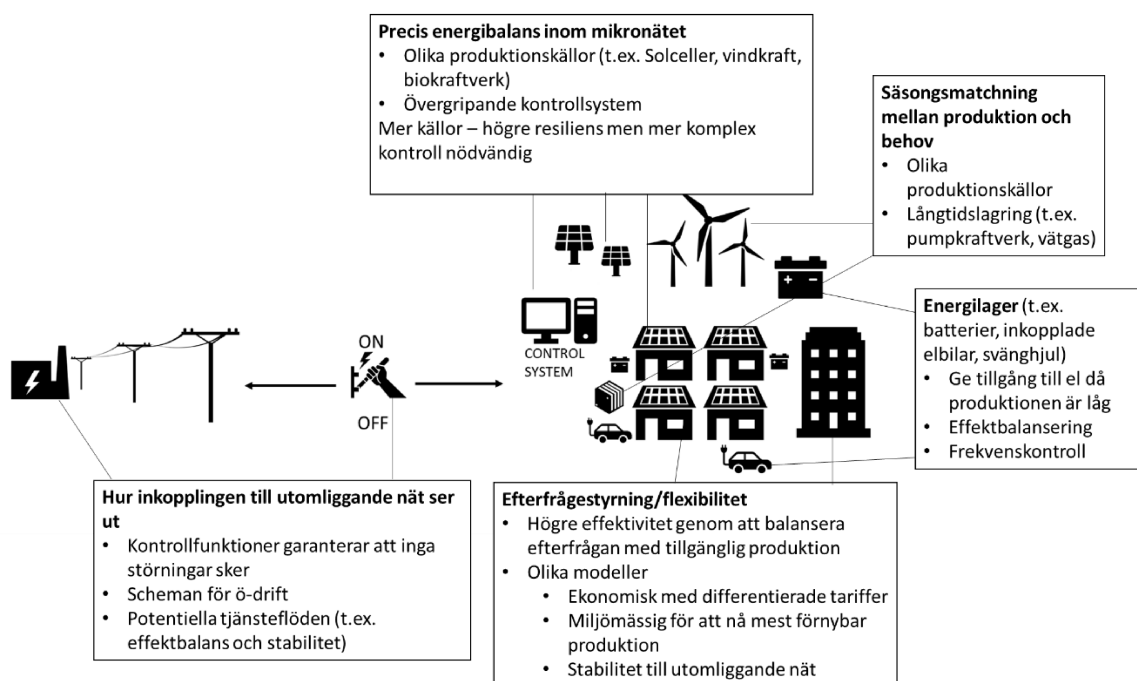


## Solbaserade mikronät i en svensk kontext

Nedan följer en beskrivning hur ett antal mikronät skulle kunna byggas med syfte att möjliggöra för en större utbyggnad av distribuerad sol i det svenska energisystemet. Alla nedan förslag är avhängt att juridiken tillåter dessa system, något som för närvarande är under utredning. Men syftet med denna konceptualisering är inte att visa att så här går det till att bygga mikronät i Sverige, utan snarare visa på potentialen med mikronät i ett framtida system.

Tekniskt finns flera exempel på design som klarar av att gå självständigt vid behov. Det är dock komplext att kunna ta fram en modell som fungerar för alla tänkbara behov i olika sammanhang då mikronät måste anpassas till där det faktiskt implementeras. Detsamma gäller ingående komponenter i mikronätet då dessa kommer från flera olika leverantörer samt ofta inte är anpassade för att fungera i ö-drift i ett mikronät. Exempel på det är växelriktare som kräver nätinkoppling och stängs av då denna försörjning störs. Det kanske inte ens är önskvärt att olika komponenter i för hög utsträckning är plug n play, dvs har standardiserade kommunikationsprotokoll som vid inkoppling till en värd självinstalleras och börjar fungera direkt. Snarare kan en anpassning behöva göras till hur mikronätet är tänkt att fungera med det yttre nätet som är svårt att fånga i enskilda standarder. Figur 1 ger en konceptuell beskrivning av ett inkopplat mikronät med tillhörande funktioner som krävs för att mikronätet skall fungera.



Figur 1 Mikronät med givna funktioner

Denna konceptualisering kommer således inte att beskriva detaljerade tekniska specifikationer, utan hänvisar till fallrapporter och andra tekniska artiklar som beskriver dessa mer ingående.

Istället kommer följande aspekter täckas in av denna konceptualisering:

- Olika typer av mikronät
- Organisation och inkludering av lokalsamhällen i mikronäten
- Möjliga investeringsfördelningar
- Viktiga avtal som krävs för att kunna driva det inkopplade mikronätet

- Möjliga affärstransaktioner baserat på värdeflöden ifrån mikronätet
- Aggregerade mikronät

### Olika typer av mikronät

Beroende på var mikronätet är tänkt att implementeras, så brukar de delas in i olika typer. Följande typer brukar användas:

- Resursmikronät (utility microgrid)
- Militära mikronät
- Institutionellt mikronät
- Lokalsamhällesmikronät
- Kommersiella och industri mikronät
- Off grid mikronät

### Resursmikronät

Ett resursmikronät är konstruerat primärt för att verka som en resurs till det övriga nätet. Det är oftast ägt av nätbolaget. Ibland kan det vara implementerat i närheten av en sol- eller vindpark, men det finns också exempel där det är implementerat vid lokalsamhällen där de samtidigt försörjer denna plats.

