

# Risk- och tillförlitlighetsanalys 2021–2025

En syntesrapport

RAPPORT 2025:1148



# Risk- och tillförlitlighetsanalys 2021–2025

En syntesrapport

Andrea Bille Pettersson, Daniel Hirsch och  
Mathilde Ingrosso Hildingsson, Energiforsk

ISBN 978-91-89918-55-9 | © Energiforsk december 2025  
Energiforsk AB | Telefon: 08-677 25 30  
E-post: kontakt@energiforsk.se | www.energiforsk.se

# Innehållsförteckning

Förord	6
De som driver forskningens riktning – här är programstyrelsen	8
Orföranden har ordet – nya hot och traditionella risker	10
Om programmet Risk- och tillförlitlighetsanalys	12
Hur mycket ny produktion kan anslutas till elnätet?	14
Handbok hjälper elnätsbolagen bedöma elnätets kapacitet	16
Nya tillförlitlighetsdata för högspänningskomponenter stärker branschens riskanalyser	18
Tillförlitlighetsindex kan användas för att bedöma systems robusthet	20
Är Sveriges elnät redo för DC-teknik?	22
Korta spänningsdippar främsta orsaken till produktionsstörningar hos stora elanvändare	24
Beräkningsmetoder för elnät under stor osäkerhet	26
Maskininlärning tar styrning av elnät in i framtiden	28
Digitalt verktyg kan skydda elnäten mot framtida driftstörningar	30
Så kan vi undvika störningar när vind- och solkraft kopplas in på elnätet	32
Risken för att likströmläckage försämrar jordfelsbrytares skyddsfunktion är låg	34
Förbättrad modell ska stärka elnätet under snötunga vintrar	36
Kursen som stärker branschens förmåga att använda rätt data på rätt sätt	38
Fler fall av interferens på grund av spänningsdippar kan vänta i framtidens elnät	40
Kursen som ökar kunskapen om risk och tillförlitlighetsanalys	42
Så arbetar svenska elnätsbolag med risk och sårbarhet – och så kan arbetet förbättras	44
Låga risker att tillåta högre spänning vid korta feltider	46
Riskbaserad drift kan minska stora elavbrott – men kräver mer forskning	48
Transformatorer klarar högre belastning – beräkningar öppnar för ökad effektivitet	50
Övertoner kan begränsa hur många elbilsladdare som kan anslutas till elnätet	52
Osäkerheten kring litiumjonbatterier bromsar säker energilagring	54
Liten risk att batterier skapar spänningsvariationer	56
Batterierlager kan förbättra elkvaliteten – men inte på egen hand	58



## Förord

**Elförsörjningssystemet är en av samhällets mest kritiska funktioner. Samtidigt blir elsystemet allt mer komplext. Andelen väderberoende elproduktion ökar, elintensiv industri ställer om och behovet av el växer. Dessutom elektrifieras fordonsflottan snabbt och våra sätt att använda el förändras. Detta ställer nya krav på elöverföringen.**

Elnätet är till stora delar åldrande och byggs samtidigt om till ett mer digitalt och smart system. På flera håll i landet finns också brist på kapacitet i elnäten. Sammantaget påverkar detta möjligheterna att leverera el på ett säkert och tillförlitligt sätt.

– När samhället blir allt mer beroende av el ökar också kraven på en stabil och väl fungerande elförsörjning. Elnätsföretagen måste kunna leverera el med hög leveranssäkerhet och god kvalitet. För att klara detta behövs fördjupad kunskap om risk- och tillförlitlighetsanalys, säger Susanne Stjernfeldt, programansvarig på Energiforsk.

Utvecklingen mot sammankopplade energisystem och ökad användning av digital teknik gör elsystemet både mer robust och mer sårbart. Därför är det viktigt att fort-

sätta utveckla kunskap och kompetens inom risk- och tillförlitlighetsanalys.

Genom risk- och tillförlitlighetsanalyser kan investeringar riktas till de delar av elnätet där behoven är som störst. På så sätt kan resurser användas effektivt och bidra till ett hållbart elsystem.

Inom programmet Risk- och tillförlitlighetsanalys har omkring tjugo projekt bedrivits sedan 2021 i den etapp som nu avslutas och efterföljs av en ny. Projekten har fokuserat på nya metoder, modeller och beslutsstöd för elnäten. Analyser av driftsäkerhet och tillförlitlighet blir allt viktigare i takt med att elsystemet förändras.

– Internationella erfarenheter visar att tillförlitlighetsanalyser i allt större utsträckning används som underlag för investeringar i elnäten. Det är kunskaper som även är viktiga i Sverige, säger Susanne Stjernfeldt.

Programmet startade 2006 och har sedan dess bidragit till utvecklingen av nya metoder och verktyg för riskbedömning. Målet är att minska risker och öka tillförlitligheten i de svenska elnäten.

För att möta framtidens utmaningar behövs fortsatt utveckling av analysverktyg och bättre användning av forskningsresultat i praktiken.

– Under programperioden 2026–2030 kommer fokus att ligga på kunskapsutbyte över olika områden samt på metoder och verktyg som kan användas i elnätsföretagens dagliga arbete, avslutar Susanne Stjernfeldt.

Susanne Stjernfeldt, Energiforsk  
Programansvarig



## De som driver forskningens riktning – här är programstyrelsen

Programstyrelsen består av representanter från elnätsbranschen som aktivt bidrar till att forma forskningens inriktning. Genom sitt arbete säkerställer programstyrelsen att forskningen inom Risk- och tillförlitlighetsanalys är relevant, praktiskt användbar och möter verkliga behov i branschen.

Som ledamot i programstyrelsen får du möjlighet att lyfta ditt företags utmaningar och perspektiv, samtidigt som du representerar företag med liknande behov och intressen. Programstyrelsen spelar därmed en avgörande roll i att omsätta branschens erfarenheter till forskning som gör verklig skillnad.

–Vi eftersträvar en bred sammansättning av företag i olika storlek och med olika utmaningar. Det är avgörande för att programmet ska säkerställa att forskningen kommer hela branschen till nytta, säger Susanne Stjernfeldt, programansvarig på Energiforsk.

Programstyrelsen i Risk- och tillförlitlighetsanalys består av:

- Jenny Paulinder, Göteborg Energi Elnät, ordförande
- Fredrik Andersson, Elinorr
- Magnus Brodin, Skellefteå Kraft, elnät
- Niclas Eriksson, Eon Energidistribution elnät
- Hampus Halvarsson, Jämtkraft

- Linus Hansson, Ellevio
- Henric Johansson, Jönköping energi elnät
- Geoffrey Jordaan, Svenska kraftnät
- Göran Sandström, Umeå Energi
- Fredrik Sjödin, Installatörsföretagen
- Stefan Undén/August Millqvist, Öresundskraft elnät
- Carl Johan Wallnerström, Energimarknadsinspektionen
- Emil Welin, Vattenfall Eldistribution
- Susanne Stjernfeldt, Energiforsk, programansvarig

Nästa programetapp startar 2026 och vi välkomnar företag som vill bidra till att utveckla forskning som stärker hela energibranschen. Att engagera sig i programstyrelsen är en möjlighet att både påverka och ta del av värdefull kunskap, nätverk och erfarenhetsutbyte.

Är du intresserad av att representera ditt företag?  
Kontakta Susanne Stjernfeldt, Energiforsk, programansvarig  
[susanne.stjernfeldt@energiforsk.se](mailto:susanne.stjernfeldt@energiforsk.se)



## OM PROGRAMMET

### Risk- och tillförlitlighetsanalys

**Elavbrott påverkar oss alla, både privatpersoner och företag. När strömmen går slutar digitala tjänster fungera, industrins maskiner kan skadas, bensinpumpar stannar och vardagen blir snabbt krånglig. Hur kan vi minska risken för sådana problem och se till att elnätet är stabilt? Det är precis vad programmet för risk- och tillförlitlighetsanalys på Energiforsk forskar om.**

Idag blir elförsörjningen allt mer komplex. Vi har mer vind- och solkraft som inte alltid producerar el jämnt, elbehovet ökar när fler bilar blir eldrivna och industrin använder mer el, och gamla ledningar och transformatorer börjar bli slitna. Samtidigt förändras regler och hur vi använder el. Allt detta gör att det blir svårare att garantera ett stabilt elnät.

Samtidigt är våra system mer sammankopplade än någonsin. Digital utrustning integreras i elnätet, vilket gör samhället sårbart på nya sätt. Därför behövs forskning som ger oss bättre verktyg för att förstå riskerna och öka tillförlitligheten. Genom att analysera risker och planera smarta åtgärder kan vi rikta resurserna dit de gör mest nytta – och skapa ett elnät som klarar framtidens utmaningar på ett hållbart sätt.

**Programmet fokuserar på två huvudområden:**

- Identifiera och prioritera risker: vilka delar av elnätet är mest kritiska?
- Välja rätt åtgärder: vilka insatser minskar risken för avbrott mest effektivt?

Forskningen bygger på avancerade matematiska modeller och analyser av elnätets fysiska delar. Målet är att göra elnätet mer robust, minska risken för avbrott och se till att de som ändå sker blir så korta som möjligt.

I takt med att myndigheter och elnätsföretag ställer högre krav på tillförlitlighet och investeringar, kommer dessa analyser bli allt viktigare – både i Sverige och internationellt. Programmet hjälper alltså inte bara till att förstå riskerna idag, utan skapar också verktyg för framtidens elnät.



## Ordföranden har ordet – nya hot och traditionella risker

**Då var ännu en programperiod till ända, den tredje. Intresset för riskområdet fortsätter att öka – och breddas. Ett nytt riskfokus har seglat upp på agendan för elnätsbolagen: omvärldsläget och det växande hotet mot våra elnät från illasinnade aktörer. Under den här programperioden har vi så smått börjat utforska området. Även om inga projekt har startats ännu, är min bedömning att arbetet kommer att ta fart inom en snar framtid.**

Att nya risker tillkommer innebär förstås inte att de traditionella riskerna för elnätet försvinner. För elnätsföretagen är det fortsatt avgörande att optimera både ekonomi och drift utifrån risk och tillförlitlighet.

Aktuella frågor är fortsatt hur vi kan utnyttja nätet mer effektivt – till exempel ansluta fler kunder utan att bygga ut nätet, genom att använda flexibilitet och energilagring? Vilka risker följer med detta, och hur ska de hanteras?

Vi fortsätter att undersöka hur vi bäst säkerställer att de resurser som finns används på rätt sätt och vid rätt tidpunkt. Vilka delar av nätet behöver bytas ut först, och vilka

kan fortsätta fungera ett tag till? Och kan vi förutsäga var problemen sannolikt uppstår, så att vi kan förebygga dem i stället för att bara reagera?

Några av dessa frågor har programmet adresserat och gett svar på under perioden. Till exempel har flera projekt kring batterilager genomförts och en kurs inom området asset management-data har tagits fram. Dessa insatser har bidragit med både praktisk kunskap om hur vi på ett säkert sätt kan avlasta nätet och stärkt kompetensen kring hur data kan användas för att fatta mer träffsäkra investeringsbeslut.

Vi har även finansierat projekt som tittat på hur distribuerad generering påverkar nätet och en sammanställning av tillförlitlighetsdata för högspänningskomponenter har gjorts, vilket hjälper oss att identifiera delar av nätet med förhöjd risk och planera underhåll och investeringar på ett mer effektivt och säkert sätt. Många fler ämnen har också behandlats, som du kan läsa om i denna rapport.

