 och 2045 medan elanvändningen för övriga elområden ökar med 1,1–1,6 gånger.

³² Svenska Kraftnät – Långsiktig marknadsanalys 2021: Scenarier för elsystemets utveckling fram till 2050, Svk 2019/3305. Tillgängligt: <https://www.svk.se/siteassets/om-oss/rapporter/2021/langsiktig-marknadsanalys-2021.pdf>



Figur 18. Fördelning av TWh per elområde, kundkategori och scenario.

Källa: Sweco analys, Svk

I Svk:s långsiktiga marknadsanalys³³ har Svk simulerat risken för effektbrist. Genom att simulera varje timme och jämföra tillgänglig produktionskapacitet och importmöjlighet med förbrukning har Svk utvärderat risken för kommande effektbrist. Effektbrist uppstår när produktion och import inte räcker till, vilket presenteras som LOLE (*Loss of Load Expectation*) och EENS (*Expected Energy Not Served*). EENS är *förväntad* ILE, dvs *förväntad* Icke Levererad Energi innan man vet det faktiska utfallet. LOLE mäts i antal timmar per år med effektbrist. I verkligheten motsvaras det av lastfrånkoppling. EENS redovisas i antal GWh elenergi per år som inte kan levereras under bristtimmarna. I Tabell 2 sammanfattas relevanta värden som Sweco har använt från Svk:s analys för att beräkna avbrottkostnader. Dessa värden för LOLE och ILE är direkt kopplade till den framtida effektbrist som beräknats för Sverige i Svk:s modell. Till exempel kan den genomsnittliga GW/år för effektbrist erhållas genom att dividera ILE med LOLE från Tabell 2. Sweco har använt dessa värden för att beräkna kostnaderna för en om effektbrist uppstår i dessa framtids-scenarion med ökad elektrifiering.

Tabell 2. Svk:s modellerade genomsnittliga effektbrist (timmar utan eltillgänglighet och icke-levererad energi per år) år 2035, 2045 och 2045 vid ökande nivå av flexibilitet. LOLE står för Loss of Load Expectation och ILE för Icke-Levererad Energi.

Scenario	LOLE (timmar/år)	ILE (GWh/år)
2035	16	16
2045	889	1607
2045+flex vätgas	40	46

Källa: Svk

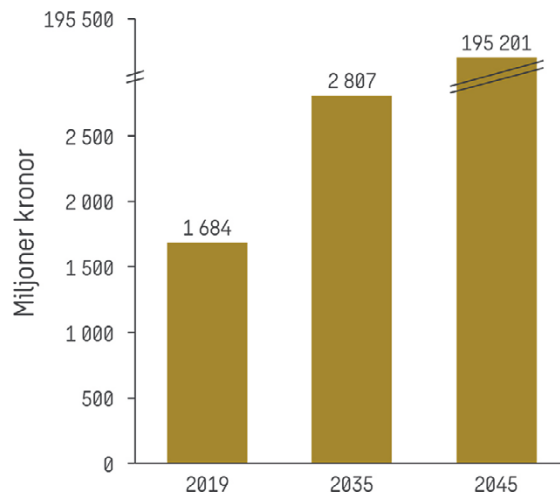
³³ Sida 69, Figur 29, Tabell 14, Svenska Kraftnät – Långsiktig marknadsanalys 2021: Scenarier för elsystemets utveckling från till 2050, Svk 2019/3305. Tillgängligt: <https://www.svk.se/siteassets/om-oss/rapporter/2021/langsiktig-marknadsanalys-2021.pdf>

Baserat på de uppskattade riskerna för effektbrist 2035 respektive 2045 har Sweco skattat kostnaderna för avbrott. I likhet med det tidigare fallet har kostnaderna beräknats med hjälp av Ekvation 1, där årsmedelseffekt anpassades för att ta hänsyn till den ökade elektrifieringen som beskrivs i Figur 17 och Figur 18. Kostnadsparametrar för kundkategorierna antas fortsatt vara desamma som i Figur 12. Sweco har därefter beräknat avbrottsvaraktigheten genom att iterera beräkningarna tills dess att samma värde på ILE som i Svk:s analys (ILE som visas i Tabell 2) uppnåddes. Genom Ekvation 1 har därefter kostnaden för avbrott beräknats. Kostnaderna för hela landet syns i Figur 19 och fördelningen av totala kostnader per elområde och kundkategori visas i Figur 20.

Att andelen av de totala kostnaderna ökar kraftigt beror framförallt på den ökade elanvändningen i SE1. Från Figur 19 kan utläsas att de totala avbrottkostnaderna i Sverige ökar med 1,66 gånger mellan 2019 och 2035 och med 116 gånger mellan 2019 och 2045. Orsaken till denna kraftiga ökning beror dels på den ökade elanvändningen och dels på att Svk:s analys visar på ökade elavbrott, på grund att effektbrist, och dessutom större ILE (*icke-levererad energi*) mellan scenarierna, från Svk:s simuleringar. Med hjälp av flexibilitet, främst från vätgas, kan risken för avbrott och därför även kostnaderna minska avsevärt. Huruvida detta gäller hela landet eller endast SE1, där i dagsläget absoluta majoriteten av vätgasproduktionen är planerad, framgår ej av Svk:s simuleringar och beror till stor del på elnätets överföringskapacitet. Vidare bör nämnas att den storskaliga vätgasproduktion som planeras kräver hög tillgänglighet av el under året för att vara lönsam, samt att det inte är säkert att tillgänglig vätgas kommer att finnas lagrad, så behov av ytterligare el uppstår.