### Militära mikronät

Som namnet antyder så handlar det om militära faciliteter. Dessa områden är oftast prioriterade utifrån ett säkerhetsperspektiv och behöver således tillgång till oavbruten el och back-up lösningar för vilka mikronät lämpar sig bra. Ägaren är staten och oftast är uppbyggnaden och användandet av sådana mikronät undantagna den generella lagstiftningen.

### Institutionellt mikronät

Institutionella mikronät återfinns på universitetscampus, sjukhus, eller liknande områden. De syftar till att försörja kritiska laster men också ofta till att bedriva forskning och utveckling kring. I Sverige faller ofta institutionella mikronät under lagen om icke koncessionspliktiga nät (IKN).

### Lokalsamhällesmikronät

Dessa mikronät implementeras i lokalsamhället där folk bor och verkar. Det kan dels vara en mindre by eller ett kvarter eller stadsdel i den större staden. Det finns i princip alltid boenden i dessa mikronät, men även en hel del andra verksamheter så som caféer, affärer eller barnomsorg och skolor. Juridiskt är dessa komplicerade, men i de exempel som finns (ffa utomlands) så är ofta lokalsamhället själv med och äger mikronätet, antingen helt själva eller tillsammans med andra partners.

### Kommersiella och industri mikronät

Det kommersiella mikronätet har en privat ägare, och syftet är oftast att ge ökad resiliens till verksamheten, dvs minska risken för kostsamma elavbrott. Dessutom kan egen produktion utnyttjas effektivare och ge mindre svängningar i elpriset. Kommersiella och industri mikronät använder ofta energi som service modellen, dvs de ingår i ett avtal med en tredje part som installerar mikronätet och tar sedan betalt efter fast tariff enligt avtalet.

### Off-grid mikronät

Dessa mikronät implementeras för sig själva, utan inkoppling till nätet. De är vanliga på avlägsna platser där det är ekonomiskt ofördelaktigt att koppla in på det större nätet.

## Organisering av mikronät

Ett mikronät kräver någon form av organisation kopplad till sig. Det finns flera olika exempel på hur dessa organisationer ser ut. Dessutom är installationen av ett mikronät en ganska krävande process där en tydlig projektgrupp måste kunna ansvara för att processen drivs framåt, och tar sig igenom de aktiviteter som behövs. Om de är implementerade i lokalsamhällen så visar tidigare forskning tydligt att ju mer involverade lokalsamhället är, desto mer ökar sannolikheten för ett lyckat projekt samt att de upplevda vinsterna med mikronätet förstärks. Några olika ägandemodeller kan vara:

- Helägt av nätbolaget
- Ägt av det kommersiella fastighetsbolaget
- Kooperativ
- El-som-service modell

En viktig lärdom från tidigare installationer är att det behövs en aktör som tar huvudansvaret för processen att integrera de olika komponenterna i mikronätet. Här behövs teknisk kunskaper men också förmåga att kunna facilitera samverkan mellan de olika leverantörerna och konsulterna som är inblandade i lösningen. Ofta krävs ett mått av nyutveckling och anpassning av produkterna, vilket betyder att aktörer som medverkar bör vara inställda på detta, och se det som en vidare lärdom för deras egna del.

Det finns fördelar med att lokalsamhället själva är med och äger mikronätet, antingen helt eller delvis. Tidigare visade fördelar inkluderar:

- Ökat engagemang i processen och det färdiga mikronätet
- Tillgång till privat kapital från lokalsamhället
- Ofta finns existerande produktionsanläggningar tillgängliga, privata solceller, som ändå behöver integreras i mikronätet
- Längre investeringsperspektiv jmf med kommersiella bolag

Förutom ägaren som delvis eller helt kan vara lokalsamhället, så behövs ett tydligt och formellt samarbete med det lokala nätbolaget som ansvarar för driften av områdets elnät. Då mikronätet både kan och bör verka förstärkande för det yttre nätet, är det viktigt att driftansvarig är väl involverad i mikronätet, för att också kunna tillgodogöra sig tjänsterna som erbjuds. Detta kan ske genom att nätbolaget är delägare i mikronätet, eller att det via överenskomna avtal köper tjänster från mikronätet.

