

Hur Ukraina hanterade Rysslands angrepp mot sitt kraftsystem

Anders Odell, Anna Lioufas

Ryssland har under kriget mot Ukraina riktat massiva angrepp mot det ukrainska kraftsystemet. Angreppen har orsakat omfattande skador på kraftsystemet, påverkat elförsörjningen och inneburit svåra påfrestningar för det ukrainska samhället och befolkningen. Ukrainska aktörer har dock återkommande lyckats reparera skador, återställa elförsörjningen och på andra sätt mildra konsekvenserna av angreppen och strömavbrotten.

DETTA MEMO PRESENTERAR huvudbudskapen i rapporten *Russian attacks on the Ukrainian power system*.¹ Syftet är att ge en översiktlig bild av ryska angrepp mot det ukrainska kraftsystemet², vilken påverkan de haft, och presentera de viktigaste åtgärderna som Ukraina vidtagit hittills för att hantera och mildra effekterna. Vår förhoppning är att rapporten kan spela en roll i en bredare diskussion om hur man kan säkerställa energiförsörjningen vid konflikter och krig, samt frågan om hur Nato, Europeiska unionen och andra länder kan stödja Ukraina i att upprätthålla och utveckla sitt kraftsystem. De frågor som diskuteras i rapporten är av yttersta vikt att ta itu med.

Genom att studera hur kraftsystemet i Ukraina angreps under Rysslands anfallskrig, och hur konsekvenserna har hanterats, går det att göra tre tydliga iakttagelser:

1. Det ukrainska kraftsystemet har utsatts för massiva och riktade angrepp från Ryssland.
2. Kraftsystemet fick kraftiga skador vilket har orsakat omfattande störningar.
3. Kraftsystemet fungerar fortfarande, om än med en lägre leveransnivå.

Trots att Ukraina har stått inför massiva angrepp från Ryssland har det ukrainska kraftsystemet visat en anmärkningsvärd motståndskraft och anpassningsförmåga. Det ukrainska kraftsystemet hade redan innan Rysslands fullskaliga invasion vissa förutsättningar som under kriget bidragit till förmågan att upprätthålla elförsörjningen. Dessa förutsättningar inkluderar bland annat överkapacitet i produktion och överföring, den robusta utformningen av systemet samt graden av decentralisering, vilka sammantaget har inneburit en förmåga att reparera systemet samt att återställa och upprätthålla elförsörjningen. Förberedelser och utvecklade beredskapsplaner bedöms också ha bidragit. Det förefaller också som att Ukraina har varit mycket anpassningsbara och flexibla när det gäller att använda olika åtgärder, och de har varit snabba på att hitta nya lösningar och anta nya regleringar inom energiområdet.

Andra faktorer som bidragit till Ukrainas förmåga att återställa och upprätthålla funktionen i kraftsystemet är tillgänglighet till tränad personal, samarbete och koordinering mellan olika aktörer, och stöd från andra länder. Genom olika former av bortkoppling, tydlig kommunikation med medborgarna och olika effektiviseringsåtgärder, har elförbrukningen hållits nere vilket begränsat omfattningen av oplanerade strömavbrott. Risken för skador på anläggningar och infrastruktur

1 Anders Odell, Anna Lioufas, Mari Olsén, Karin Mossberg Sonnek, Frej Welanders, Andreas Hörnedal (2024). *Russian attacks on the Ukrainian power system*. FOI-R--5596--SE. Rapporten har tagits fram i en studie åt Svenska Kraftnät (Svk) och Energimyndigheten. Den täcker perioden från starten av den fullskaliga invasionen i februari 2022 till slutet av vintern 2023. Rapporten är främst en kartläggning av vad som har hänt och ger underlag för ytterligare analys längre fram, även om vissa slutsatser har kunnat dras. Rapporten är baserad på öppna källor.