## **Programperiodens resultat och vägen framåt**

Risk- och tillförlitlighetsprogrammet har som mål att bidra till ett robustare elnät genom att öka kunskapen om både befintliga och potentiella framtida risker, och hur vi på bästa sätt kan hantera dessa. Detta gör vi dels genom att finansiera forskning, både längre doktorandprojekt och kortare studier och utredningar, dels genom att sprida kunskap till alla elnätsföretag från norr till söder, till exempel genom kurser och seminarier.

Den här sammanställningen av alla projekt och resultat i programmet Risk- och tillförlitlighetsanalys ger en överblick över det breda spektrum av frågeställningar som ryms inom begreppen risk och tillförlighet. Jag rekommenderar att du läser de här populärvetenskapliga sammanfattningarna, och sedan går vidare till den kompletta rapporten när du hittar något som väcker ditt intresse. Rapporterna hittar du via Energiforsks hemsida där de är tillgängliga för alla.

Nu är som sagt den tredje programperioden för risk, och tillförlitlighetsanalys slut, men inom kort startar den fjärde perioden upp. Då planerar vi att fortsätta i samma riktning, genom att vidareutveckla metoder, verktyg och arbetssätt samt bidra till kunskapsspridning och kompetensutveckling inom området risk och tillförlighet. Följ med oss på den resan, dela med dig av din kunskap och ta del av andras. Kontakta mig eller Susanne Stjernfeldt som är programansvarig på Energiforsk för att få veta mer om nya etappen och hur du blir medlem.

Tack till alla som har bidragit till programmet; utförare, styrelsemedlemmar, kursdeltagare med flera. Vi ses igen i nästa period!

Jenny Paulinder, ordförande, Göteborg energi  
jenny.paulinder@goteborgenergi.se



## Hur mycket ny produktion kan anslutas till elnätet?

Övergången till ett hållbart energisystem innebär ökad elanvändning och fler anslutningar till elnätet. Acceptansgränsen visar hur mycket ny produktion eller förbrukning som kan kopplas på. Till skillnad från tidigare studier som fokuserat på avancerade beräkningar, undersöker denna Energiforsk-rapport enklare och mer praktiskt användbara metoder.

Rapporten *Acceptansgränsberäkningar i distributionsnät* ger en allmän inledning om acceptansgränsberäkningar och ger detaljerade exempel för praktiska metoder att uppskatta acceptansgränsen i distributionsnätet.

Rapporten beskriver metoder som kan användas både vid anslutningsförfrågningar för enskilda anläggningar och i planering av framtida distributionsnät, till exempel för att bedöma investeringsbehov eller sätta tillfälliga begränsningar. Den ger också en kort översikt av möjligheterna och begränsningarna med reaktiv-effektstyrning i låg- och mellanspänningsnät.

– De metoder som presenteras i rapporten ger vägledning för att bedöma hur myck-

et ny produktion eller förbrukning som kan anslutas till elnätet. Men resultaten är inte exakta sanningar – de måste alltid tolkas med förståelse för metodernas begränsningar och med insikt om att verkligheten kan förändras när nya beteenden och förutsättningar uppstår, säger Math Bollen på Luleå tekniska universitet, en av rapportförfattarna.

Metoderna som presenteras är anpassade för befintliga nät och omfattar både deterministiska och stokastiska beräkningar samt tidserieanalyser. Acceptansgränsen bedöms här utifrån spänning och överström.

För ny förbrukning, som elbilsladdning, saknas ännu tillräckligt med data för att sätta rimliga gränser. Mönstren är oklara och fler studier behövs, särskilt kring laddningsvanor och tidserier.

– Acceptansgränsen kan bara uppskattas – den går inte att mäta direkt. Även om man skulle testa sig fram i praktiken skulle resultatet bara gälla för just de förhållanden som rådde då, säger Tais Tavares de Oliveira på Luleå tekniska universitet, en av rapportförfattarna.

## Slutsatser från testade metoder

**Deterministiska metoder:** Dessa metoder utgår från kända indata. I rapporten ges en acceptansgräns i kW för varje punkt i nätet. Begränsningen är att överspänningar kan uppstå även om gränsen enligt beräkningarna inte överskrids, vilket kräver försiktighet vid tolkning av resultaten.

**Stokastiska metoder:** Här modelleras osäkerheter matematiskt, vilket gör det möjligt att bedöma hur de påverkar beslutsunderlaget. Rapportförfattarna lyfter behovet av en diskussion med intressenter om vad som är en acceptabel planeringsrisk, då tidigare studier ofta antagit 10 % utan närmare motivering.

**Tidsserier:** Dessa metoder bygger på mätdata eller simuleringar av produktion och förbrukning. De ger en mer verklighetsnära bild av variationer över dygn och säsonger, men kräver mycket data och tar lång tid att beräkna. Resultaten ligger nära den faktiska acceptansgränsen, men bygger på historiska data och är därför osäkra som prognoser för framtiden.

**Rapportnamn:** Acceptansgränsberäkningar i distributionsnät

**Rapportnummer:** 2025:1094

**Rapportförfattare:** Tais Tavares de Oliveira, Math Bollen, Luleå tekniska universitet



## Handbok hjälper elnätsbolagen bedöma elnätets kapacitet

**När allt fler vill koppla in solpaneler, elbilar och batterier på elnätet växer frågan: hur mycket klarar nätet egentligen? En ny handbok ger elnätsföretag ett efterlängtat stöd i att bedöma just det – den så kallade acceptansgränsen.**

– Syftet med handboken är att ge branschen en gemensam metod för att uppskatta hur mycket ny produktion eller förbrukning som kan anslutas till ett nät utan att skapa oacceptabla spänningsvariationer eller riskera driftsäkerheten, säger Math Bollen, Luleå tekniska universitet, en av rapportförfattarna.

Frågan "hur mycket solkraft kan man installera?" har hittills ofta fått det otillfredsställande svaret "det beror på". Handboken visar vad det faktiskt beror på – och hur svaret kan bli mer tillförlitligt. Med empiriska data, noggrann hantering av osäkerheter och väl valda modeller går det att beräkna acceptansgränser som speglar nätets verkliga kapacitet.

I rapporten betonas det att resultaten påverkas av många faktorer: allt från hur noggrant nätmodellen är uppbyggd till framtida, svåröversägbare beteenden som

elbilsladdning och solcellsstorlekar. Val av gränsvärden och vilka kraftsystemfenomen som inkluderas i beräkningarna är också avgörande.

Ett centralt begrepp i handboken är nätstyrka, ofta uttryckt i form av impedans. En stark nätstruktur kan hantera större solcellsanläggningar utan att spänningen påverkas nämnvärt, medan ett svagt nät kan få problem redan vid små effekter. Till exempel kan en 6 kW-anläggning i ett starkt nät ge obetydliga spänningsvariationer – medan en något större 9 kW-anläggning i ett svagt nät orsakar tydliga spänningshöjningar vid hög produktion, visas det i rapporten.

Handboken pekar också på praktiska utmaningar: äldre nät med treledarkablar och smal neutralledare, kunder som inte uppfyller dagens anslutningskrav och svårigheter att bedöma fler simultana nyanslutningar. Genom att se acceptansgränsen som ett verktyg i långsiktig nätplanering – snarare än för varje enskild anslutningsförfrågan – kan elnätsföretagen planera och undvika flaskhalsar längre fram.

### **Ett praktiskt ramverk för branschen**

– Handboken erbjuder inte bara teoretisk vägledning utan även ett praktiskt ramverk för framtidens nätplanering. Vi har varit måna om att inkludera enkla tumregler, och flera nätbolag har bidragit med kvantitativa underlag som gör det möjligt att presentera typiska värden för kablar, transformatorer med mera för olika sorters nät. På så sätt kan nätplanerare och andra aktörer göra mer rimliga bedömningar, säger Nicholas Etherden, högskolan i Gävle, en av rapportförfattarna.

Genom att bättre förstå och beräkna acceptansgränsen kan branschen både snabba på energiomställningen och värna nätets tillförlitlighet.

**Rapportnamn:** Handbok för tillämpning av acceptansgränsmetoden hos nätbolag

**Rapportnummer:** 2024:1056

**Rapportförfattare:** Nicholas Etherden, Högskolan i Gävle och Math Bollen, Luleå tekniska universitet



## Nya tillförlitlighetsdata för högspänningskomponenter stärker branschens riskanalyser

Tillgången till tillförlitlighetsdata hos nätbolag har tidigare upplevts som bristfälliga. I rapporten *High Voltage Equipment Reliability Data* har det tagits fram omfattande statistik som möjliggör för elnätsföretag att göra mer tillförlitliga analyser.

Kvantitativa risk- och tillförlitlighetsanalyser är centrala för att förstå hur robusta våra kraftsystem är – men hittills har analyserna försvårats av bristen på pålitlig felstatistik.

Projektet har nu sammanställt och analyserat ett stort antal felhändelser rapporterade av Svenska kraftnät och över hundra svenska elnätsföretag under perioden 2014–2021.

**De data som tagits fram omfattar centrala mått som:**

- Felfrekvens (fel per år och enhet)
- Avbrottstid (timmar per fel)
- Tillgänglighet (procent)

Beräkningarna bygger på omfattande anläggningsdata och täcker tio huvudkate-

gorier av högspänningskomponenter – från ledningar och krafttransformatorer till styrutrustning och SVC-enheter – med driftspänningar från 36 till 400 kV.

Resultaten visar hur tillförlitlighetsnivåerna varierar mellan komponenttyper och driftspänningar, men rapporten betonar att uppgifterna ska ses som generiska data – alltså genomsnittliga värden baserade på stora mängder fältdata. För företag som saknar egna, välunderbyggda felregister kan dessa siffror dock användas som branschgemensam referens i tillförlitlighetsanalyser och riskbedömningar.

Rapporten avslutas med rekommendationer för hur data bäst används i praktiken och en samlad översikt av alla beräknade tillförlitlighetsvärden.

Rapporten visar på en mognad i branschens arbete med riskanalys: från uppskattningar och antaganden till mer faktabaserade bedömningar. Med denna databas som grund kan elnätsföretagen nu genomföra mer tillförlitliga analyser, antingen baserat på egna data (bästa alternativet) eller baserat på den generiska data som här tagits fram. Sammanfattningsvis har rapporten bidragit med ett viktigt steg mot ett robustare kraftsystem i takt med elektrifieringen av samhället.

**Rapportnamn:** High Voltage Equipment Reliability Data

**Rapportnummer:** 2023:974

**Rapportförfattare:** Ying He, då Vattenfall



## Tillförlitlighetsindex kan användas för att bedöma systems robusthet

Mikronät blir en allt viktigare byggsten i framtidens eldistribution eftersom de bland annat kan fortsätta leverera el lokalt vid störningar i överliggande nät. Samtidigt innebär den fluktuerande produktionen från sol- och vindkraft och den flexibla driften att det är svårt att bedöma hur tillförlitliga mikronät verkligen är. Det finns därför ett stort behov av metoder som kan utvärdera mikronäts robusthet under realistiska driftsförhållanden och vid olika felhändelser.

I rapporten *Reliability Analysis of Microgrid* presenterar Ying He, då på Vattenfall, en metod som möter just detta behov. Metoden är utvecklad för att hantera osäkerheter i produktion, olika typer av fel och mikronäts förmåga att växla mellan nätanslutet läge och ö-drift. Den kombinerar teoretisk analys med praktiska verktyg som gör det möjligt att bedöma tillförlitligheten i verkliga mikronät.