## Möjliga investeringsfördelningar

För lokalsamhället är det ganska naturligt att investera i egen produktion med solceller, och kanske också mindre batterier för dygnslagring under sommarhalvåret. Dessutom börjar fler och fler skaffa elbil som potentiellt sett skulle kunna ingå i ett lokalt energisystem. För att konstruera ett helt mikronät krävs dock ytterligare komponenter. Intressant i sammanhanget är de olika typer av andelsägande som finns relaterade till förnybar energi som vindkraft och solkraft. De övriga komponenterna i mikronätet skulle kunna ägas i ett andelsägande, och där skulle det kunna finnas plats även för nätbolaget och gå in som andelsägare. Med tanke på att mikronätet förstärker det yttre nätet samt skapar möjligheter för att installera ökad andel solceller, så är det rimligt att mikronätet antingen kompenseras på ett adekvat sätt eller att delar av investeringen tas om hand av nätansvarig aktör. Designas dessutom mikronätet specifikt för att kunna verka i händelse av kris, exempelvis genom att tillhandahålla akutcenter eller försörja vattensystemet, skulle en viss kompensering för detta också kunna bli aktuell. Eftersom ett mikronät är en relativt dyr investering, så är det viktigt att

designen skapar mesta möjliga värde och att fördelningen på investeringen inte blir ojämn, då detta kan hämma tillväxten av dessa system.

### Avtal för att implementera och driva mikronätet

Mikronätet skall fungera inom ett annat system och det bygger på att det finns överenskommelser på vilket sätt de två systemen skall fungera med varandra. Dessutom inkluderar mikronätet flera parter vilket gör att det krävs någon form av avtal mellan parterna som äger och drifvar mikronätet.

Om mikronätet inte byggs nytt helt från början eftersom existerande infrastruktur finns, så behövs ett köpeavtal för att köpa befintlig infrastruktur från nätbolaget. Vad som är en passande del av distributionsnätet får avgöras i respektive fall, det finns exempel både på mindre 400V mikronät och större mikronät med högre spänningsnivåer vid anslutning till det yttre nätet. Detta avtal behöver godkännas av en tillsynsmyndighet (Energimarknadsinspektionen), varpå det också skulle svara på de krav som behövs för att säkra ett nätansvar om än i väldigt liten skala. Om det är nätbolaget som skall vara ägare behövs ett liknande godkännande från tillsynsmyndigheten att få driva ett mikronät i sagd omfattning.

Sedan behövs ett inkopplingsavtal. Här regleras precis hur mikronätet är tänkt att fungera med det yttre nätet, vilka standarder som skall gälla och vad som händer vid olika scenarier på elnätet och detaljer kring hur mikronätet förstärker det yttre nätet.

Vidare kan olika kontrakt utformas över försäljning av olika mikronätsspecifika tjänster gentemot nätbolaget eller eventuellt annan part.

Därefter behövs ett avtal som reglerar medverkan i mikronätet från lokalsamhället, och hur personer som inte vill medverka kan göra. Rimligt är att nätet i sig får vara distributionsnät för den enskilde personen men att hen kan köpa el från annan leverantör om så önskas.

### Affärstransaktioner som möjliggörs med mikronätet

Det finns flera potentiella värdeflöden från mikronätet beroende på hur det designas och används. Det går inte att prata om värdeflöden från mikronät utan att nämna de indirekta såsom värdet av fortsatt el vid strömavbrott, även om detta kan vara klurigt att uppskatta. Nedan presenteras några direkta samt indirekta värdeflöden av mikronät:

#### Direkta

- Försäljning av förnybar el till yttre nät, alternativt egna laddstolpar mm
- Aggregator på elmarknaden
- Försäljning av flexibilitet exempelvis
  - Försäljning av effekt vid specifika tillfällen
  - Balansresurs för optimering av distribuerad variabel produktion
  - Avlastning av yttre nät via minskade flöden eller ö-drift

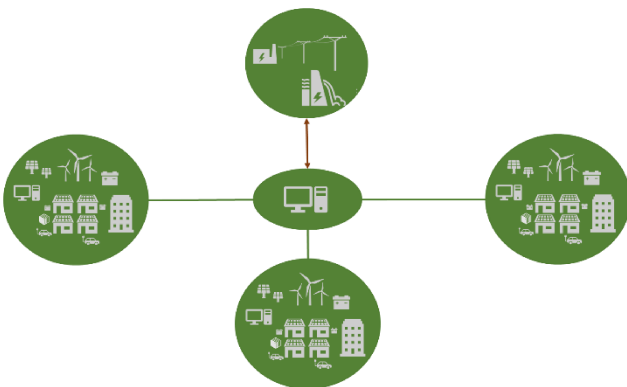
#### Indirekta

- Fortsatt drift vid strömavbrott
- Elförsörjning vid kris (möjligt att planera beredskapsresurser)
- Minska behov till traditionella kapacitetsförstärkningar i yttre nät
- Möjliggöra ökning av förnybara variabla produktionskällor
- Minska de övergripande nät-effekterna av en ökad elektrifiering av samhällssektorer