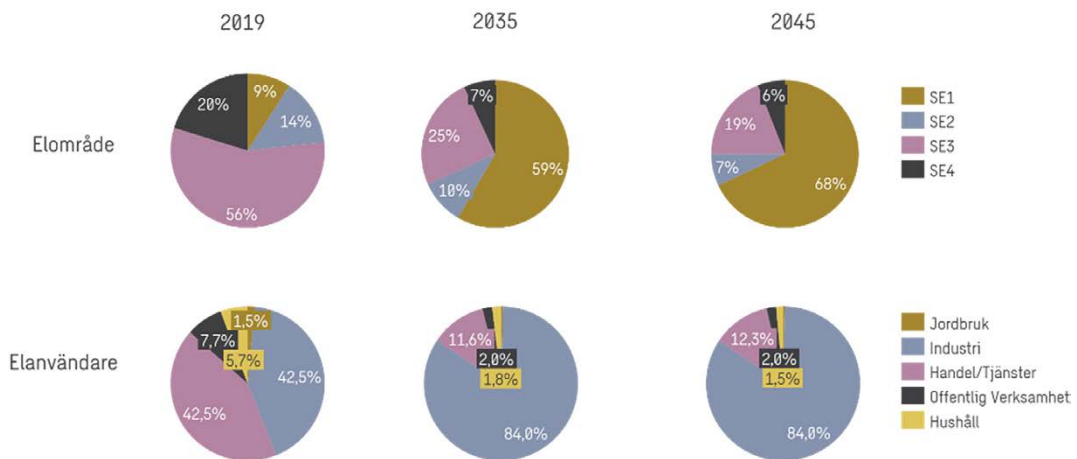
Några av de förändringar som sker inom elsystemet, framförallt vätgasproduktion och batterier, kan som sagt komma att skapa ökad redundans mot elavbrott. Båda fungerar som en slags mellanhand eller lager och utgör därmed, i avbrotts-sammanhang en slags reservkraft. Elbilar kommer inte stanna i samma stund som elavbrott sker, tack vare dess batterier, och vätgas förväntas produceras främst när det råder överskott på el för att sedan sparas till ett senare tillfälle. En planering behövs för hur dessa energilager kan tas omhand och skapa systemnytta, utan att det sker på bekostnad av de aktörer som äger och opererar dessa batterier och vätgasanläggningar. Svk konstaterar i sin rapport att elsystemet i framtiden kommer att kräva ökad flexibilitet.

Kostnaderna som visas i Figur 19 och Figur 20 har beräknats för att matcha den ILE som rapporterats av Svk (de som visas i Tabell 2).



Figur 19. Avbrottskostnader i Sverige för 2035 och 2045 med ytterligare elektrifiering (kostnader i 2021 års prisnivå).

Källa: Sweco analys & Svk

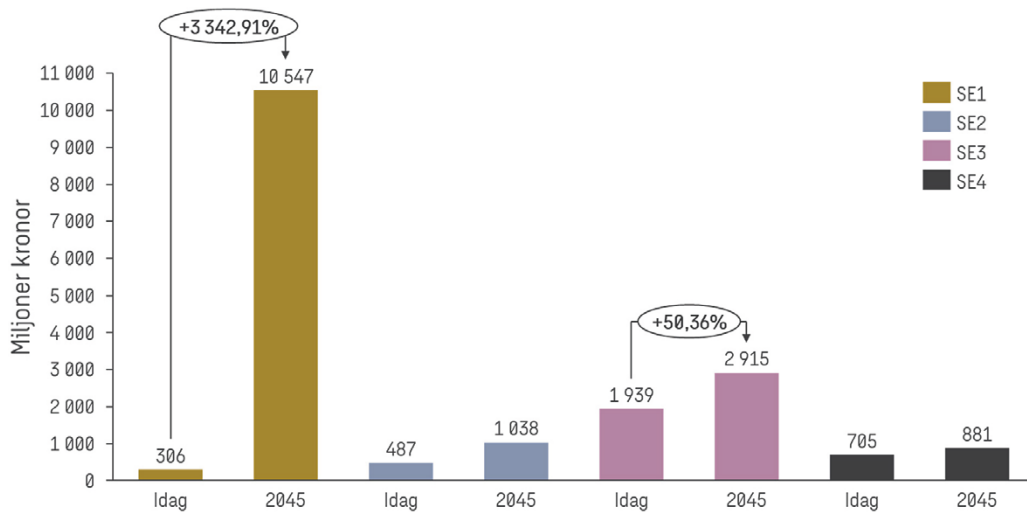


Figur 20. Avbrottskostnader i Sverige för 2035 och 2045 med ytterligare elektrifiering för olika elområde och kundkategorier.