Rapporten innehåller både en litteraturgenomgång och en fallstudie på det svenska mikronätet på Arholma i Stockholms skärgård.

Rapporten visar hur olika tillförlitlighetsindex kan användas för att bedöma syste-

mets robusthet, med fokus på lokal kundförsörjning, tillräcklig kapacitet och driftssäkerhet. Den föreslagna metoden beskrivs utförligt i rapporten, vilket gör den användbar för nätägare, planerare och forskare som vill utvärdera och optimera mikronäts tillförlitlighet.

Genom att kunna analysera hur mikronät presterar under olika driftsförhållanden ger metoden ett konkret verktyg för att stödja mer resilient och säker eldistribution – ett steg närmare stabilare och mer hållbara lokala elnät.

**Fakta:**

Mikronät är lokala elnät med egen produktion, last och energilagring.

**Rapportnamn:** Reliability Analysis of Microgrid

**Rapportnummer:** 2023:948

**Rapportförfattare:** Ying He, då Vattenfall



## Är Sveriges elnät redo för DC-teknik?

Energibranschen står inför en växande utmaning: hur ska elnäten anpassas till en framtid där både produktion och användning i allt högre grad sker med likström (DC) i stället för växelström (AC)? En ny rapport visar att tiden nu är mogen att på allvar börja planera för DC-teknik i svenska elnät – framför allt i städerna.

Detta projekt visar att MVDC-teknik, Medium Voltage Direct Current, kan bli särskilt viktig för att hantera urbanisering, elektrifiering och den växande andelen förnybar energi. Men för att komma vidare i utvecklingen krävs både praktisk erfarenhet och samarbete mellan branschens aktörer, slår författarna fast i rapporten *MVDC-Teknisk och ekonomisk genomförbarhetsstudie*.

### **Städer visar störst potential – begränsad nytta i landsbygger**

Analysen av kundfall i svenska tätorter visar att MVDC-lösningar, med två AC/DC-omriktare sammankopplade på DC-sidan, har flera fördelar: ökad driftsäkerhet och redundans, minskade överföringsförluster och förbättrad styrbarhet av effekt och spänning. Samtidigt är höga kostnader och begränsat utrymme i befintliga stationer hinder som måste hanteras.

För landsbygdsnät däremot bedöms nyttan vara begränsad. De korta ledningssträck-

orna ger små förluster och dagens produktutbud är inte anpassat för spännings- och effektområdet. Hittills har tekniken främst använts i storskaliga HVDC-lösningar (High Voltage Direct Current) för överföring av el över långa avstånd. Erfarenheter från andra länder pekar på att DC-tekniken i glesbygd troligen gör störst nytta först på högre spänningsnivåer, exempelvis inom regionnät.

### **Ett nationellt MVDC-forum förelås**

– Eftersom tekniken är ny behöver vi testa den i verkligheten, till exempel är Stockholm eller Göteborg lämpliga tätortsmiljöer för en demonstrationsanläggning. Det kan också skapa underlag för kostnadsberäkningar och standardisering, säger Ambra Sannino, sen av rapportförfattarna, då på DNV, nu på Vattenfall.

Behovet av nya studier kring likströmsapplikationer på lågspänningsnivå, LVDC, lyfts i rapporten. På längre sikt väntas även industrialanläggningar kunna bli en viktig tillämpning – särskilt med ökande elektrifiering av processer och användning av elektrolysörer.

– Jag tycker att vi behöver ett nationellt MVDC-forum! Där kan nätbolag, tillverkare, forskare och myndigheter utbyta kunskap så att vi snabbare kommer framåt i utvecklingen, säger Ambra Sannino.

**Rapportnamn:** MVDC-Teknisk och ekonomisk genomförbarhetsstudie

**Rapportnummer:** 2022:880

**Rapportförfattare:** Ambra Sannino, Vattenfall, Lucas Thomée, Henrik Hemark, Alexander Svensson, Daniel Karlsson, DVV



## Korta spänningsdippar främsta orsaken till produktionsstörningar hos stora elanvändare

**Tio av elva stora elanvändare upplever problem med elkvalitet. Den största orsaken är korta spänningsdippar på 50–400 millisekunder, som kan leda till driftstopp och omfattande ekonomiska förluster, enligt rapporten Slutkundens störningstålighet.**

– Korta spänningsdippar är den största utmaningen. De orsakar produktionsstopp med betydande kostnader, vilket gör behovet av samarbete mellan nätägare och slutkunder tydligt, säger Peter Ekström från Sweco, en av författarna till rapporten.

Analysen baseras på intervjuer med 14 personer verksamma i industri- och elnätsföretag. För mer än hälften av de intervjuade är elkvalitet en prioriterad fråga. Spänningsdippar, kortvariga sänkningar av spänningen i elnätet, är den dominerande orsaken till störningar, medan frekvensvariationer och övertoner förekommer men har begränsad påverkan.

Tåligheten mot spänningsdippar varierar mellan industrier. Vissa anläggningar klarar dippar på upp till 400 millisekunder, medan andra får problem redan vid 50 millisek-

under. Nuvarande föreskrifter kräver inte att nätägare åtgärdar sådana här kortare dippar, vilket innebär att slutkunderna behöver öka sin störningstålighet eller samarbeta med nätägare för att identifiera lösningar.

– Fel i elnätet, som är den största orsaken bakom spänningsdippar, kommer alltid att förekomma. Att minska dessa fel ligger även i elnätsbolagens intresse, och det är rimligt att anta att elnätets dimensionering i förhållande till felrisk redan nu är på en ekonomiskt försvarbar nivå.

Att ytterligare bygga bort felriskerna blir generellt sett mycket kostsamt, i alla fall ur ett elnätsbolags perspektiv, menar Peter Ekström.

Studien rekommenderar att kommunikationen mellan nätägare och slutkunder intensifieras. Tekniska åtgärder som skyddssystem och UPS-lösningar, det vill säga avbrottsfria kraftförsörjningssystem som tillfälligt levererar el vid störningar, kan minska risken för driftstopp, men kostnaderna är höga. På längre sikt bedöms risken för försämrad elkvalitet öka i takt med att andelen väderberoende elproduktion från sol- och vindkraft ökar i elsystemet.

**Rapportnamn:** Slutkundens störningstålighet

**Rapportnummer:** 2022:852

**Rapportförfattare:** Peter Ekström, Ann Brännlund, Sweco



## Beräkningsmetoder för elnät under stor osäkerhet

Osäkerheten kring hur elnäten kommer bete sig ökar i takt med att andelen väderberoende elproduktion ökar och nya typer av utrustning kopplas in. Men rapporten *Beräkningsmetoder för elnät under stor osäkerhet* visar att utmaningarna går att hantera på ett smartare sätt än idag – och till lägre kostnad. Till exempel kan man med statistiska metoder genomföra effektivare beräkningar med färre simuleringar.

– För att kunna driva elnätet säkert och samtidigt möjliggöra en storskalig integration av väderberoende elproduktion måste vi kunna hantera osäkerheter på ett effektivt sätt. Våra metoder gör det möjligt att studera fler scenarier med mindre beräkningsinsats – vilket ger bättre beslutsunderlag och minskar risken för överdimensionering, säger Oscar Lennerhag, en av rapportförfattarna.

Exempel på ökande nya osäkerheter kan handla om allt från svåröversäglbara driftlägen till komplexa resonanser som riskerar att skada utrustning. I rapporten presenteras flera nya beräkningsmetoder som gör det möjligt att analysera elnätets beteende mer effektivt. Genom att använda avancerade statistiska tekniker kan man få fram tillförlitliga resultat med betydligt färre simuleringar än vad som krävs med traditio-

nella metoder. Det innebär att fler scenarier kan studeras, vilket ger bättre beslutsunderlag utan att behöva överdimensionera systemet.

**Några av de viktigaste resultaten i rapporten är:**

- **Effektivare beräkningar med färre simuleringar:** Genom nya statistiska metoder kan man analysera komplexa nätfenomen med hög precision utan att behöva köra tusentals simuleringar.
- **Minskade säkerhetsmarginaler utan att tumma på säkerheten:** Bättre hantering av osäkerheter gör det möjligt att undvika överdimensionering, vilket sparar kostnader och underlättar anslutning av förnybar el.
- **Automatisk hantering av farliga överspänningar:** En metod har utvecklats för att koppla bort kablar vid behov och därmed minska risken för resonanta överspänningar – utan att störa normal drift.
- **Stokastisk modellering av elanvändning:** En ny stokastisk lastmodell gör det möjligt att beakta variationer i kunders elanvändning mer träffsäkert, vilket förbättrar beräkningar av övertoner och resonanser.
- **Optimerad dimensionering av HVDC-kablar:** Statistiska metoder gör det möjligt att beräkna överspänningar från exempelvis blixtnedslag mer exakt, vilket gör det möjligt att dimensionera kablar optimalt och minska kostnader
- **Tillgång till ett svenskt exempelnät:** Ett realistiskt nät har tagits fram och används nu i forskning och planering, vilket gör det lättare att testa och jämföra olika metoder.

Med dessa nya verktyg kan elnätsbolag och forskare bättre förstå och hantera de komplexa utmaningar som uppstår i ett allt mer dynamiskt elsystem och samtidigt bana väg för en snabbare och mer kostnadseffektiv energiomställning.

**Rapportnamn:** Beräkningsmetoder för elnät under stor osäkerhet

**Rapportnummer:** 2023:912

**Rapportörfattare:** Oscar Lennerhag, Jan Lundquist, Independent Insulation Group, Math Bollen, Luleå Tekniska Universitet



## Maskininlärning tar styrning av elnät in i framtiden

Maskininlärningsbaserad styrning kan återställa elnätets stabilitet snabbare och med lägre kostnader än traditionella metoder. Studien visar att säkerhetsmarginaler och stabilitet kan återställas med färre styrsteg och med mindre bortkoppling av last, vilket ökar nätets robusthet vid störningar. Det är resultat från rapporten *Maskininlärningsbaserad realtidsstyrning av förnyelsebara och säkra elkraftsystem*.

– Vår studie visar att DRL-baserade styrning presterade bättre än mer konventionella styrmetoder i alla testade scenarier. Algoritmerna återställer säkerhetsmarginaler snabbare och med färre styrsteg, vilket minskar kostnader och påverkan på nätet, säger Hannes Hagmar, en av rapportförfattarna.

Två algoritmer har utvecklats med hjälp av djup förstärkningsinlärning, så kallad DRL, en metod som kombinerar neurala nätverk med beslutsfattande i realtid:

- **Förebyggande styrning:** Övervakar nätets säkerhetsmarginaler och föreslår åtgärder innan kritiska tillstånd uppstår. Tester visar att säkerhetsmarginaler kan återställas snabbt och med låg systemkostnad, ofta med endast ett styrsteg.

- **Akut styrning:** Används när en större störning redan har inträffat och stabilisering krävs. Algoritmen aktiverar flexibla resurser som energilagring och efterfrågefleksibilitet. Jämfört med traditionell lastfrånkoppling ger metoden kortare återställningstid och mindre påverkan på kunder.

Metoderna uppvisar god förmåga att hantera osedda driftpunkter och störningar, men prestandan försämras vid mätfel – vilket understryker behovet av robusta datakällor. Implementering av DRL-baserade styrmetoder kan bidra till effektivare drift och ökad störningstålighet i framtidens elnät. För praktisk tillämpning krävs omfattande träningsdata och noggrann validering innan metoderna kan användas i skarpa situationer.