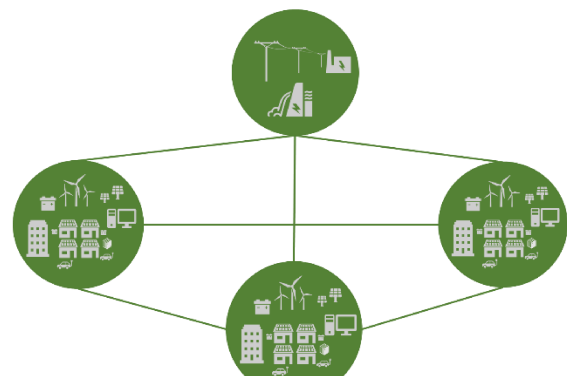
## Flera mikronät tillsammans

När fler mikronät växer fram så finns det mycket att vinna på att aggregera närliggande mikronät. Dels kan de stärka upp varandra vid behov, men också minska något på respektive investering om de designas med varandra i åtanke. Vidare är det möjligt att bedriva intern handel med tjänster från mikronäten, något som växer fram globalt exempelvis genom peer-to-peer marknader. I en framtid med fler lokala mikronät, och med tanke på det avancemang som görs runt teknikerna för styrning och kontroll av dessa mikronät, kommer de antagligen fungera tillsammans i någon utsträckning. Dock blir också kontrollen och styrningen ytterligare komplicerad när flera små mikronät även skall ta hänsyn till varandra samt det yttre nätet. Det finns flera sätt att kontrollera dessa olika mikronät men kan sammanfattas i två huvudsakliga kontrollerdesigner:

- Central kontroll där alla mikronät ingår i ett enhetligt system
- Decentraliserade kontroller som kan styra varje mikronät separat men också tillsammans



Figur 2 Centraliserad modell



Figur 3 Decentraliserad modell

I den centrala modellen finns en övergripande kontrollenhet som styr de aggregerade mikronäten efter signaler som inkommer. Dessutom kontrolleras flödet mellan det yttre nätet och de olika mikronäten. Fördelen med detta sätt är att det går enkelt att optimera funktionerna från mikronäten och att styrsystemet inte behöver vara onödigt komplext. Dock bygger det på att designen i princip är klar med de olika ingående mikronäten, och en klar nackdel är skalbarheten i den färdiga designen.

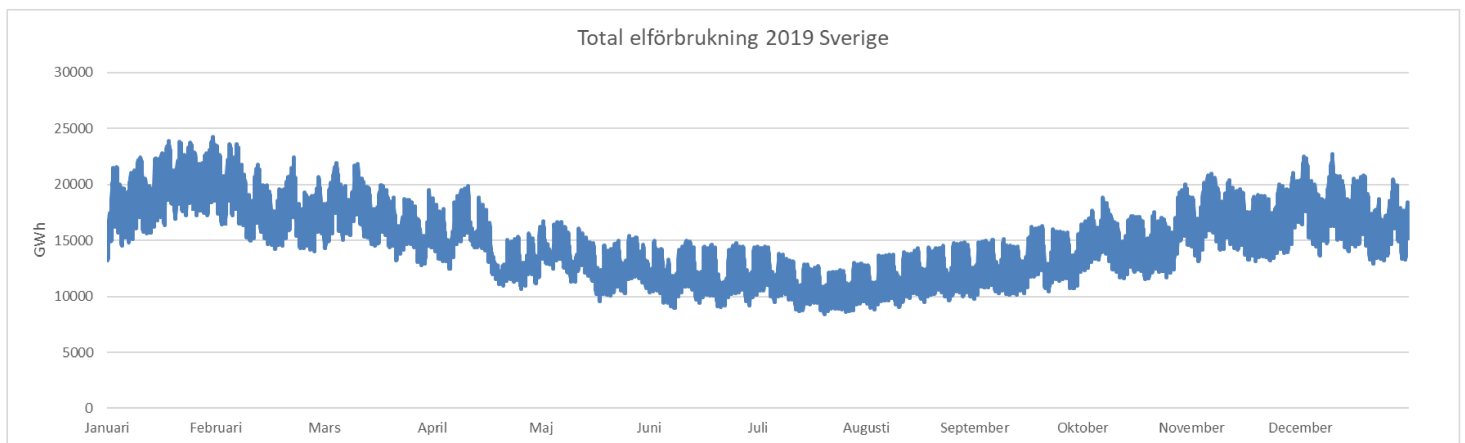
I det decentraliserade systemet så finns en stark kontrollenhet i varje mikronät som förutom att styra och reglera det egna nätet, har förmåga att även styra andra aggregerade mikronät. Fördelen med denna lösning är att det går att ansluta befintliga komponenter och mikronät och det kan således skalas upp enklare. Nackdelen är givetvis att det blir mer komplext styrsystem som måste kunna ta hänsyn till många scenarier och ha tydliga hierarkiska rutiner för när de olika kontrollsystemen skall verka och inte.

## Det framtida fallet Sverige

För att ge en konceptualiserad bild av ett system med många små mikronät i Sverige, så kommer vi att utgå från de tidigare presenterade punkterna. Mikronät kräver tekniska lösningar, relativt stora investeringar, nya organisationer, juridiska komponenter samt affärsmodeller för att få avkastning på de potentiella värdeflöden som kommer från mikronäten. Fördelarna är dock många: möjliggör integrering av höga andelar förnybar variabel produktion, ökar motståndskraften vid störningar på det yttre nätet samt i händelse av kris, involverar ofta medborgaren tydligare i energisystemet, minskar belastningen på det yttre nätet och minskar även behovet av nyinvesteringar i nätet.