Källa: Svk, Sweco analys

Sammanfattningsvis skulle de totala framtida samhällsekonomiska kostnaderna för elavbrott orsakade av effektbrist i ett framtidsscenario med hög elektrifieringsgrad enligt Svk:s prognoser för elanvändning 2035 och 2045 utgöras av 2,8 miljarder kronor respektive 195,2 miljarder kronor. Enligt de antaganden Sweco gjort sett till den ökade elanvändningen i norra Sverige, förväntas SE1 drabbas av högst kostnader både 2035 (59 % av kostnaderna) och 2045 (68 % av kostnaderna) följt av SE3 (25 % respektive 19 %), SE2 (10 % respektive 7 %) och SE4 (7 % respektive 6 %). Den användarsektor som drabbas hårdast är industrin med en förväntad kostnadsandel på 84 % av de totala kostnaderna både 2035 och 2045 och handel med cirka 12 %.

Sweco har räknat på ytterligare ett fall som kombinerar de två tidigare – vad skulle ett längre oavsierat avbrott kosta om det sker 2035 och 2045 sett till Sveriges förväntade (enligt Svk) elektrifiering och effektbrist. För att vidare kunna göra direkta jämförelser med det fall som presenteras i avsnitt 2.3 (om ett större avbrott skulle ske i dag) visar Figur 21 en jämförelse mellan ett 4 timmars avbrott idag och ett 2045. Med andra ord används Ekvation 1 i detta fall med samma avbrottsvaraktighet men med olika årsmedelseffekter. Resultaten visas i Figur 21. En distinktion måste göras mellan det tidigare fallet (Figur 19 och Figur 20) och fallet som presenteras i Figur 21. Skillnaden är att det tidigare fallet är baserat på elavbrott som orsakas av effektbrist medan den senare är relaterad till elavbrott som orsakas av andra faktorer, till exempel om en kabel går av på grund av en väderkatastrof. Effektbrist som orsakar avbrott är i regel kända på förhand, och kan hanteras med hjälp av roterande bortkoppling, medan de oaviserade avbrott inte kan hanteras på samma sätt. För avbrott orsakade av effektbrist i Figur 19 och Figur 20 handlar det om att användaren kan flytta sin elanvändning till en annan timme. Det skiljer sig jämfört med den typ av avbrott som presenteras i Figur 21 då användaren inte undvika elanvändning och antagligen inte heller kan ”hämta igen” förlorad elanvändning. På grund av de begränsningar som finns i Swecos modell sett till tillgängliga kostnadsparametrar från enkäter, vilka inte skiljer på avbrottsorsak, kan totala samhällsekonomiska kostnader endast beräknas utifrån avbrottets längd. De totala kostnaderna i Figur 21 uppgår till 15,3 miljarder kronor och blir betydligt lägre än i Figur 19 eftersom avbrottstiden är satt till fyra timmar istället för 889 timmar som i Tabell 2. Swecos modell tar inte hänsyn till att de 889 timmarna kan vara utspridda över hela året och att de faktiska konsekvenserna för ett avbrott på fyra timmar kan bli större även om kostnaderna i denna rapport är lägre. Detta beror även på att Swecos modell inte tar hänsyn till andra direkta och indirekta kostnadskonsekvenser, likt de som presenterade i Figur 8, utan endast de för den ”icke-levererade energin”. Med dessa osäkerheter i åtanke kan ändå slutsatsen dras att med framtidens elektrifierade samhälle förväntas ökade kostnader då avbrott blir allt vanligare och vårt elberoende växer. Denna sårbarhet blir tydlig vid jämförelse av Figur 7, tidslinjen för hur olika delar av samhället drabbas vid elavbrott. Redan efter ett par timmar påverkas flera vitala system likt sjukvård, vatten- och värmeförsörjning, och även industrier, handel och jordbruk. Reservkraft ses som en dyr investering i dagsläget men kan komma att bli nödvändigt för flera aktörer i elsystemet i framtiden.



Figur 21. Kostnadsskillnader för om ett 4 timmars avbrott skulle ske idag jämfört med 2045 med ökad elektrifiering i samtliga elområden.

Källa: Sweco analys

Sammanfattningsvis förväntas de totala samhällsekonomiska kostnaderna år 2045 för fallet med effektbrist och fallet med längre oaviserade avbrott uppgå till 195,2 respektive 15,3 miljarder kronor. Kostnaderna för det tredje fallet bedöms dock vara underskattade på grund av begränsningar i indata, som förklarades ovan. Därmed förväntas kostnaderna för effektbristfallet bli betydligt högre på grund av den stora mängd avbrottsstimmar (889 timmar per år), vilket är mycket högre än de 4 timmar som modellerades i fall två. Emellertid kan effekterna från ökad elektrifiering sett till höjda kostnader observeras i Figur 21 genom att titta på de relativa skillnaderna i kostnader från det första fallet (ett betydande elavbrott idag), utan ökad elektrifiering. Fördelningen av kostnader per elområde är 68 % för SE1, 7 % för SE2, 19 % för SE3 och 6 % för SE4 för båda fallen. Fördelningen av kostnader per användarsektor är 84 % för Industri, 12,3 % för Handel/Tjänster, 2 % för Offentlig Verksamhet och 1,8 % för Hushåll för båda fallen.