– Med hjälp av förstärkningsinlärning kan vi gå från reaktiv till mer proaktiv styrning av elnätet. Det gör att vi kan hantera störningar snabbare och till en lägre systemkostnad, vilket kan underlätta omställningen till ett förnybart energisystem, säger Hannes Hagmar.

**Rapportnamn:** Maskininlärningsbaserad realtidsstyrning av förnyelsebara och säkra elkraftssystem

**Rapportnummer:** 2022:894

**Rapportförfattare:** Hannes Hagmar, då på Chalmers Tekniska Högskola, nu på Svenska kraftnät och Le Anh Tuan, Chalmers Tekniska Högskola.



## Digitalt verktyg kan skydda elnäten mot framtida driftstörningar

Många elnät står inför en växande utmaning: hur man ska hantera åldrande driftsystem som styr och övervakar eldistributionen. Elnätsägare saknar i dag ofta en samlad överblick över statusen på sina styrsystem. Ett proaktivt digitalt verktyg kan kartlägga statusen på kritiska komponenter i elnäten och ge konkreta förslag på förbättringsåtgärder, enligt en rapport från Energiforsk.

– Genom att analysera systemen i tid kan vi undvika både dyra haverier och onödiga avbrott. Det här är ett sätt att stärka elsystemets robusthet i en tid när krav och specifikt säkerhetskrav ökar snabbare än livslängden på våra system, säger Anders Ledin från konsultföretaget Reqiro, en av författarna till rapporten.

Flera svenska elnätsägare brottas med hur man ska hantera åldrande driftsystem, IT- och OT-system, där IT står för information technology och OT för operation technology. Det är svårt att avgöra när en komponent bör uppgraderas eller bytas ut, vilket i sin tur ökar risken för oplanerade avbrott och höga kostnader.

För att möta detta behov föreslås i rapporten *Tillståndsbestämning av IT/OT inom drift*

av elnät en proaktiv metod i form av ett digitalt verktyg som kan kartlägga statusen på alla kritiska komponenter i elnäten, från styrsystem och fjärrterminaler till kommunikationsmoduler. Verktöget ska inte bara visa var riskerna är störst, utan också ge konkreta förslag på förbättringsåtgärder.

Rapporten understryker behovet av ett mer strukturerat arbetssätt. Många nätägare saknar i dag verktyg för att bedöma när en komponent bör bytas ut, vilket leder till osäkerhet och risker – både tekniskt och ekonomiskt. Ett gemensamt verktyg kan minska beroendet av externa specialister och göra det möjligt för fler aktörer att arbeta förebyggande.

– Metoden vi föreslår är flexibel och kan anpassas till allt från lokala elnät till nationella stamnät. Vi ger förslag på hur verktöget ska integrera faktorer som IT-säkerhet, hårdvarans prestanda, ekonomi, hållbarhet och systemens inbördes gränssnitt. Genom att simulera olika scenarier kan användaren jämföra effekter av olika åtgärder och planera insatser utifrån risknivå, kostnad och tid, säger Anders Ledin.

**Bland rapportens viktigaste slutsatser lyfts tre centrala aspekter fram:**

- En tydligare överblick över IT/OT-systemens status är avgörande för att kunna arbeta förebyggande.
- Ett gemensamt verktyg kan minska beroendet av externa specialister och stärka den interna kompetensen hos nätägare.
- Metoden möjliggör en mer strukturerad och långsiktig planering av uppgraderingar och underhållsåtgärder.

**Rapportnamn:** Tillståndsbestämning av IT/OT inom drift av elnät

**Rapportnummer:** 2025:1071

**Rapportförfattare:** Guido Daniels, Eugenia Katzenstein och Anders Ledin, Reqiro



## Så kan vi undvika störningar när vind- och solkraft kopplas in på elnätet

**Övertoner, det vill säga komponenter i spänningen och strömmen med en annan frekvens än grundtonen på 50 Hz, blir vanligare i takt med att fler vind- och solparker kopplas in på elnätet. Dagens metoder missbedömer ofta riskerna, och en veckas mätning räcker inte för att ge en rättvisande bild av påverkan, visar rapporten Tilldelning, uppföljning och verifiering av övertonsgränser.**

– Förenklade metoder som används i dag riskerar missbedöma övertonsnivåerna. Det kan leda till onödigt restriktiva krav och fördyrade projekt, eller till alltför generösa krav med höga övertonsnivåer som följd säger Isabelle Löfgren, Independent Insulation Group, en av rapportförfattarna.

För att möta energiomställningen krävs mer noggranna beräkningar och längre mätperioder. Studien pekar ut tre områden som är avgörande för att hålla elkvaliteten på en acceptabel nivå:

- **Tilldelning av störutrymme:** I dag sätts gränsvärden för att begränsa störningar, men metoderna skiljer sig åt. Ett exempel är IEEE-standarder som är internationella

riktlinjer för hur strömövertoner ska hanteras. De är enkla att använda men gör det svårt att skilja mellan olika typer av störningar. Ett annat exempel är IEC-metoden som fokuserar på spänningsövertoner. Den är mer komplex och kräver fler avvägningar, till exempel hur störutrymmet delas mellan olika anslutningar. Resonans i nätet kan dessutom göra att gränserna blir mycket strikta. Valet av metod påverkar både arbetsinsatsen och hur restriktiva gränserna blir – enkelhet kontra precision är den stora skillnaden.

- **Uppföljning med realistiska modeller:** Beräkningar måste ta hänsyn till hur elnätet och vindturbiner/solcellsanläggningar (eller andra typer av anläggningar innehållande kraftelektronik) beter sig vid olika frekvenser. Om detta inte görs riskerar man att missbedöma störningarna. Det finns också osäkerheter kring hur stora störningar som kommer från själva sol- och vindkraftverken, vilket gör att tillverkarnas modeller måste granskas noga. Förenklade metoder som de svenska riktlinjerna för anslutning av produktionsanläggningar (AMP/ASP) bör undvikas eftersom de riskerar ge missvisande resultat.

- **Verifiering genom längre mätningar:** En veckas mätning räcker inte för att få en rättvisande bild. Driftlägen och säsonger varierar, vilket gör att korta mätperioder missar viktiga förändringar. Mätningar bör pågå så länge som möjligt före start och fortsätta under hela anläggningens livstid. Även förändringar i nätet, som nya kablar eller parker, måste beaktas.

Studien rekommenderar att elnätsföretag och projektörer använder metoder som bygger på frekvensberoende impedanser och validerade turbinspecifikationer (eller motsvarande för andra typer av anläggningar innehållande kraftelektronik). Det är en förutsättning för att energiomställningen ska ske utan att elkvaliteten äventyras.

**Rapportnamn:** Tilldelning, uppföljning och verifiering av övertonsgränser

**Rapportnummer:** 2024:1010

**Rapportförfattare:** Oscar Lennerhag, Isabelle Löfgren, Independent Insulation Group



## Risken för att likströmsläckage försämrar jordfelsbrytares skyddsfunktion är låg

Risken för att likströmsläckage från solcellsanläggningar och elbilsladdare ska påverka jordfelsbrytarnas skyddsfunktion är låg, visar en rapport som bidragit till att öka kunskapen om hur moderna elinstallationer med växelriktare och laddutrustning påverkar elsäkerheten. Resultaten kan bidra till framtida standardisering när elnäten blir alltmer elektrifierade och digitaliserade.

– Risken för att likströmsläckage från solcellsinstallationer eller elbilsladdare skulle försämra jordfelsbrytares skyddsfunktion bedömer vi som låg, säger Sarah Rönberg från Luleå tekniska universitet, en av rapportförfattarna.

– Däremot tycker jag att man bör fortsätta bevaka området i takt med att fler icke-linjära laster kopplas in i elnäten.

Styrgruppen för Risk- och tillförlitlighet bedömer att resultaten från detta projekt kan användas som underlag för riskbedömning vid val av jordfelsbrytartyg och kan bidra till framtida standardisering och kravställning i takt med att elnäten elektrifieras och digitaliseras.

Syftet med projektet var att undersöka hur olika typer av jordfelsbrytare reagerar när de utsätts för strömmar som kan uppstå i moderna elinstallationer där växelriktare och laddutrustning används. Exempel på detta är summaströmmar som innehåller likström, kvasi-likström, övertoner och supratoner.

Resultaten visar att vissa jordfelsbrytare påverkas av inslag av likström och högre frekvenskomponenter, vilket kan förändra brytarens utlöstid. Det visar också att jordfelsbrytarens svar inte enbart beror på strömmens storlek, utan även på dess form. Till exempel kan kurvformen på summaströmmen spela roll: en 150 Hz-komponent med motsatt fasvinkel ( $180^\circ$ ) gav annorlunda resultat än samma signal i fas ( $0^\circ$ ), trots identisk magnitud.

### **Låg risk för spridning mellan anläggningar**

En central fråga i projektet var om likströmsläckage kan spridas mellan kundanläggningar och därmed påverka jordfelsbrytare i andra fastigheter.

Resultaten visar att risken för spridning av likström är liten i lågspänningsnätet. För högre frekvenser kan visserligen viss utbredning ske, men dessa signaler har mycket liten inverkan på jordfelsbrytarens funktion.

**Rapportnamn:** Jordfelsbrytare och komponenter från DC till 150kHz – en riskbedömning

**Rapportnummer:** 2021:819

**Rapportförfattare:** Sarah Rönnberg, Jil Sutaria, Angela Espin-Delgado, Naser Nakhodchi, Math Bollen, Luleå tekniska universitet



## Förbättrad modell ska stärka elnätet under snötunga vintrar

**Snöuppbyggnad och isbildning på kraftledningar är en stor utmaning för Sveriges elnät. En ny rapport visar hur en modell för att beräkna islaster nu vidareutvecklas för att bättre spegla svenska förhållanden, men för att uppnå säkrare dimensionering och färre strömavbrott krävs fortsatt forskning och insamling av mätdata.**

De senaste vintrarnas kraftiga snöfall har lett till störningar i elförsörjningen, där snö- och ispåbyggnad på distributionsledningar orsakat skador och haverier. För att möta detta problem har ett forskningsprojekt, genomfört av Hanna Sabelström och Christoffer Hallgren på Norconsult, haft som mål att förbättra ett modellverktyg, Lineloads, som används för att beräkna islaster på kraftledningar i Sverige.

Lineloads-modellen är ursprungligen utvecklad och anpassad för norska förhållanden och har tidigare körts på klimatdata med låg upplösning över Sverige. Till skillnad från i Norge så är svenska distributionsledningar ofta dragna genom tät skog och i lägre terräng, och modellen visat sig mindre tillförlitlig i dessa miljöer. I projektet har därför en ny version med högre horisontell upplösning utvecklats, vilket gör det möjligt att bättre representera lokala terrängförhållanden och variationer i klimatet.

## Framtida forskning och utveckling

Rapporten framhåller att det är nödvändigt med ytterligare mätningar av faktiskt islast i kombination med vädermätningar för att förbättra modellens precision och att mer forskning behövs kring hur is bildas på och faller av från olika typer av ledningar.

– Målet har varit att ta fram en modell som bättre visar långsiktiga risker så att man kan beräkna dimensionerande laster, men kan också användas för att återskapa och analysera enskilda isbildningshändelser, säger Hanna Sabelström.

Den uppdaterade Lineloads-modellen är anpassad för svenska förhållanden och kan användas för att bedöma riskområden och planera ledningars hållfasthet, till exempel för att uppskatta hur stora belastningar som kan inträffa vart femtionde år.