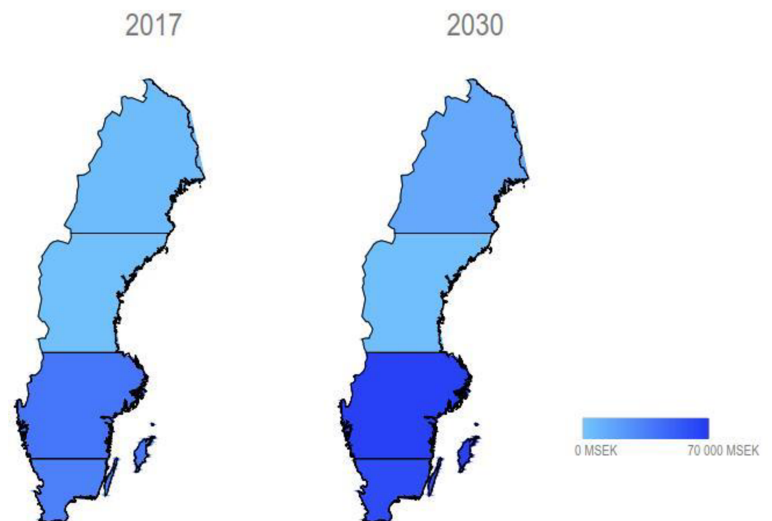
Det finns flera kontextuella dimensioner som spelar in vid utvecklingen av mikronät i Sverige. De kan för enkelhetens skull delas in under fysiska och institutionella. De fysiska handlar om geografi och klimat, men även existerande nät och infrastruktur för elsystemet. De institutionella handlar om regelverk och lagar, men även attityder, normer och värderingar kring hur elsystemet sett ut hittills och vad som finns för tankar och föreställningar hos olika grupper kring det framtida elsystemet.

Sverige ligger relativt långt norrut, och har en hög förbrukning av energi under det kalla vinterhalvåret som behövs för att värma upp byggnader. Därtill är solinstrålningen låg under samma halvår så att solceller ger väldigt liten del av sin årsproduktion under dec-feb. Å andra sidan har vi per capita en hög elförbrukning beroende på flera elintensiva industrier. Figur 4 visar fördelning på förbrukning under året.



Figur 4 Fördelning av elförbrukning under 2019 Sverige Källa: SVK Elstatistik

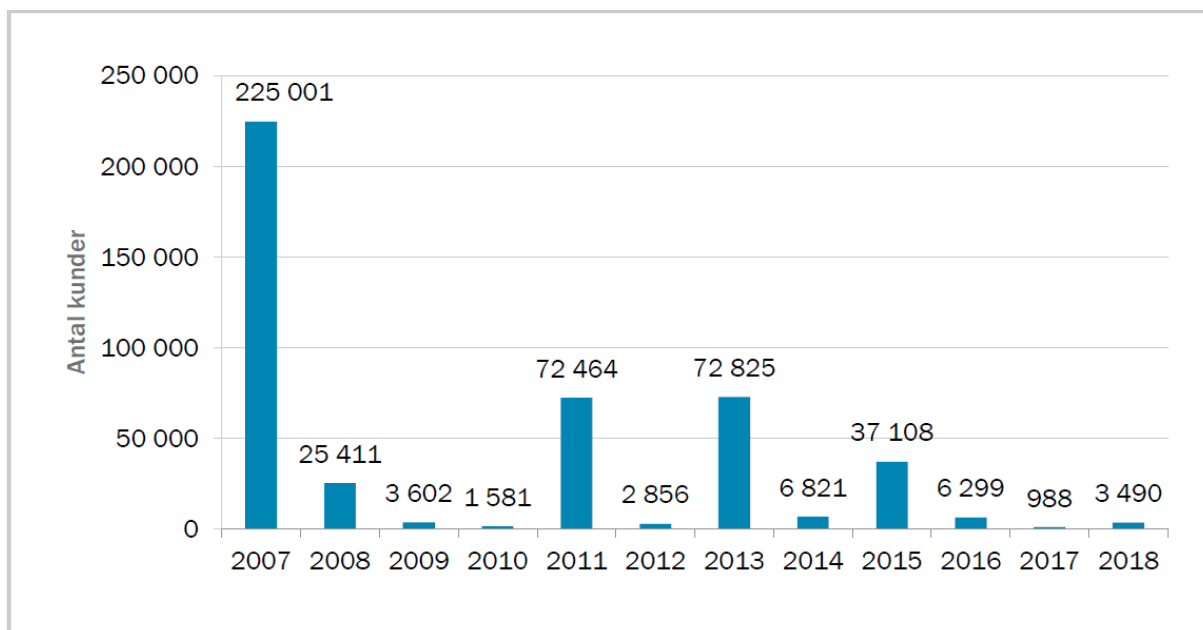
Nätkapaciteten är också en fysisk förutsättning för att kunna bygga mikronät. Där är dock mindre kapacitet snarare en drivkraft för att installera just mikronät som avlastar nätet vid integration av mycket förnybart, alternativt vid anslutningar av mycket nya laster (t.ex. elintensiva produktionsanläggningar). Nätkapaciteten ser olika ut på olika platser i landet, figur 5 visar status idag och en uppskattning av kostnader för kommande överutnyttjande av kapaciteten i stamnäten. Inte helt oväntat kommer näten i söder överutnyttjas mest då störst ökning av elanvändning tros ske här.