3. Slutsatser

Det är svårt att säga hur frekventa avbrott kommer att bli i framtiden men denna studie visar att det snabbare än vi tror kan komma att innebära höga kostnader som dessutom förväntas stiga i takt med ett ökat elberoende. Den pågående elektrifieringsrevolutionen kommer att innebära ökad sårbarhet för hela samhället. Reservkraft finns i dagsläget på relativt få ställen eftersom det är förenat med en kostnad men kan komma att bli vanligare när antalet avbrott och dess kostnader riskerar att öka. Det vore något av en tillbakagång för det svenska elsystemet, där elsystemet i sig tidigare varit så pass pålitligt så att detta inte behövts. Precis som för omställningen till ett fossilfritt elsystem kommer samarbete att krävas och nya gränsöverskridande lösningar att behöva utvecklas för att reducera risker kopplat till elavbrott.

De totala samhällsekonomiska kostnaderna för elavbrott har studerats och beräknats i denna rapport, både per elområde och per användarsektor. Initialt togs ett bas-scenario fram utifrån 2019 års statistik från Ei och SCB där de totala rapporterade avbrottskostnaderna fördelades per elområde och användarsektor, för att skapa en bild av dagens förhållanden. I dagens läge var de totala kostnaderna 1,65 miljarder kronor för hela Sverige. Vid en analys av hur elavbrott idag slår mot olika elprisområden kan sägas att SE3 drabbades av de största kostnaderna bland elområdena, 56 % av de totala kostnaderna utifrån Swecos analys. Sett till användarsektorer drabbades främst ”Industri” och ”Handeln-Tjänster” som tillsammans stod för 85 % av de totala kostnaderna. Utifrån detta basscenario beräknades sedan de förväntade samhällsekonomiska kostnaderna i tre hypotetiska fall som beskrivs nedan. Det första fallet utgörs av scenariot om ett längre oaviserat avbrott skulle inträffa i dag, fall två ett avbrott som sker i ett framtida elektrifierat samhälle till följd av effektbrist och det tredje fallet är en kombination av de två första – ett längre oaviserat avbrott som sker i en framtid med hög elektrifieringsgrad.

- I första fallet analyserades hur ett längre oaviserat elavbrott (som det som skedde i Texas i februari 2021) skulle påverka SE3 om det inträffade i dag. Om ett avbrott med samma längd som det vilket ägde rum i Texas skulle ske i SE3 idag beräknades avbrottskostnaderna uppgå till 45 miljarder kronor. Resultatet är en ökning med 45 gånger i jämförelse med resultatet från bas-scenariot. Men i jämförelse med de faktiska rapporterade kostnaderna som drabbade Texas utgör de bara 3,84 % trots att den icke levererade energin är densamma. Detta pekar på att avbrottskostnader värderade enligt WTP (willingness to pay)-enkäter kan vara underskattade.
- I det andra fallet utreddes elavbrott för alla elområden i en framtid med ytterligare elektrifiering baserat på dagens avbrottsförhållanden enligt bas-scenariot. Här påvisades att avbrottskostnader, som antogs uppstå på grund av effektbrist, bedömdes uppgå till 2,8 och 195 miljarder kronor år 2035

respektive 2045 – en ökning med 1,75 och 121 gånger högre jämfört med 2019. Kostnadsfördelningen i dessa framtidsscenarioer är sådan att elområdet SE1 står för 59–68 % av kostnaderna och kundkategori ”Industri” står för 84 % av kostnaderna 2035 och 2045.

- I det tredje fallet gjordes en kombination av fall ett och fall två. En jämförelse av kostnaderna för alla elområden beräknades om ett 4 timmars oaviserat avbrott skulle inträffa år 2045 med ytterligare elektrifiering. Om ett större avbrott i hela SE 3 skulle äga rum under fyra timmar år 2045 uppskattas kostnaderna uppgå till 2 915 miljoner kronor, vilket är 50 % högre kostnader jämfört med om motsvarande avbrott skulle inträffa idag. Om samma analys görs för SE1, som har en kraftig antagen elanvändningsökning (18 gånger mellan 2019 och 2045), skulle avbrottskostnaden vara 33 gånger högre än om det skulle inträffa i dag. Detta skulle dock kunna lindras av den flexibilitet som vätgasproduktion i norra Sverige förväntas kunna bidra med. Med dessa exempel, som visar på skillnaden mellan hur mycket dyrare avbrotten förväntas bli i SE1 än i SE3 sett till den betydligt högre elektrifieringsgraden som förväntas ske i SE1, ser vi hur stor marginaleffekten av ytterligare elektrifiering faktiskt är.