I rapporten lyfts också frågan om det alltid är rimligt att bygga ledningar för de allra högsta islasterna, eftersom det kan bli mycket dyrt.

– Ett alternativ är att använda ett övervakningssystem, där modellen används för att skapa prognoser som gör att man snabbt kan agera när is och snö börjar byggas upp, säger Christoffer Hallgren.

**Rapportnamn:** IceTools – Modell för riskövervakning och tillförlitlighetsberäkning av is- och snöpåbyggnad på ledningar

**Rapportnummer:** 2025: 1135

**Rapportförfattare:** Hanna Sabelström, Christoffer Hallgren, Norconsult



## Kursen som stärker branschens förmåga att använda rätt data på rätt sätt

Behovet av tillförlitliga och relevanta data i elnät växer snabbt i takt med att systemen blir mer komplexa och kraven på hållbarhet ökar. Kursen *Asset management – datainsamling och förståelse* har utvecklats för att ge yrkesverksamma en gemensam grund i hur data bör samlas in, värderas och användas för att fatta välgrundade beslut om drift, underhåll och investeringar.

Elnät genererar data på många nivåer, från komponenters tekniska tillstånd och underhållsloggar till systeminformation om avbrott, strömmar och spänningar. Denna bredd gör data ovärderlig för strategiska beslut – men också svår att hantera. Varierande datatyper, stora datavolymer och branschens höga krav på säkerhet innebär att datainsamling och datakvalitet ofta blir en utmaning i sig.

– Kursen har tagits fram för att adressera just dessa utmaningar. Den ger deltagarna en strukturerad förståelse för hur data kan stödja tillgångsförvaltning och hur man undviker vanliga fallgropar i arbetet, säger Tommie Lindquist, från Rise Research Institutes of Sweden, som var kursledare.

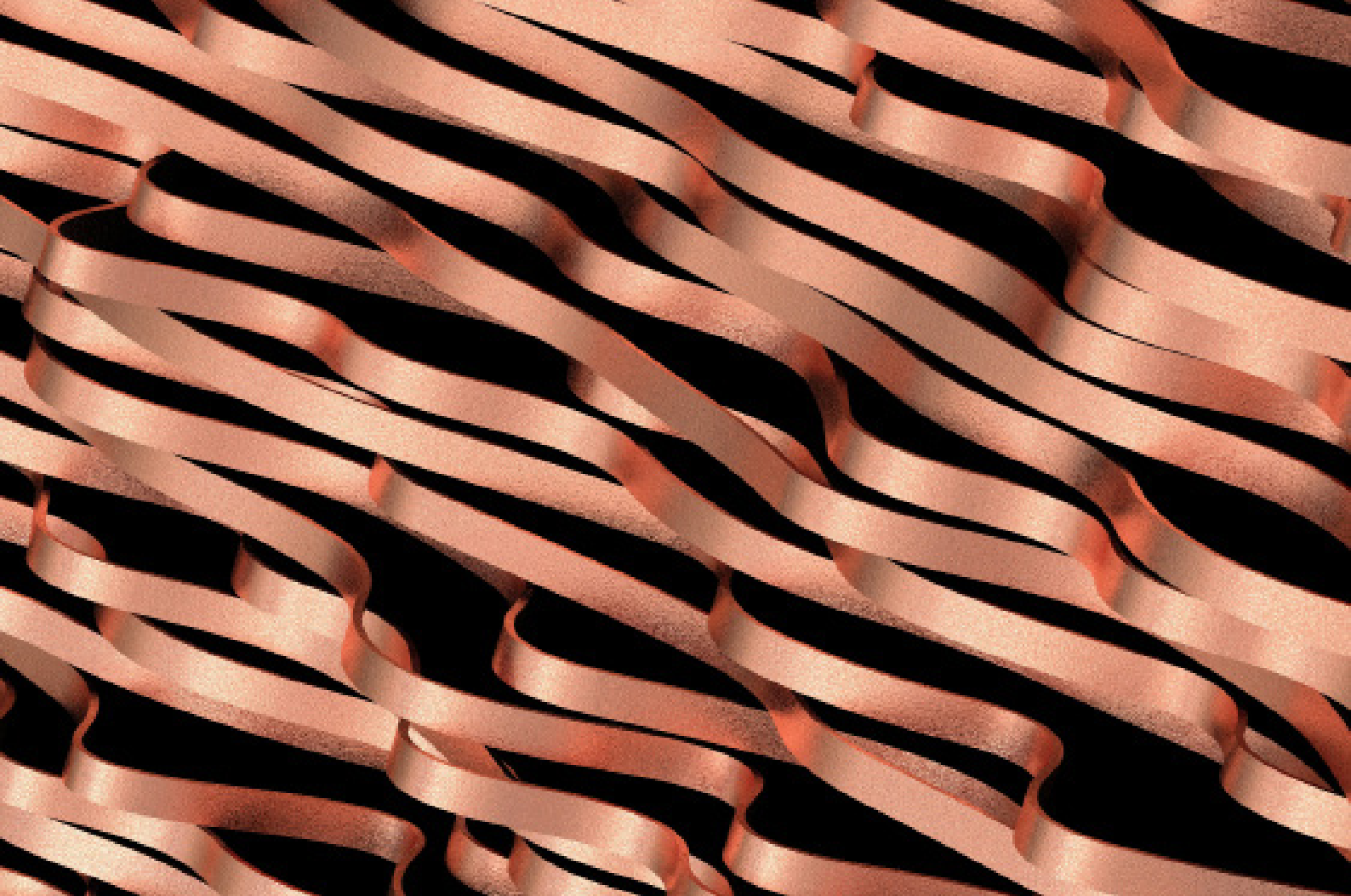
Den 27–28 augusti hölls kursen första gången i Stockholm och i februari planeras nästa tillfälle i Göteborg. Dessutom genomfördes kursen för programrådet i risk- och tillförlitlighetsanalys under mars 2025. Sedan uppdaterades och förfinades kursmaterialet för framtida kurstillfällen.

Kursupplägget är sex föreläsningar och en branschnära workshop som ska ge deltagarna praktiska verktyg för att identifiera relevanta datakällor, bedöma datakvalitet och tillämpa analysmetoder i verkliga användningsfall.

– Kursen riktar sig till kraftingenjörer, nätoperatörer, datavetare och andra som arbetar med asset management i elkraftsystem. Nästa kurstillfälle är i februari och man kan anmäla sig på Energiforsks hemsida, säger Tommie Lindquist.

**Projektnamn:** Asset management – data insamling och förståelse

**Projektledare:** Tommie Lindquist, Rise Research Institutes of Sweden



## Fler fall av interferens på grund av spänningsdippar kan vänta i framtidens elnät

Dagens kunskap om spänningsdippar bygger till stor del på forskning från 1990-talet och på teknik som inte längre är representativ. En ny rapport identifierar därför de största kunskapsluckorna kring spänningsdippar i dagens elnät och interferens hos apparater anslutna till elnätet – kunskap som blir viktig när elnäten moderniseras för energiomställningen.

– Det här är en av de första sammanställningarna som visar hur modern nätutbyggnad faktiskt påverkar egenskaperna hos spänningsdippar samt hur de påverkar apparater anslutna till elnätet, säger Math Bollen på Luleå tekniska universitet, rapportförfattare.

– Det är inte bara antalet fel som spelar roll, det är också hur de sprids genom nätet och hur apparaterna påverkas av dem. Vi vet lite om hur modern elektronik reagerar på spänningsdippar.

Rapporten visar att det finns begränsad kunskap om hur modern elektronik påverkas av spänningsdippar och andra korta störningar. Befintliga studier tyder på att utrust-

ning ofta är mer känslig för spänningshopp och obalans än man tidigare trott – och att olika apparater reagerar väldigt olika.

– Rapporten bidrar med en riktning för framtida forskning. Vi pekar ut var kunskapsluckorna är som störst, allt från immunitet hos modern elektronik till hur dippar sprids i verkliga nät. För att elförsörjningen ska klara den pågående omställningen måste vi fylla dessa luckor, säger Math Bollen.

Rapporten efterlyser fler studier med både enkla och detaljerade modeller, samt tätare samarbete mellan akademi och elnätsbolag för att få fram realistiska data. Spridning av ny kunskap lyfts fram som avgörande för att hålla elkvaliteten stabil. Ändringar i elnätet påverkar sannolikheten för interferens

### **Ändringar i elproduktion, förbrukning och elnätet påverkar sannolikheten för interferens genom ändringar i:**

- Emission av störningar: hur mycket störningar som genereras av apparater, anläggningar eller själva elnätet.
- Spridning av störningar: hur dessa störningar rör sig genom elnätet och påverkar andra delar av systemet.
- Immunitet: hur väl apparater och anläggningar klarar av att fungera trots störningar.

### **“De spänningsdippar som uppstår kan bli både fler och djupare”**

Rapporten visar att mängden problem med känslig elektronik inte nödvändigtvis ökar – men att spänningsdippar kan bli både fler och djupare under vissa driftlägen. Detta gäller särskilt vid driftlägen med låg kortslutningseffekt, till exempel när stora kraftstationer står still. Då sjunker spänningen mer än vanligt och elanvändarna, det vill säga hushåll, företag och fabriker, kan märka av fler och djupare dippar i elnätet.

Utbyggnad med fler kablar och nya luftledningar kan ibland förstärka nätet och därmed ger färre dippar, men det kan också leda till fler dippar. Konsekvensen för kunden beror på detaljer av nätet och det krävs en specifik studie för varje fall. Kondensatorbatterier och ökad kapacitans på grund av högspänningskablar kan förstärka störningar – ett område där kunskapen fortfarande är begränsad, både vad gäller spridning och vad gäller hur det påverkas apparater.

Dippar från transformatorinkoppling väntas inte öka totalt sett, men kan bli vanligare lokalt där nätet förstärks. Fler kablar i högspänningsnät ökar över här risken för förstärkning av störningar.

**Rapportnamn:** Trender i spänningsdippar och transienter

**Rapportnummer:** 2025:1161

**Rapportförfattare:** Math Bollen och Abdallah Uosef, Luleå tekniska universitet



## Kursen som ökar kunskapen om risk och tillförlitlighetsanalys

När samhället blir allt mer beroende av elnäten ökar också behovet av att förstå risker och säkerställa tillförlitlighet i elkraftsystemen. Små störningar kan få stora konsekvenser, från lokala strömavbrott till omfattande driftstopp som påverkar hela regioner. Därför har programmet *Risk- och tillförlitlighetsanalys* tillsammans med Kungliga tekniska högskolan, KTH, utvecklat en onlinekurs på ämnet för att stärka kompetensen i och utanför branschen.

Kursen riktar sig främst till ingenjörer med grundläggande statistikkunskaper och erfarenhet av elkraftsystem men innehållet är även anpassat för chefer, ekonomer och journalister som behöver förstå eller fördjupa sig i riskperspektivet.

Kursen inleddes i juni 2025 och planen är att den ska finnas tillgänglig en lång tid.

Kursen ger deltagarna en grundläggande förståelse för elkraftsystemet och de risker som kan påverka elförsörjningen. Kursen inleds med en snabb introduktion på cirka två timmar som ger en överblick över ämnet.

Kursdeltagarna får bland annat lära sig om:

- **Komponenter:** hur man bedömer livslängden på olika delar av systemet.
- **System:** hur man beräknar tillgängligheten i enklare system med två noder.
- **Elkraftsystemanalys:** beräkning av viktiga systemmått, såsom SAIDI och SAIFI.