Figur 5 Samhällsekonomisk kostnad från överutnyttjande av elnäten. Källa: Pöyry

I Sverige har vi, relativt sett, få strömavbrott.

De ökar dock under år där det varit stora stormar, vilket figur 6 visar, som exempelvis år 2007 när stormen Per härjade. Specifikt visar diagrammet antal avbrott som varat längre än 24 timmar.

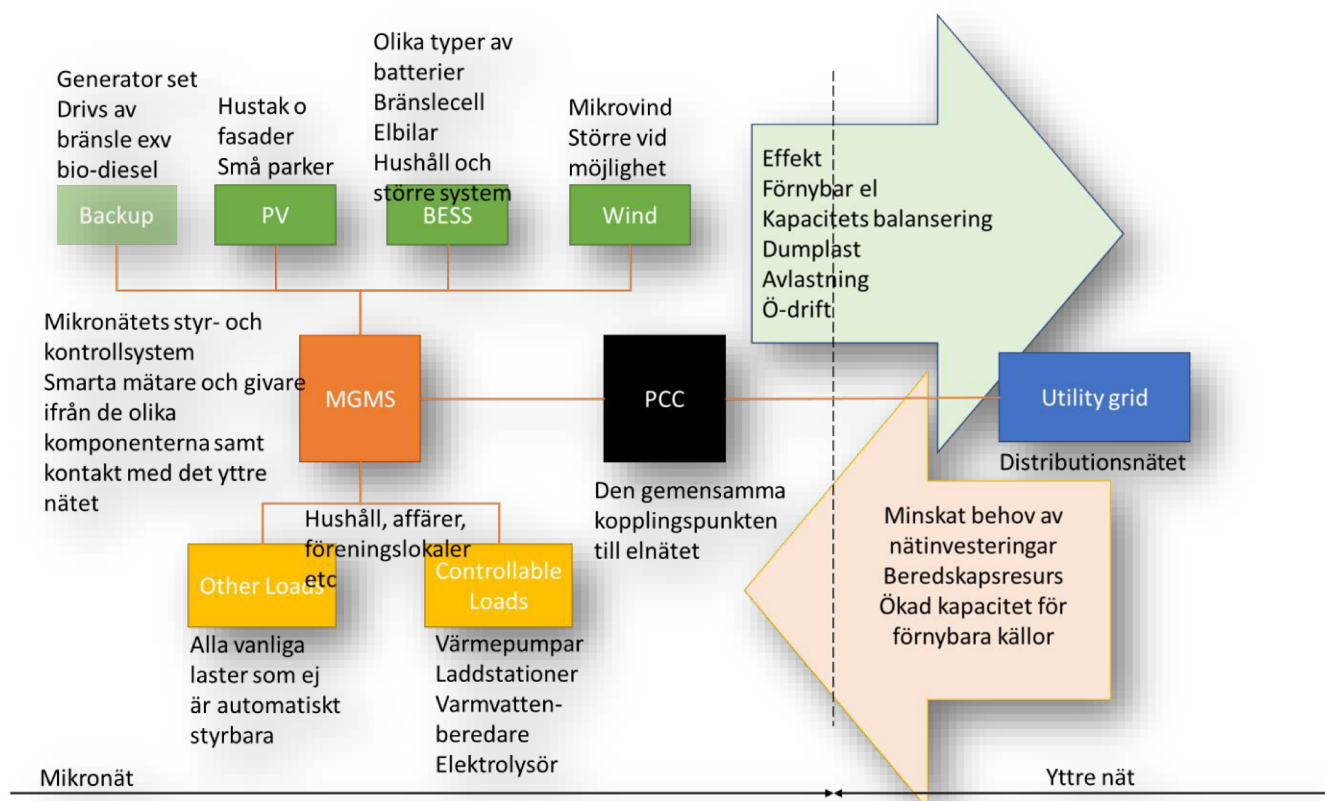


Figur 6 Antal strömavbrott längre än 24 timmar. Källa: El

Trots dessa få strömavbrott så uppskattas den direkta kostnaden för abonnenterna till 1,5 mdr kr år 2018. Dessutom kan indirekta kostnader, såsom exempelvis svårigheter att ta sig till jobbet, läggas till samhällskostnaderna för avbrotten.

## Design av mikronät

Figur 7 visar en generell design av ett mikronät inkopplat i det yttre nätet.