Ett viktigt förtydligande är att det finns skillnader mellan oaviserade elavbrott som orsakas av ett haveri, till exempel förstörda ledningar på grund av väder (fall ett och tre ovan) och avbrott som uppkommer av effektbrist (fall två ovan). Avbrott som uppstår av effektbrist är starkare kopplat till de utmaningar som kommer med ökad elektrifiering och energiomställningen (ökad elanvändning och nedlagd planerbar kraftproduktion) och blir därför viktiga att hantera och förebygga. Effektbrist resulterar oftast i kortare avbrott (exempelvis genom roterande bortkoppling) där lösningar såsom efterfrågeflexibilitet, genom att elanvändare anpassar sin förbrukning vissa timmar, förväntas bli allt viktigare för en stabil elförsörjning. Med andra ord finns det andra lösningsmöjligheter för elavbrott orsakade av effektbrist än för elavbrott på grund av oväder och att exempelvis en kabel går av. I denna studie skiljer inte beräkningarna av kostnadsparametrar på dessa två typer av avbrott utan de kostnader som fanns tillgänglig i litteraturen för oaviserade avbrott användes för båda avbrottstyperna. På grund av dessa begränsningar i modellen har antaganden förenklats till att endast oaviserade avbrottskostnadsparametrar har använts, vilka inte inkluderar följd effekter. Därför måste kostnaderna för fall ett och fall tre tolkas som en lägsta nivå sett till de faktiska kostnaderna avbrott orsakar. Ett exempel på den här begränsningen är jämförelsen mellan ett avbrott i SE3 i den här rapporten med liknande varaktighet som Texasfallet 2021 där de faktiska kostnaderna i Texas var 26 gånger högre.

Ett förtydligande och sammanfattning av fall två och tre som båda avser kostnader för framtida elavbrott, fall två (med effektbrist på 889 timmar) och fall tre (med ett längre oaviserat avbrott på fyra timmar) är att de totala samhällsekonomiska kostnaderna år 2045 är 195,2 respektive 15,3 miljarder kronor. Fördelningen av kostnader per elområde är 68 % för SE1, 7 % för SE2, 19 % för SE3 och 6 % för SE4 för båda fallen. Fördelningen av kostnader per användarsektor är 84 % för Industri, 12,3 % för Handeln/Tjänster, 2 % för Offentlig Verksamhet och 1,8 % för Hushåll för båda fallen.

Avbrottskostnaderna är inte jämnt fördelade mellan olika elanvändare. Generellt är påverkas i hushållssektorn relativt lite, medan handeln påverkas relativt mycket även vid kortare avbrott. De som dock har den största kostnaden, framförallt vid längre elavbrott, är industrin. Genom att ha investerat i reservkapacitet får industrin på kort sikt inte samma påverkan som handeln, men desto mer på längre sikt då maskiner riskerar att skadas, leveransåtaganden inte uppfylls och försäljning uteblir. Sammanfattningsvis kan därför sägas att handeln är mest sårbar givet avsaknaden av resiliens, medan industrisektorn generellt är den sektor med störst kostnader vid elavbrott.

Tidigare elavbrott i Sverige har till största del uppstått på grund av väderrelaterade orsaker. Risken för väderrelaterade orsaker kan sägas öka framåt på grund av klimatförändringar, även om ökad nedgrävning av kablar, så kallad kablifiering, i vissa områden minskar denna risk. Vidare ses risken för andra sorters avbrott som mer kopplar an till elsystemet i sig, såsom risk för timmar av effektbrist på nationell nivå som lyfts i Svenska Kraftnäts långsiktiga marknadsanalys 2021, samt risken för lokal kapacitetsbrist på grund av otillräcklighet i elnätet. Sverige tidigare så robusta elsystem, har gjort oss dåligt förberedda för störningar. Nu går vi mot ett helt annat system med både stort ökat elberoende och större risk för avbrott som kommer av såväl väderfenomen såväl som mer elsystemrelaterade risker i form av lokal kapacitetsbrist och timmar av effektbrist. Givet det robusta elsystem vi kommer ifrån är kunskap och intresse kring frågan bristfällig, och det är viktigt att frågan kring samhällsberedskap och leveranssäkerhet lyfts upp och analyseras.

Sammanfattningsvis kan sägas att det är betydligt billigare att förebygga än att ta de kostnader som uppkommer vid ett betydande avbrott och att det därför bör finnas en kollektiv betalningsvilja för att investera förebyggande i att undvika de problem som annars ligger framför oss. Vilka aktörer som ska investera och på vilket sätt bör analyseras så att den mest samhällsekonomiska lösningen väljs. En ökad elektrifiering är gynnsam både för klimatet och för Sveriges konkurrenskraft, men tillgången på fossilfri, leveranssäker och prismässigt konkurrenskraftig el bör säkras. Det är nu som Sverige behöver agera för att förbereda oss inför vår elektrifierade framtid.