- **Risikanalyt:** grundläggande metoder för att identifiera och hantera risker i elkraftsystem.
- **Hållbar utveckling:** hur tillförlitlighet kopplas till samhällsutveckling och hållbarhetsmål.
- **Ekonomi:** beräkningar av livscykelkostnader (Life Cycle Cost, LCC) för olika komponenter och system.

– Vi ser att fler och fler får upp ögonen för risk- och tillförlitlighetsanalys vilket är bra då det är ett så viktigt område, säger Patrik Hilber, kursledare och forskare vid KTH, och tillägger:

– Elsystem är mycket komplexa, med många komponenter och olika typer av nät, samtidigt som teknikutvecklingen går väldigt snabbt. Brist på formell utbildning inom området är också en utmaning, vi är få som går in på detta i undervisningen i detalj och många får lära sig genom erfarenhet. Men här hoppas vi att vi ger en god grund för förståelsen och det finns nog även intressanta delar även för de som är bekanta med området.

Patrik Hilber hoppas att kursen bidragit till, och fortsätter bidra till att stärka kompetensen, i och utanför branschen om risk- och tillförlitlighet.

**Projektamn:** Online risk- och tillförlitlighetskurs för elkraftsystem

**Projektledare:** Patrik Hilber, Kungliga tekniska högskolan



## Så arbetar svenska elnätsbolag med risk och sårbarhet – och så kan arbetet förbättras

En ny studie har kartlagt hur svenska elnätsbolag arbetar med risk- och sårbarhetsanalyser, RSA. Resultaten visar att det finns stora skillnader beroende på bolagens storlek. Studien, som omfattade intervjuer med tio bolag av varierande storlek och geografisk placering, ger en unik inblick i hur RSA-arbetet faktiskt bedrivs i praktiken.

Det saknas en samlad kunskap om hur svenska elnätsbolag arbetar med RSA. Det ville forskarna bakom rapporten *Kartläggning av risk- och sårbarhetsanalyser hos elnätsbolagen* ändra på.

– Vi ville förstå hur RSA fungerar i praktiken, inte bara hur den ser ut på papper. Det är först då vi kan hitta sätt att göra analyserna mer användbara för både stora och små elnätsbolag, säger Finn Jonung, Rejlers, en av rapportförfattarna.

### **Skillnad mellan små och större företag**

Resultaten visar att större elnätsbolag ofta har väl definierade och formaliserade processer för RSA. Processerna är dessutom mer integrerade i den övriga verksamheten,

vilket gör att riskanalyserna inte bara blir en rapport på papper utan ett verktyg som kan användas för planering och investeringar.

Mindre bolag har generellt kortare beslutsvägar, där den person som leder RSA-arbetet ofta också har mandat att fatta investeringsbeslut. Samtidigt finns en större sårbarhet kopplad till personberoende, och mindre bolag tar i högre grad hjälp av externa konsulter för att utveckla och genomföra sina RSA-processer.

## Behov av uppdaterade vägledningar

Studien pekar på behovet av nya vägledningar som bättre tar hänsyn till bolagens resurser, roller och kompetenser.

– Exempelvis skulle mindre bolag kunna få mer färdiga mallar för hur RSA ska genomföras, medan större bolag får flexibilitet att täcka fler riskaspekter, föreslår Finn Jonung, Rejlers.

En uppdaterad vägledning kan även hjälpa bolagen att göra RSA-resultaten mer användbara inom organisationen, till exempel för investeringar och intern kommunikation.

Arbets sättet varierar mellan stora och små bolag. Vissa inkluderar ett brett spektrum av risker medan andra har en mer begränsad omfattning.

Rapporteringen skiljer sig också: vissa bolag upprättar utförliga rapporter med omfattande risklistor, andra sammanställer informationen mer förenklat.

## Fortsatt forskning

Studien föreslår flera områden för fortsatt arbete:

- Utveckling av storleksspecifika vägledningar som både uppfyller myndighetskrav och är praktiskt användbara.
- Fördjupad kartläggning av fler elnätsbolag för att stärka kunskapsunderlaget.
- Utforskande av samverkan mellan bolag för att dela erfarenheter och standardisera RSA-arbetet.
- Analys av aktuella säkerhetsrisker och hur dessa kan inkluderas i RSA.

– Genom att uppdatera vägledningar och stärka RSA-processerna kan både små och stora elnätsbolag förbättra sitt arbete med riskhantering och bidra till en tryggare elförsörjning i Sverige, säger Finn Jonung.

**Rapportnamn:** Kartläggning av risk- och sårbarhetsanalyser hos elnätsbolagen

**Rapportnummer:** 2025:1164

**Rapportförfattare:** Finn Jonung, Rejlers, Rafael Rahman, Certifer, Erik Kimblad, Simon Brandt, Risk pilot



## Låga risker att tillåta högre spänning vid korta feltider

**Ändra regelverket och tillåt högre beröringsspänning vid korta feltider, det är rekommendationen i en rapport från Energiforsk. Riskerna skulle vara små samtidigt som det innebär minskade kostnader för elnätsföretag och harmonisering med internationella regler, bedömer rapportens huvudförfattare Daniel Karlsson från DNV.**

– Vi har tittat på vad det innebär att tillåta högre beröringsspänning än dagens maximala 220 volt vid de fall frånkopplingstiden är väldigt kort. Slutsatsen är att riskerna med att tillåta det skulle vara mycket små, säger Daniel Karlsson.

Dagens svenska regelverk säger att beröringsspänningen, alltså den spänning som kan uppstå i exempelvis höljet på en spis eller andra apparater när det uppstår jordfel i högspänningsnätet, aldrig får vara högre än 220 volt. Regelverket säger också att den maximala frånkopplingstiden eller feltiden, det vill säga den tid det tar innan spänningen bryts vid ett jordfel, aldrig får vara längre än 0,5 sekunder.

Här skiljer sig de svenska reglerna från internationell standard, enligt Daniel Karlsson.

– Standarden i Europa är att kravet på hur hög spänningen får vara beror på hur kort

frånkopplingstiden är. Ju kortare frånkopplingstid, desto högre spänning tillåts, säger Daniel Karlsson.

Projektet "Direktjordade starkströmsanläggningars påverkan på omgivningen vid kort frånkopplingstid och hög beröringsspänning" har analyserat riskerna med att tillåta en högre beröringsspänning när frånkopplingstiden är kortare än 0,5 sekunder. I projektet har man bara analyserat hur en ändring skulle påverka materiella skador, inte hur det skulle påverka människor eller djur.

Slutsatserna är att riskerna med en ändring av regelverket skulle vara väldigt små. Förenklat och generellt kan man säga att apparater riskerar att gå sönder, men risken för bränder är mycket liten. Daniel Karlsson nämner ett fiktivt exempel, där ett järnspett sitter i marken i närheten av ett elskåp vid en lada.

– Vid ett jordfel kan det uppstå en gnista mellan elskåpet och spettet. Är det då torrt gräs på marken kan det börja brinna och då skulle ladan kunna börja brinna. Har det hänt? Det finns väldigt lite material om den typen av händelser, säger Daniel Karlsson.

Projektet har även analyserat hur mycket energi det kan finnas i den typen av gnistor eller ljusbågar. Slutsatsen är att högre spänning i kombination med kortare frånkopplingstid innebär obetydligt större energiinnehåll jämfört med dagens krav.

– Det handlar om i storleksordningen 10 procent, och det kan även bli lägre vid väldigt korta felbortkopplingstider, säger Daniel Karlsson.

**Rapportnamn:** Direktjordade starkströmsanläggningars påverkan

**Rapportnummer:** 2024:1033

**Rapportförfattare:** Sonja Berlin, Daniel Karlsson, DNV, Lars Messing, då DNV nu Protrol Engineering, Pieter Pretorius, DNV, Jan-Olov Sjödin, Mikael Hemnell, Schneider Electric, Mats Kvargren, Alija Cosic, Svenska kraftnät



## Riskbaserad drift kan minska stora elavbrott – men kräver mer forskning

Dagens metod för driftsäkerhet i transmissionsnät, N-1-kriteriet, har tjänat Sverige väl men en svaghet är att den inte kvantifierar risker. Metoden innebär små risker, men kan leda till högre kostnader och elpriser. Genom att införa riskbaserade metoder går det att fatta bättre beslut, men för det behövs mer forskning enligt en ny rapport.

– Vi behöver gå från att bara följa regler till att förstå riskerna bakom dem. Riskbaserade metoder kan ge en helt ny insyn i transmissionsnätets driftsäkerhet – men vägen dit kräver både forskning och praktisk erfarenhet, säger Math Bollen, professor vid Luleå tekniska universitet och medförfattare till rapporten.

Syftet med studien har varit att utveckla metoder för att kvantifiera risken i drift av transmissionsnät. Bakgrunden är att dagens deterministiska metod, som inte tar hänsyn till sannolikheten för olika händelser, inte ger en tydlig bild av risknivån.

– Det kan leda till ineffektiva beslut, säger Math Bollen.

I studien har forskarna utvecklat matematiska modeller för att beräkna driftrisen som en kombination av sannolikheten för oväntade händelser och deras konsekvenser. Beräkningar på fiktiva elnät visar att riskerna varierar kraftigt beroende på driftläge och att flera olika allvarlighetsfaktorer behövs för en rättvisande bild.

Att använda sig av N-1-kriteriet kan leda till onödiga åtgärder som påverkar kostnader och elpriser, enligt rapporten. Med riskbaserade metoder går det att få en mer nyanserad bild av driftrisen och därmed fatta bättre beslut. Till exempel kan visualisering av risker i färgskalor och diagram ge operatörer snabb insyn i var flaskhalsarna finns.

Forskarna ser ett behov av:

- Att det utvecklas modeller som tar hänsyn till samhörande fel, kaskadbortfall och skyddsfel, eftersom dessa ofta orsakar stora störningar.
- Metoder för att inkludera prognosfel för vind- och solkraft samt förbrukning.
- Standardisering av allvarlighetsfaktorer, som mäter konsekvenser för transmissionsnätet, kunder och ekonomi.
- Praktiska tester i kontrollrum för att minska gapet mellan forskning och tillämpning.