Figur 7 Generell design av ett mikronät som är inkopplat på det yttre nätet

Förkortningar använda i bilden:

MGMS – Microgrid Management System

PV – Photovoltaic

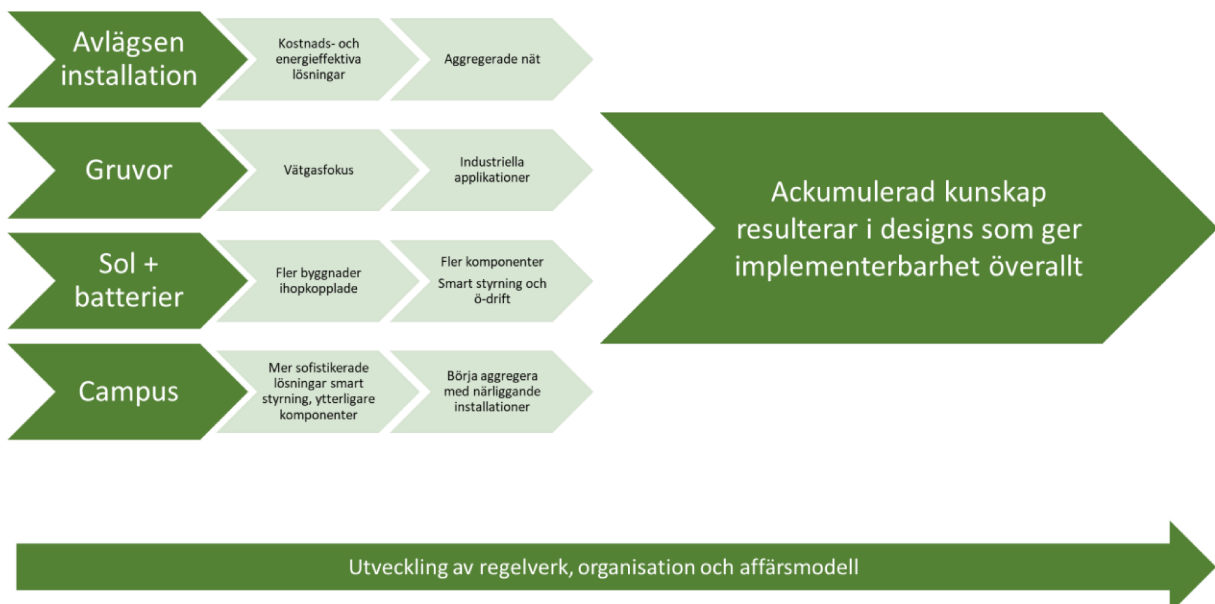
BESS – Battery energy storage system

PCC – Point of common coupling

I bilden tydliggörs de olika ingående komponenterna i mikronätet. Dessutom sätts också de direkta och indirekta värdeflödena in i gränssnittet mellan mikronätet och det yttre nätet. Mikronätet kommer ju givetvis skilja i design från fall till fall, men tanken är att dessa komponenter kommer att finnas delvis eller samtliga i olika mikronät. Det kan dessutom finnas flera gemensamma kopplingspunkter med det yttre nätet eller potentiellt ett annat mikronät. De kontrollerbara lasterna utgör virtuella batterier som kan användas flexibelt för att skapa bästa möjliga balans mellan produktion och laster i mikronätet. De andra lasterna är självfallet också styrbara men genom att användarna själva kan välja att sätta på diskmaskinen vid en bra tidpunkt etc.

### Kunskapsutveckling och marknadsformering

Som visats pågår en del kunskapsutveckling runt mikronät implementerade i Sverige. När det gäller generell kunskap finns dock mycket att hämta från installationer och demonstrationer utomlands. Dessutom finns mycket av tillgänglig erfarenhet hos ABB som har en stor utvecklingsdivision för mikronät i Sverige. Efter samtal med just ABB och med annan tillgänglig information såsom visioner, fallarbeten och andra dokument, har vi tagit fram en möjlig utvecklingsväg för mikronät i en svensk kontext. Det är framförallt fyra huvudsegment som lyfts fram där aktiviteter inom mikronät ses som möjliga och där det redan finns en del gjort. Figur 8 sammanfattar den tänkta kunskapsutvecklingen från de föreslagna tidiga marknaderna.



Figur 8 Möjlig aggregerad kunskapsutveckling från tidiga marknader

Avlägsna installationer är den klassiska implementeringen av mikronät och motiveras rent ekonomiskt att det är billigare än att dra nya kablar från existerande nät. I Sverige som är ett stort land med en hel del avlägsna mindre samhällen exempelvis runt fjällen, samt en del öar med byar i exempelvis Stockholms skärgård och utanför Bohuslän, finns det flera behov av robusta energisystem som skulle kunna lösas med mikronät. På dessa platser kanske de kommer att vara fränkopplade det



större nätet och därmed inte utgöra en del av det sammankopplade energisystemet, men kunskap kring design och tekniska lösningar kan ändå hämtas från sådana här installationer.

När det gäller gruvor är detta en näring som har högt uppsatta miljömål med minskade utsläpp från produktionen vilket innebär ett fokus på elektrifiering och vätgas. Dessutom har gruvorna inte vanligtvis access till elnätet utan behöver lösa energiproduktionen på plats, vilket passar för mikronät.