4. Appendix

4.1 Det finns ett antal olika metoder för att skatta elavbrottskostnader

De långsiktiga negativa effekterna för samhället av ett elavbrott påverkas av sårbarheten i elnätet. Sårbarhet i ett elnät påverkas av antalet kunder som drabbas av ett elavbrott (eller det påverkade nätet), energin som inte levereras samt den beräknade tiden att vara igång igen. Det är mycket svårt för nätoperatören att bedöma konsekvenser för slutanvändare av el eller för samhället som helhet. Detta beror på att nätföretaget normalt sett, inte vet vad deras kunder använder elen till samt vad deras kunder har planerat att göra (beredskap) vid ett elavbrott³⁴. Det är därför viktigt att samla in information för att kunna ta hänsyn till kundperspektivet när VoLL (value of lost load) beräknas.

Enkätbaserade studier samlar in information från industrikunder, kommersiella kunder och privatkunder. Målet är att erhålla en värdering av avbrottskostnader från kunder. Direkta metoder används med fördel för kunder med goda kunskaper om avbrottskonsekvenser, till exempel, för industrisektorn och andra stora elanvändare. Med viss vägledning uppmanas kunderna att identifiera effekterna och utvärdera kostnaderna för ett elavbrott. När effekterna av avbrott är mindre påtagliga och den monetära förlusten är svårare att utvärdera, till exempel förhushåll, tillfrågas elanvändare om deras betalningsvilja (Willingness to Pay – WTP) för att undvika avbrott eller om deras vilja att acceptera (Willingness to Accept – WTA) en kompensation för att ha ett större antal avbrott. Generellt sett är enkätstudier den bästa metodiken då elanvändarna får uppskatta sina kostnader.

Ett annat sätt att utvärdera avbrottskostnader direkt är genom utvärdering av tidigare händelser/fallstudier. Det är lättare för elanvändare att ge en mer detaljerad kostnadsvärdering när de faktiskt upplevt ett avbrott än när de föreställer sig det.

Metoder som klassas som indirekta baseras istället på statistik och makroekonomisk datainsamling och görs genom ett ekonomiskt mått, till exempel bruttonationalprodukt och bruttoförelägningsvärde, och ett mått på elförbrukningen. Ett annat indirekt tillvägagångssätt kallas för avslöjad preferens där kunderna frågas på ett indirekt sätt om deras WTP/WTA, eller där marknadstrender gällande investeringar i förebyggande åtgärder är beaktas, såsom hur många som investerat i egen generator.

³⁴ <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=5255933>

Alla dessa metoder har sina för- och nackdelar vilket redogörs för i Tabell 3. Studier som har jämfört kostnader beräknade med olika metoder anger att WTP och WTA kan användas för att skatta de lägsta respektive högsta avbrottskostnaderna. Dessutom görs följande observation när det gäller jämförelse av kostnader mellan metoder: WTP < Pris Elasticitet/Avslöjat preferens < Makroekonomiskt < Direkta Kostnader < WTA. Dessa studier visar också att kostnadsvärdering av avbrott främst beror på de tre faktorerna; elavbrottets längd, tidpunkt och avisering.

Tabell 3. Fördelar och nackdelar av de olika avbrottskostnadsmetoderna.

Metoder för att beräkna kostnader vid elavbrott i samhället	Fallstudier (Direkt)	Verklig händelse +
		Svårt att generalisera -
	WTA/WTP (Direkt)	Flexibelt med olika teoretiska scenarion +
		Tidskrävande datainsamling -
	Direkta kostnader (Direkt)	Kunder får själv identifiera kostnader +
		Ej hushållsanpassad - finns risk för att de överdriver -
	Makroekonomiska studier (Indirekt)	Få data behövs +
		Simplifieras och olika avbrott kan inte identifieras -
	Referenser (Indirekta)	Flexibelt med olika teoretiska scenarion +
		Endast betalda åtgärder -

Källa: Sweco Analys

Det finns dock vissa skillnader mellan ACER-metoden och studien som Ei har använt för att ta fram VoLL. Enligt ACERs metod ska VoLL tas fram för åtminstone kundkategorierna hushåll, handel och tjänster, offentlig verksamhet, små och mellanstora företag (SME) inom industrisektorn, stora företag inom industrisektorn (storindustri) och transportsektorn. I Ei:s beräkning används jordbruk som en underkategori inom industri medan SME och stora företag har aggregerats som en gemensam industrikategori. Dessutom ingår transport också inom industrikategorin. Ei bedömer att det inte varit möjligt att genomföra en ny avbrottskostnadsvärdering för transportsektorn inom tidsramen och konstaterar vidare att transportsektorn idag är en liten del av industrisektorn och att en stor del av eltransporterna, däribland tåg och tunnelbana, är prioriterad verksamhet vid avbrott. När Sverige har ett större antal eldrivna fordon kommer det bli mer relevant att göra en separat avbrottskostnadsvärdering för transportsektorn.