Rapporten pekar på att det fortfarande finns stora kunskapsluckor och ser behov av fortsatt forskning, bland annat kring:

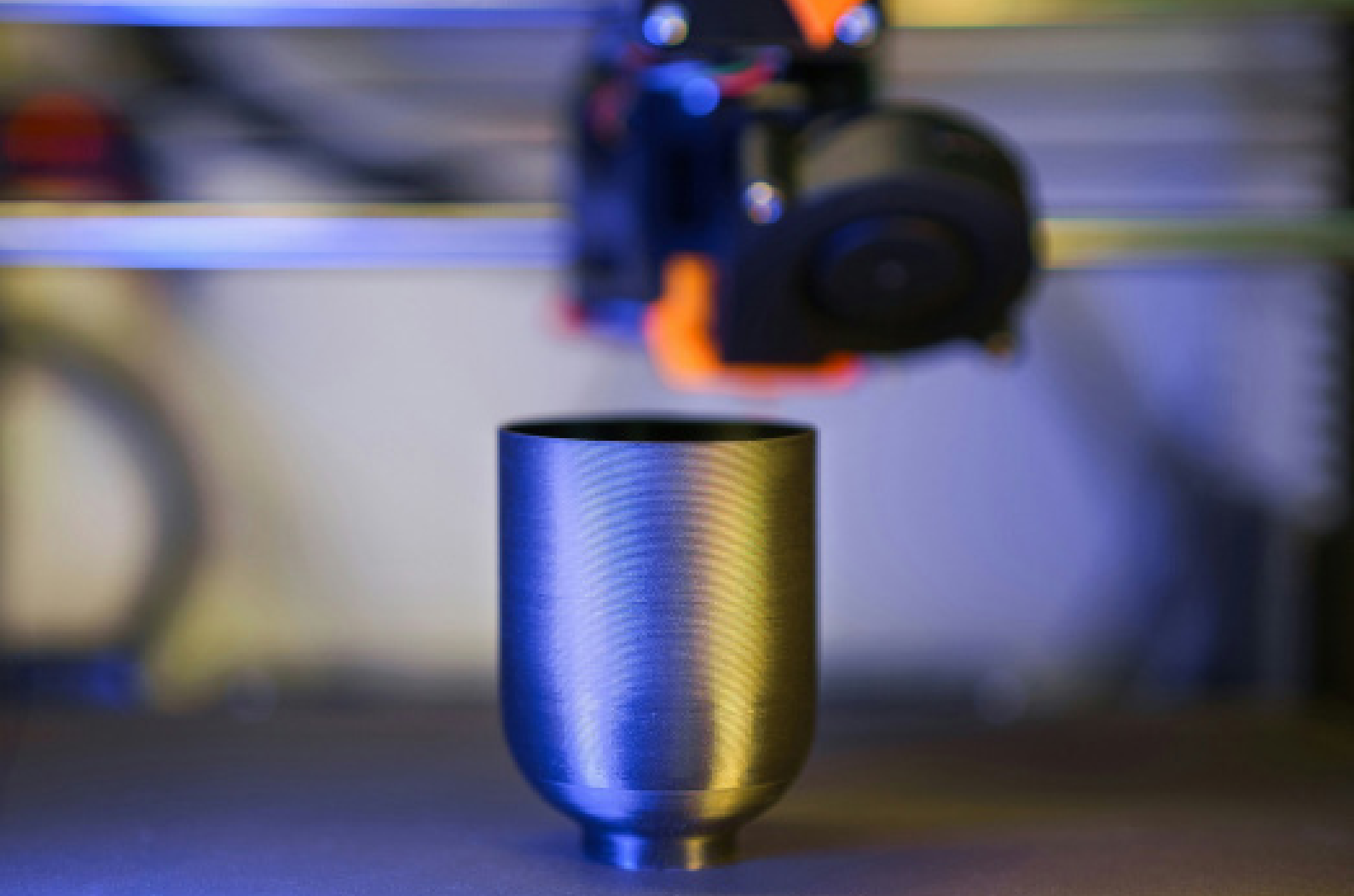
- Hur prognosfel och åldring påverkar driftrisen.
- Hur stabilitetsproblem kan inkluderas i beräkningar utan att beräkningstiden blir orimlig.
- Insamling av realistiska data om fel- och reparationsintensitet, särskilt under extrema väderförhållanden.
- Utveckling av metoder för att tolka och presentera resultat från riskberäkningar så att de blir användbara i driftbeslut.

– Med ökande andel väderberoende elproduktion och komplexa elnät ökar behovet av riskbaserad drift, säger Math Bollen.

**Rapportnamn:** Stokastisk driftsäkerhet av transmissionsnät

**Rapportförfattare:** Math Bollen, Zunaira Nazir, Luleå Tekniska Högskola

**Rapportnummer:** 2026:1165



## Transformatorer klarar högre belastning – beräkningar öppnar för ökad effektivitet

**Transformatorer i svenska elnät kan användas mer effektivt – utan att riskera överhettning eller förkortad livslängd. Genom att använda avancerade termiska modeller och sannolikhetsberäkningar kan elnätsföretag planera och skydda transformatorer på ett nytt sätt, enligt en rapport.**

– En viktig slutsats är att transformatorer ofta klarar högre belastning än vad som tidigare varit tillåtet, särskilt om man tar hänsyn till väder och kylning. Det kan ge större flexibilitet i elnätet, till exempel vid anslutning av solceller eller elbilsaddning, säger Math Bollen, Luleå tekniska universitet, en av författarna till rapporten.

Studien visar att det går att beräkna risken för överbelastning av transformatorer med hjälp av mätdata och simuleringar. Genom att analysera temperaturer i transformatorns olja och så kallade *hotspot-områden* – där temperaturen är som högst – kan elnätsföretag avgöra när det är dags att vidta åtgärder.

Genom att använda sannolikhetsbaserade metoder får elnätsföretag ett bättre beslutsunderlag än tidigare för både skydd och planering. Korttidsprognoser kan använ-

das för att kvantifiera risker en dag i förväg, vilket öppnar för mer effektiv användning av flexibilitet i elnätet.

Långtidsplanering kan förbättras genom att använda temperatur och åldring som gränsvärden, i stället för strömstyrka.

– Genom att använda sannolikhetsbaserade metoder kan vi öka nyttjandet av transformatorer, minska risken för överhettning, eller liten av båda. Möjligheterna till att göra en avvägning mellan olika risker är ett viktigt steg mot ett mer flexibelt och hållbart elnät, säger Math Bollen.

Studien bygger på en kombination av mätningar och simuleringar över en 22-månadersperiod. Forskarna har använt en termisk modell enligt internationell standard och testat olika scenarier med varierande belastning och omgivningstemperatur. De har också tagit hänsyn till osäkerheter i både mätdata och modellparametrar.

### **Behov av fortsatt forskning**

- Fler praktiska tillämpningar av metoderna i verkliga elnät med verkliga tidsserier.
- Fördjupade studier om hur övertoner påverkar transformatorns temperatur.
- Utveckling av digitala tvillingar för transformatorer – modeller som kan användas för planering och skydd i realtid.
- Högre tidsupplösning i mätdata, särskilt för ström genom transformatorn.

**Rapportnamn:** Stokastisk dynamisk belastningsförmåga för transformatorer

**Rapportnummer:** 2024:2009

**Rapportförfattare:** Zunaira Nazir och Math Bollen, Luleå tekniska universitet



## Övertoner kan begränsa hur många elbilsaddare som kan anslutas till elnätet

Fler elbilsaddare och solcellsanläggningar kan ge ökade problem med övertoner i Sveriges elnät, det vill säga ytterligare frekvenskomponenter utöver 50 hertz. Störningarna skulle kunna begränsa hur mycket ny teknik som kan anslutas, innan nätet blir överbelastat, enligt rapporten *Övertoner i lågspänningsnät*.

– Vi ser att övertoner kan bli en begränsande faktor för framtidens elnät, särskilt när det gäller elbilsaddning. Det är därför viktigt att vi förstår hur dessa störningar sprids och påverkar både nätet och det som är ansluten till nätet, säger Math Bollen, Luleå tekniska universitet, en av författarna till rapporten.

Övertoner, det vill säga komponenter i spänningen med en annan frekvens än grundtonen på 50 hertz, kan öka i betydelse i takt med att fler elbilar och solceller kopplas in i elnätet, enligt rapporten. Dessa störningar kan begränsa hur mycket ny teknik som kan anslutas, innan nätet blir överbelastat.

Övertoner i lågspänningsnätet påverkas inte bara av lokala apparater, utan i hög grad av hur övertonerna sprids via mellanspänningsnätet. Vissa övertoner, särskilt den 5:e

och 7:e, dominerar i svenska elnät och kan förstärkas av växelverknig mellan nätet och nya typer av utrustning som elbilsaddare och solcellsanläggningar.

Gatubelysning och kontorsutrustning påverkar övertonsnivåerna mer än tidigare känt. Redan innan en transformator blir överbelastad kan övertoner sätta gränsen för hur många elbilar som kan laddas samtidigt. Det finns fortfarande stora kunskapsluckor kring hur övertonerna sprids genom nätet samt om hur moderna apparater påverkas av övertoner, särskilt vid högre frekvenser.

Rapporten visar att det finns relativt låga nivåer av övertonsspänningar i de svenska lågspänningsnäten. Marginalen vid de flesta mätpunkterna är minst lika med hälften av gränsvärden. Undantag gäller för den 9:e, 15:e och 21:a övertonen, där nivåerna ibland redan överskrider gränsvärden.

Till början av 2020-talet har det varit en minskning av den 3:e och 5:e övertonen i spänning och en ökning av den 7:e, 9:e, 11:e och 13:e övertonen, jämfört med hur det såg ut i början av 1990-talet, där det gjordes en mätkampanj av dåvarande Elforsk.

Studien innehåller mätningar i svenska elnät, simuleringar av hur övertoner sprids, samt analyser av hur olika typer av utrustning – som LED-lampor, elbilsaddare och solceller – påverkar elnätet. Forskarna har bland annat använt begreppet transferimpedans för att förstå hur störningar sprider sig genom nätet.

#### **Behov av fortsatt forskning**

- Fler kontinuerliga mätningar i låg- och mellanspänningsnät för att följa trender och identifiera risker.
- Forskning om hur elbilsaddning och solceller påverkar övertoner, mellantoner och supratoner, det vill säga störningar vid högre frekvenser.
- Utveckling av bättre modeller för hur hushållsapparater påverkar elnätet vid olika frekvenser.
- Studier om hur övertoner påverkar moderna apparater och elnätskomponenter.
- Fortsatt forskning om supratoner, som är svåra att förutse men kan påverka många kunder samtidigt.

**Rapportnamn:** Övertoner i lågspänningsnät

**Rapportnummer:** 2023:973

**Rapportförfattare:** Naser Nakhodchi, Math Bollen och Sarah Rönnerberg, Luleå tekniska universitet



## Osäkerheten kring litiumjonbatterier bromsar säker energilagring

Storskaliga batterilager med litiumjonbatterier blir allt vanligare i Sverige, men ny forskning och lärdomar från inträffade händelser visar att riskerna vid brand och explosion fortfarande är en betydande utmaning. Kombinationen av flera säkerhetssystem och genomtänkt dimensionering kan dock minska riskerna, samtidigt som bristen på nationella riktlinjer bromsar utvecklingen.

Batterier som lagrar energi, Battery Energy Storage System, BESS, används idag för allt från industri och telekommunikation till att jämna ut variationer i elnätet.

En känd fara med litiumjonbatterier är brandrisken. Om batterierna överhettas eller börjar brinna kan de producera explosiv gas och giftiga rökgaser, och konsekvensbedömningar av dessa händelser är idag osäkra.

– Den här rapporten visar både risker och förslag på lösningar när det gäller storskaliga batterilager med litiumjonbatterier. Alla som planerar, bygger eller ansvarar för drift av sådana system, från industrin och energibolag till myndigheter och räddningstjänst, har nytta av att läsa rapporten för att fatta säkra och välgrundade beslut,

säger Alexander Elias, Brandskyddslaget, en av rapportförfattarna.

## **Ingen enskild åtgärd räcker för att helt eliminera risker**

Studien visar att explosionsrisker kan begränsas med tryckavlastning och deflagrationsskydd, där tryckavlastning handlar om att leda bort övertryck vid en explosion. Tidigare incidenter har visat att kastzoner kan nå upp till 25 meter om dessa skydd inte är korrekt dimensionerade. Deflagrationsskydd är åtgärder som används för att förebygga eller begränsa skador från deflagration, alltså en snabb förbränning eller explosion av gaser som sprider sig genom luften.