Ett antal fastighetsägare samt några bostadsrättsföreningar har sedan tidigare installerat solceller men har även nu installerat energilager ofta i form av batterier men även vätgas förekommer. Dessutom finns ofta smarta givare på plats samt styrsystem som redan nu kan styra delar av systemet. Dessa system är inga egentliga mikronät idag, men eftersom dessa huvudkomponenter redan finns på plats är steget kortare till att vidareutveckla mikronät ifrån det befintliga systemet.

När det gäller universitetscampus finns redan idag lokala energisystem, exempelvis FED på Chalmers, som i princip skulle kunna fungera som mikronät. Här finns en tydlig koppling till kunskapsutveckling, varför detta segment är intressant som tidig marknad. Det är relativt vanligt med campus mikronät på universitet runt om i världen. Ett intressant exempel är Illinois Institute of Technology i Chicago som har ett mikronät, där man just nu håller på att installera ytterligare ett i en angränsande stadsdel, Bronzeville. Det är tänkt att dessa skall fungera aggregerat.

I takt med att marknaderna växer, så kommer också organisationen och affärsmodellerna utvecklas. Dessutom kommer det bli tydligare hur regelverk och lagar kan anpassas för framtidens decentraliserade elnät. Denna utveckling kan få stor nytta av hur utvecklingen av regelverk sker i andra länder, inte minst EU länder som på samma sätt som Sverige är påverkade av EU direktiv.

## Rekommendationer

Avslutningsvis Så samlar vi en del rekommendationer baserat på kunskaper från projektet solbaserade mikronät. Rekommendationerna syftar till att underlätta för framväxten av mikronät i Sverige, samtidigt som denna förändring skapar mesta möjliga nytta för samhället i stort.

- Underlätta implementering och ägande av mikronät för olika aktörer i samhället. Det kan vara nätbolag, men också lokalsamhällen, företag eller tredjepart som offererar tjänster från mikronät. Denna översyn och förändring av regelverk, som också tydligt pekas ut av interna utredningar samt EU direktiv, kan med fördel dra lärdomar av proaktiva regioner i världen, exempelvis Kalifornien, där man redan nu kommit en bra bit framåt i att uppdatera den tidigare lagstiftningen.
- Uppmuntra delaktighet i mikronäten från lokalsamhällen, eftersom det kan ge fördelar i högre acceptans, tillgång till privat kapital, effektivare energibeteende och social hållbarhet i dessa samhällen.
- Satsa på fler demonstrationer och faktiska mikronät i verkliga miljöer, gärna flera tillsammans så att teknisk kunskap kan ökas runt dessa installationer i en svensk kontext.
- Uppmuntra lokala lösningar för att balansera förnybara produktion såsom batterier och smarta styrsystem. Kan vara kontraproduktivt att i för hög grad subventionera inmatad el från små anläggningar då mängden variabel el som matas in ökar belastningen på distributionsnäten. För att både bibehålla incitamentet till att skaffa egen elproduktion, öka egenanvändningen och balansera den variabla produktionen, kan subventioner till lagring

samt smart styrning ges. Dessutom skulle en tydlig mikronätstariff med ersättning för effekt och reglertjänster ge minskade osäkerheter vid investeringar i mikronät.

- Utred värdet av resiliens för elnäten i ett risk- och beredskapsperspektiv, samt hur ett resilient elsystem riktat mot kritisk infrastruktur kan vara en komponent för att stärka det inre försvaret. Inkluderade myndigheter i detta bör vara MSB och Försvarsmakten.
- Samverkan mellan universitet och företag med lösningar för mikronät bör fördjupas då mycket kunskap redan finns, och möjligheterna till att ta fram attraktiva lösningar, även för en global marknad, ökar och därmed chansen till tillväxt och jobbskapande inom sektorn.

## Länkar till mer information av mikronät

<https://microgridknowledge.com/> - Branschförening inom mikronät som följer den globala utvecklingen inom sektorn.

Slutrapport från implementeringen av mikronätet i Blue Lake Rancheria, Kalifornien. Ger en detaljerad beskrivning av processen både ur ett tekniskt och socialt perspektiv

<https://ww2.energy.ca.gov/2019publications/CEC-500-2019-011/CEC-500-2019-011.pdf>

EON's publika hemsida kring mikronätsprojektet i Simris <https://www.eon.se/om-e-on/innovation/lokala-energisystem.html>

Vattenfalls mikronät i Askersund: <https://group.vattenfall.com/se/nyheter-och-press/nyheter-pressmeddelanden/nyheter/2017/vattenfall-inviger-mikronatsystem-i-askersund>

Slutrapport från WSP runt mikronätet i Fjäras som Eksta Bostäder byggt:

[https://www.bebostad.se/library/3791/slutrapport\\_utveckling-av-helhetsloesning-foer-solel-i-bebyggelsen.pdf](https://www.bebostad.se/library/3791/slutrapport_utveckling-av-helhetsloesning-foer-solel-i-bebyggelsen.pdf)