2 "Alla anläggningar som på något sätt ingår i den fysiska överföringen av el ingår i kraftsystemet. Kraftsystemet består alltså av alla kraftproduktionsmoduler, förbrukningsanläggningar eller nätelement." Svenska kraftnät. Översikt av kraftsystemet. <https://www.svk.se/om-kraftsystemet/oversikt-av-kraftsystemet/> (Åtkomst: 2024-07-18)

inom kraftsystemet har också minskats med hjälp av luftförsvar och fortifikatoriska åtgärder. Även Ukrainas arbete med att stärka motståndskraften mot cyberangrepp har troligen varit en viktig faktor för att undvika allvarlig påverkan på kraftsystemet.

Den sammanlagda bilden är att Ukraina har lyckats mildra effekterna av Rysslands angrepp mot kraftsystemet, dock inte utan en betydande kostnad i monetära termer och i form av mänskliga liv. Det finns väldigt få delar av samhället som kan fortsätta opåverkade av störningar i elförsörjningen; från driften av sjukhus till livsmedelsproduktion och säkerhet, värme och kommunikationer. De är alla beroende av en stabil tillgång till ström.

UKRAINAS KRAFTSYSTEM

Ukrainas kraftsystem är bland de största i Europa. Kapaciteten att producera och överföra elektricitet översteg i stor utsträckning Ukrainas behov före den fullskaliga ryska invasionen 2022. Överskottet har hjälpt till att täcka förlorad produktion och överföringskapacitet till följd av skador i infrastrukturen orsakade av ryska angrepp. Dessutom minskade elleveranserna inom Ukraina kraftigt efter den ryska invasionen i februari 2022, på grund av minskad verksamhet inom näringslivet och industrin samt på grund av att nästan 8,2 miljoner människor flytt landet. Leveranserna fortsatte att minska långsamt fram till slutet av våren, då den stabiliserades. I september 2022 hade elleveranserna minskat med cirka en tredjedel jämfört med året innan.

Enligt en rapport från OECD har Ukraina under de senaste åren gjort betydande ansträngningar för att anpassa sin elmarknad till EU-standard. 2022 hade Ukraina infört 64 procent av relevant EU-lagstiftning i nationell lag och genomfört 68 procent av den nödvändiga lagstiftningen för kraftsektorn. Efter att ett antal åtgärder vidtogs 2023, har elmarknaden i Ukraina i stort samma struktur som i EU-länderna.

Den 24 februari 2022 kopplades det ukrainska kraftsystemet bort från det ryska och vitryska systemet som en del av ett sedan länge planerat test. Testet, som skulle samordnas med Ryssland, var ursprungligen tänkt att slutföras i januari, men Ryssland sköt upp testet till den 24 februari. Målet (en förutsättning för synkronisering med det europeiska kraftsystemet) var att testköra systemet i ö-drift (island mode) i tre dagar för att bekräfta dess funktion och stabilitet. Senare samma dag inledde Ryssland sin fullskaliga invasion av Ukraina, vid en tidpunkt då det ukrainska kraftsystemet

var som mest sårbart. Istället för att utgöra ett tredagars-test blev fränkopplingen från det ryska kraftsystemet permanent. Bara några veckor senare, den 16 mars, efter en brådskande begäran från Ukraina och Moldavien, inleddes en provsynkronisering med ENTSO-E.³

DET SOVJETISKA ARVET

Det faktum att det ukrainska kraftsystemet ursprungligen utformades och byggdes under den sovjetiska tiden för att vara robust och motståndskraftigt, och för att ha kapacitet att försörja industri med el både inom och utanför landet, har bidragit till förmågan att säkra och återställa produktion och leverans. Det sovjetiska arvet har emellertid också varit en svaghet, eftersom det är troligt att Ryssland har haft detaljerad kunskap om var och hur angrepp bör riktas för att orsaka mesta möjliga skada på kraftsystemet och elförsörjningen. Ett annat problem som härrör från det sovjetiska arvet är utmaningen att få tag på reservdelar. Eftersom kraftsystemet är utformat enligt sovjetiska standarder finns vissa reservdelar endast tillgängliga från andra före detta sovjetstater. Utrustning som sparats i samband med moderniseringar över åren har varit avgörande för förmågan att reparera kraftsystemet.