Rökgaser från brinnande batterier är ofta farliga, men spridning med giftiga halter är i praktiken begränsad till omkring 10–20 meter, visar rapporten. Teoretiska modeller kan ge mycket större avstånd, ibland hundratals meter, vilket visar på vikten av att kombinera modellering med erfarenheter från verkliga händelser.

– Ingen enskild åtgärd räcker för att helt eliminera riskerna. Vi behöver kombinera skyddsåtgärder i olika omfattning beroende på situation. Tryckavlastning, ventilation, avstånd till byggnader och bra detektionssystem är rimliga åtgärder som kan vidtas för att få ett ordentligt skydd, säger Alexander Elias.

## **Nationell vägledning saknas**

När nya batterienergilagrar planeras är data ofta osäkra, exempelvis om hur mycket gas som bildas vid brand. Då är generiska schablonvärden användbara för att göra tidiga bedömningar. Dessa kan senare kompletteras med känslighetsanalyser och mer detaljerade studier.

– Branschen efterfrågar tydligare riktlinjer för hur batterienergilagrar ska planeras och skyddas. Utan standarder riskerar planeringen att bli dyr och otydlig, samtidigt som säkerheten för omgivningen inte garanteras, säger Alexander Elias.

Studien har fokuserat på fristående utomhussystem, och mer forskning behövs för mindre och inomhusplacerade installationer. Fortsatt arbete bör även innehålla tester i verklig skala och studier som visar hur olika skyddssystem fungerar tillsammans, så att man bättre kan förstå och minska riskerna för både allmänhet och räddningspersonal.

**Rapportnamn:** Batterienergilagring i litiumjonbatterier - Konsekvensbedömning av explosion och spridning av toxiska förbränningsprodukter

**Rapportnummer:** 2025:1163

**Rapportförfattare:** Alexander Elias, Emil Persson, Pierre Wahlqvist, Lars Magnusson, Johan Lundin, Brandskyddslaget



## Liten risk att batterier skapar spänningsvariationer

Oron för att batterier i elnäten kan skapa problem med spänningsvariationer är överdriven, det är en slutsats från rapporten *Batterilager och flexibilitet*. Den nya kunskapen innebär ökade möjlighet att fler batterier kan anslutas snabbare och därmed ge ökad flexibilitet.

– Nu kommer vi kunna hantera ansökningar att ansluta batterier i vårt nät snabbare. Jag tror att den här rapporten kan underlätta för många lokalnätbolag, säger Jenny Paulinder, planeringsingenjör på Göteborg Energi och ordförande i Energiforsks program Risk- och tillförlitlighetsanalys.

Forskningsprogrammet Risk- och tillförlitlighetsanalys har precis släppt rapporten *Batterilager och flexibilitet*, som handlar om vilka krav som är relevanta när batterier ska anslutas och fungera i elnät. En av de viktigaste slutsatserna handlar om risken för att batterier ger upphov till spänningsvariationer.

– Rädslan för att batterier skulle orsaka stora spänningsförändringar är överdriven, säger Niclas Krantz, specialist på kraftsystemutveckling på teknikonsultföretaget Solvina och en av rapportförfattarna.

Han får medhåll av Finn Jonung, affärsutvecklare inom energilagring på teknikkon-sultföretaget Rejlers, en annan av rapportförfattarna.

– Våra analyser visar att de tumregler som hittills använts för att ansluta batterier be-höver omprövas. Det kommer leda till att det går att ansluta betydligt mer batterika-pacitet utan att bygga mer nät. Eftersom batterier ofta är billigare än att bygga mer nät och har flera andra positiva förmågor kommer det hjälpa hela energisystemet, säger Finn Jonung.

I rapporten har de bland annat tittat på de riktlinjer som finns i Energiföretagens "Anslutning av produktionsanläggningar till mellanspänningsnätet", AMP, från 2020. De riktlinjerna beskriver krav och villkor för att ansluta produktionsanläggningar, vilket annat batterier räknas som.

– I den finns en tumregel om hur hög effekt man kan ansluta när det gäller solcellsan-läggningar, och den är direkt felaktig. Den tumregeln har orsakat att man har stoppat utbyggnader av solcellsanläggningar, men vi hävdar i vår rapport att den är fel. Och man kan räkna på samma sätt för batterier som för solceller, säger Niclas Krantz.

Rapporten tar också upp att nätägare behöver tänka på var i näten batterier placeras och hur man kan behöva anpassa driften av dem för att undvika driftproblem i kraft-verk.

– Matar man ut full effekt från ett batteri ger det upphov till en ändring av spän-ningsvinkeln. Om den vinkeln plötsligt skiftar, vilket sker om batteriets effekt hastigt ökar, skapar det en obalans i näraliggande synkrongeneratorer och ger upphov till en elektromekanisk pendling, säger Niclas Krantz.

Påverkan blir som störst om batteriet är anslutet i samma punkt som berörd genera-tor.

– Har du exempelvis kraftvärme i samma punkt som ett batteri kan det leda till effektpendlingar när batteriet aktiveras. Det behöver man fundera på, säger Finn Jonung.

Både han och Niclas Krantz anser att elnäten i dag ofta är kraftigt överdimensionera-de, för att kunna klara maxlast hela tiden och alltid klara bortfall av en kabel. Genom att ansluta fler batterier kan man sprida ut lasten över dygnet och då ansluta fler laster.

– Batterilager som bara matar ut effekt kortare stunder kan tillåtas överlasta nätet kortare tider, eftersom den begränsning som finns för laster oftast är termisk. Kör man batterier under någon minut hinner de inte skapa några problem, säger Niclas

Krantz.

Jenny Paulinder berättar att det Göteborg Energi framför allt har varit oroade för var att i- och urladdningar av batterier skulle kunna innebära spänningsvariationer för kunder i närheten av batteriet.

– Men de simuleringar som har gjorts inom ramen för rapporten tyder på att risken är väldigt liten för det. Så vi känner oss lugnare och kommer kunna avhandla förfrågningar om att ansluta batterier lite snabbare, säger Jenny Paulinder.

På hennes önskelista för framtiden finns att nätbolag ska få möjlighet att själva äga och driva batterier i nätet. I dag räknas batterier som produktion, vilket nätbolag inte får äga.

– De batterier som ansluts i dag används ofta för att bidra till Svenska kraftnäts frekvensmarknad. Om vi skulle få ha egna batterier kan vi bestämma var i nätet de ska vara, och hur och när de ska användas. Då kan vi kapa effekttoppar och slippa bygga ut nätet i onödan, säger Jenny Paulinder.

**Rapportnamn:** Batterilager och flexibilitet.

**Rapportnummer:** 2025:1072

**Rapportförfattare:** Jenny Paulinder, Göteborg Energi, Niclas Krantz, Solvina, och Finn Jonung, Rejlers.



## Batterierlager kan förbättra elkvaliteten – men inte på egen hand

Batterilager kan förbättra elkvaliteten i svenska elnät, men resultaten från en ny studie visar att de inte kan ses som en ensam lösning. Projektet, som genomförts med både teoretiska analyser och praktiska mätningar, har syftat till att tydliggöra batteriers roll i nätets elkvalitet och ge underlag för nätägare och investerare att bedöma deras nytta.

Projektet kombinerade teori och praktik. Forskarna gick igenom olika växelriktarprinciper och intervjuade tre svenska elnätsbolag: Jönköping Energi, Habo Energi och Varberg Energi. De genomförde även mätningar ute i fält. Syftet var att se hur batterilager påverkar nätets övertoner och spänningsstabilitet.

Resultaten visar att batterielagerkan minska övertoner och stabilisera spänningen i nätet, men effekten varierar. Batterilager har en mycket måttlig påverkan på elkvaliteten då de har effektiv växelriktning genom smart modulering och filtrering, och det har visat sig att dessa även kan förbättra elkvaliteten i nätet där de är anslutna. När ett batterilager var i gång i Jönköping kunde forskarna se en tydlig minskning av den totala harmoniska distorsionen.

I Habo märktes ingen större skillnad – troligen eftersom nätet redan hade låga nivåer av störningar. I Varberg kunde ingen negativ påverkan observeras, vilket visar att batterier åtminstone inte försämrar elkvaliteten.

### **Vad påverkar batterietlagrets effekt i nätet?**

– Det finns flera faktorer som avgör hur mycket ett batterilager kan bidra, till exempel hur mycket övertoner som finns från början, batterilagrets placering i nätet i förhållande till storkällorna, och eventuella interna filter i batterilagret, säger Finn Jonung, Rejlers, en av rapportförfattarna.

Placering är viktigt. Batterilager gör mest nytta nära anläggningar som orsakar störningar och vid punkter med hög kortslutningseffekt.

– Men även om batterilager kan förbättra elkvaliteten, tycker nätbolagen att det inte räcker ekonomiskt. Lönsamheten kommer främst från andra funktioner, som att hjälpa till med frekvensreglering – en marknad som nätbolagen själva inte får delta på, säger Finn Jonung.

### **Rekommendationer till nätägare och beslutsfattare**

- 1. Planera batterilager för fler användningsområden:** för att motivera investeringar, planera batterilager för flera syften, som stödtjänster, reservkraft och elkvalitet. Säkerställ att regelverk tillåter detta.
- 2. Standardisera mätning och rapportering:** Inför en gemensam metod för att kvantifiera elkvalitet före och efter installation.
- 3. Tydligt ansvar:** Klargör vem som styr batterilager vid elkvalitetsproblem – nätägare, aggregatorer eller systemoperatör.
- 4. Regelbundna kontroller:** Mät elkvalitet var 6–12:e månad, särskilt i svaga nätdelar med kända problem, för att få spårbar statistik.

### **Fortsatt forskning**

Forskarna rekommenderar fler studier om var elkvalitetsproblem finns, hur batterilager samverkar med andra tekniker som synkronkondensatorer och Statkom, och hur styrningen kan optimeras för bättre nätstabilitet.

**Rapportnamn:** Elkvalitet och batterilager

**Rapportnummer:** 2025:1162

**Rapportförfattare:** Filippa Ström, Finn Jonung, Rejlers, Simon Johansson, Niclas Krantz, Solvina

# Risk- och tillförlitlighetsanalys 2021–2025

Det här är en syntesrapport med populärvetenskapliga sammanfattningar av 22 rapporter från Energiforsks program Risk- och tillförlitlighetsanalys under perioden 2021–2025. Syntesrapporten ger en överblick över programmets viktigaste resultat och kan fungera som en ingång att fördjupa sig i rapporterna.

Bland annat lyfter rapporten resultat kring batterilager, som har bidragit med kunskap om hur det på ett säkert sätt är möjligt att avlasta elnätet. Det finns även resultat om hur distribuerad generering påverkar elnätet och en sammanställning av tillförlitlighetsdata för högspänningskomponenter, vilket bidrar till att identifiera delar av el nätet med förhöjd risk samt planera underhåll och investeringar på ett mer effektivt och säkert sätt.

Syftet med programmet Risk- och tillförlitlighetsanalys att bidra till ett robustare elnät genom att öka kunskapen om både befintliga och potentiella framtida risker, och hur dessa kan hanteras på bästa sätt.



---

Forskningsföretaget Energiforsk initierar, samordnar och bedriver forskning och analys inom energiområdet samt sprider kunskap för att bidra till ett robust och hållbart energisystem. Energiforsk är ett politiskt neutralt och icke vinstutdelande aktieföretag som ägs av branschorganisationerna Energiföretagen Sverige och Energigas Sverige, det statliga affärsverket Svenska kraftnät, samt gas- och energiföretaget Nordion Energi. Läs mer på [www.energiforsk.se](http://www.energiforsk.se).