I samband med beräkningen av VoLL, har Ei också beräknat en tillförlitlighetsnorm³⁵ för Sverige enligt ACERs metod. Tillförlitlighetsnormen motsvarar ett beräknat LOLE-värde, förväntad förlorad last (*Loss of Load Expectation*). LOLE motsvarar det förväntade antalet timmar per år som det inte finns tillräckliga resurser för att möta all efterfrågan på el i Sverige. LOLE beräknas i sin tur med stöd av två nyckeltal: VoLL och kostnaden för ny resurs som kan användas för att förebygga elavbrott (cost of new entry, CONE). Med antagandet att den största möjliga effektbristen i Sverige är 1 750 MW, föreslår Ei att tillförlitlighetsnormen för Sverige ska uppgå till 0,99 timmar per år. Värdet för LOLE i Sverige är beräknat utifrån alternativkostnaden för efterfrågefleksibilitet i hushållsuppvärmning. Detta innebär att användandet av denna referensteknik är det billigaste sättet att hantera den största möjliga effektbristen i Sverige under de kommande fem åren.

4.2 Litteraturstudien visar bland annat på att elavbrott utomlands inneburit mycket signifikanta samhällsekonomiska kostnader

En litteraturstudie har utförts av nationella och internationella studier med frågeställningar relaterade till kvantifiering av kostnader i samhället och näringsliv vid elavbrott. I Tabell 4 görs en sammanställning av de mest relevanta studierna med beskrivningar av metodiken som har används och kostnader relaterad till studie/incident. Därefter förs en diskussion om de viktigaste slutsatserna av studierna.

³⁵ Energimarknadsinspektionen, Ei:s förslag till tillförlitlighetsnorm för Sverige: artikel 25 i EU:s elmarknadsförordning, R2021:05, Tillgänglig: <https://ei.se/download/18.3d2b82b179c18ed4ae8ca/1622466418795/Eis-f%C3%B6rslag-till-till-f%C3%B6rlitlighetsnorm-f%C3%B6r-Sverige-Ei-R2021-05.pdf>

Tabell 4. Sammanställning av olika studier hittades i litteratur som beräknar samhällskostnader vid elavbrott.

Land	Metodik	År / Källa	Om incident / studie / metod / kostnader	Källa
CA, USA	Fallsstudie	2019–2021	Högt elbehov på grund av värmebolja. Låga reserver av vattenkraft på grund av torka. Roterande bortkoppling av elanvändare på grund av effektbrist. 2,5 miljarder dollar (Kommersiellt, Industriell och Hushåll)	36, 37, 38
TX, USA	Fallsstudie	2021	Extrem vinterstorm, bristande transmissionskapacitet, avveckling av planerbar elproduktion och låg efterfrågaflexibilitet. Kaskadeffekter på andra tjänster som är beroende av el Kostnaderna varierade enligt olika källor mellan 130–200 miljarder dollar.	39, 40
Japan	Fallsstudie	2021	Kallt väder. Ökad efterfrågan på flytande naturgas för att generera värme och el. Brist på naturgas gjorde det är svårt för Japan att upprätthålla naturgasbaserad elproduktion. Stamnätsoperatörerna fick efterfråga att industrin reducerade sin elanvändning Rekordhög elpris på JEPX på 2,39 dollar per kilowattimme, det högsta rekordet någonsin i världen.	41, 42, 43
Sverige	Fallsstudie	2005	Orkan Gudrun Avbrott för ~450 000 kunder, varav ~100 000 kunder upplevde ett avbrott som varade i mer än fyra dagar. Totala kostnaden för elavbrotten uppskattades till 1,6–2,1 miljarder kronor	44
Sverige	Enkät	2003 2015 2018	Hushåll fick frågan om deras betalningsviljan för att undvika elavbrott. Företagen (jordbruk, handel, offentlig verksamhet och industri) tillfrågades endast om deras faktiska avbrottskostnader för olika avbrottslängder. Dessa studier används av Energimarknadsinspektionen i nuläget för beräkning av Sveriges VoLL VoLL för Sverige 82,52 SEK/kWh i 2020 års prisnivå.	45, 46, 47
Finland	Enkätstudie som kompletterades med jämförelse av andra metoder.	2018	För 60 min avbrott VoLL: Hushåll = 1,2 – 12,1 EUR/kWh (skillnad mellan WTP och WTA) Industri 25,9 EUR/kWh Kommersiellt 57,7 EUR/kWh Offentlig verksamhet 41,2 EUR/kWh	48, 49, 50, 51

³⁶ <https://www.bloomberg.com/news/articles/2021-07-10/california-orders-stage-2-grid-emergency-power-short-falls-loom>

³⁷ <https://www.cnbc.com/2019/10/10/pge-power-outage-could-cost-the-california-economy-more-than-2-billion.html>

³⁸ <https://eu.desertsun.com/story/news/environment/wildfires/2020/08/19/californiapower-outages-rolling-blackouts-why-they-happening-again/5612003002/>

³⁹ An open-source extendable model and corrective measure assessment of the 2021 Texas power outage – 2021

⁴⁰ Cascading risks: Understanding the 2021 winter blackout in Texas – 2021

⁴¹ <https://asia.nikkei.com/Business/Energy/Facing-blackout-Japan-s-Tepco-asks-other-sectors-for-electricity>

⁴² <https://www.argusmedia.com/en/news/2216342-japan-urged-to-prepare-for-challenge-of-power-shortages>

⁴³ <https://www.reuters.com/article/us-japan-power-crisis-idUSKBN2A50TI>

⁴⁴ Stormen Gudrun – Vad kan vi lära av naturkatastrofen <https://www.energimyndigheten.se/trygg-energiforsorjning/lardomar-fran-intraffade-handelser/stormen-gudrun/>

⁴⁵ Elavbrottskostnader 2003. Uppdatering utförd år 2003 av rapporten "Avbrottskostnader för elkunder" från 1994"

⁴⁶ H. Vefsno and G. Kjolle, 2015, Estimation of Costs of Electricity Interruptions in Sweden – Interruption cost parameters based on the survey conducted by University of Gothenburg from 2005, SINTEF

⁴⁷ Fredrik Carlsson et al., "Kostnader av elavbrott för svenska elkunder", Institutionen för nationalekonomi med statistik, Göteborgs Universitet, december 2018

⁴⁸ <https://ieeexplore.ieee.org/document/8659847>

⁴⁹ <https://ieeexplore.ieee.org/document/7386998>

⁵⁰ <https://ieeexplore.ieee.org/document/6683647>

⁵¹ <https://ieeexplore.ieee.org/document/1364951>

Land	Metodik	År / Källa	Om incident / studie / metod / kostnader	Källa
Tyskland	Makro-ekonomisk	2011	Skadeståndet för förlorade aktiviteter hemma. Även förlorade värden för kommersiell sektor och för industrin. VoLL för hela Tyskland skattades till 8,51 EUR/kWh i 2007 års nivå. För 60 min avbrott VoLL: Hushåll 15,70 EUR/kWh Jordbruk 2,34 EUR/kWh Industri 2,49 EUR/kWh Handel 16,35 EUR/kWh Offentlig verksamhet 5,53 EUR/kWh	52
Spanien	Makro-ekonomisk	2013	Förhållande mellan bruttovärdet och energiförbrukningen per sektor undersöktes VoLL för hela Spanien skattades till 6 EUR/kWh VoLL skiljde sig mellan olika regioner. 7 regioner översteg det nationella VoLL-genomsnittet. Det högsta VoLL var sju gånger högre än det lägsta VoLL.	

I de svenska studierna observerades att WTP är högre för hushåll när avbrott inte är aviserade, under helger samt under vintertid. Handel/Tjänster var den kundkategori med högst rörliga kostnader men industrikunder är den kategori med högst totala kostnader (fast + rörlig).

I Sverige är det viktigt för politiker och andra beslutfattare inom energibranschen att fundera på vad som är önskvärt för elkunder och vilka åtgärder de kan tänka sig att frivilligt acceptera, i form av till exempel efterfrågeflexibilitet, för att möjliggöra för den önskade omställningen av elsystemet⁵³. Det finns en viss skillnad i acceptans när det är kunden själv som väljer att nyttja/sälja efterfrågeflexibilitet, till exempel i en lokal flexibilitetsmarknad, än när kunden ofrivilligt kopplas bort. Eftersom lokala flexibilitetsmarknader ger ekonomisk ersättning kan man anta att kunden värderar detta högre än de negativa konsekvenserna för sin verksamhet som uppstår av att avstå från att använda el vid det önskade tillfället. Oavsett om en störning i elsystemet hanteras genom efterfrågeflexibilitet eller genom investering i nätets tillförlitlighet, är ett viktigt steg att värdera kostnader vid elavbrott för olika kunder.

Fler investerar i egna backup-lösningar såsom egna generatorer kan minska de negativa effekterna vid ett elavbrott. Det kan dock vara samhällsekonomiskt sub-optimalt att varje aktör ska tillgodose sin egen reservkraft. Det vore även något av en tillbakagång för det svenska elsystemet, där elsystemet tidigare varit pålitligt så att detta inte behövts.

⁵² <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421511007178>

⁵³ <https://www.tekniskaverken.se/om-oss/tekniska-verken-tycker-bloggen/optimering-ransonering-eller-mitt-emellan/>

**Denna rapport utgör ett underlag i det större projektet Kraftsamling
Elförsörjning, som Svenskt Näringsliv driver sedan drygt två år.
Inom projektet har ett flertal underlagsrapporter publicerats inom
en rad olika områden, till exempel scenarioanalys till 2045, energi-
effektivisering, flexibilitetslösningar, transportsektorns elektrifiering
och ny elmarknadsdesign. Mer finns att läsa på Projekt Kraftsamling
elförsörjning (svensktnaringsliv.se)**

**Målet är att Sverige ska ha ett elsystem som varje timme, året runt,
levererar fossilfri el till användarna till internationellt konkurrens-
kraftiga elkostnader.**

www.svensktnaringsliv.se

Storgatan 19, 114 82 Stockholm

Telefon 08-553 430 00

Tryck: Arkitektkopia AB, Bromma, 2022