Att ha ett decentraliserat kraftsystem och en decentraliserad och diversifierad produktion har ökat robustheten och motståndskraften vilket stärkt Ukrainas förmåga att återställa elförsörjningen. Det har också gjort det möjligt att koppla elförsörjningen förbi skadad infrastruktur via alternativa ledningar och att använda lokal kraftproduktion såsom förnybara energikällor.

RYSK MILITÄRSTRATEGI

Fokus för de ryska angreppen har ändrats flera gånger under kriget. Efter den inledande fasen där de ryska styrkorna misslyckades med att uppnå luftherravälde, skiftade Ryssland fokus från att angripa flygbaser, till ekonomiska och logistiska mål. Dessa inkluderade transportinfrastruktur såsom järnvägar och vägar, men också oljeindustrin. Även om kraftsystemet troligtvis inte var det primära målet för dessa angrepp, skadades det vid flera tillfällen.

Den 10 oktober 2022 inleddes angrepp som specifikt riktade sig mot kraftsystemet. Strategin ändrades från att angripa lokala kraftsystem i konfliktområdena till att skada och förstöra kraftverk och transmissionsinfrastruktur för att påverka kraftsystemet som helhet. Angreppen tycks ha planerats med en detaljerad kunskap om det ukrainska kraftsystemet, i syfte att

3 European Network of Transmission System Operators for Electricity. <https://www.entsoe.eu/>

åsamka så stor skada som möjligt och orsaka omfattande strömavbrott. Representanter från Ukrenergo har dragit slutsatsen att angreppen den 11 och 12 oktober troligtvis planerades med deltagande av ryska kraftsystemexperter.

Ryssland har använt olika taktiker för att försöka undvika eller mätta det ukrainska luftförsvaret och orsaka så stor skada och så allvarliga konsekvenser som möjligt. Dessa inkluderar:

- **Angrepp mot specifik infrastruktur eller anläggningar för driften av kärnkraftverk.** Detta ökar underskottet i kraftsystemet utan att direkt skada själva kärnkraftverken.
- **Angrepp mot kraftsystemet för att störa andra verksamheter.** Detta tillvägagångssätt illustreras av angreppet mot kraftsystemet i Odessa-regionen den 10 december 2022. Det har spekulerats i att målet var att hindra arbetet vid de hamnar som ansvarar för den ukrainska spannmålsexporten inom ramen för spannmålsavtalet.⁴
- **Angrepp mot kritisk energiinfrastruktur vid tillbakadragande från ockuperade områden.** Arbetsgruppen för samarbete för återställande av den ukrainska energiinfrastrukturen⁵ rapporterade i sin utvärdering och skadebedömning av den ukrainska energisektorn att tillbakadragande ryska militära styrkor förstörde nästan all kritisk energiinfrastruktur i Mykolaiv- och Kherson-regionerna.
- **Användandet av många olika typer av robotar i samma angrepp.** Detta ökar sannolikheten för att mätta luftförsvaret, vilket försvårar för Ukraina att skjuta ner fientliga robotar. I angreppet den 9 mars 2022, blev denna taktik extra tydlig: här använde Ryssland nio olika typer av kryssnings- och ballistiska robotar. Av 81 avfytrade robotar träffade 47 olika mål, vilket är en högre andel än vad som uppnåtts under de tidigare månaderna.

ANGREPP

Baserat på tillgänglig data har cirka 5000 robotar och 1000 drönare avfyrats mot Ukraina mellan februari 2022 och maj 2023. En betydande del av dessa riktades mot kraftsystemet.

Ukrainas försvarskapacitet förbättrades under den senare delen av 2022, och International Centre for Defence and Security understryker att införandet av västerländska system bidrog till detta. Fram till vintern 2022-2023 rapporterade Ukrainas flygvapen att Ukraina lyckats skjuta ner 70-80 procent av ryska kryssningsrobotar, en andel som ökade till 90 procent i maj/juni 2023. Vår slutsats är att denna utveckling framhäver betydelsen av luftförsvaret mot robotar och drönare.

Som en följd av angreppen under hösten och vintern 2022-2023 skadades eller förstördes upp till 50 procent av Ukrainas elnät, 30 procent av Ukrainas kraftverk, och cirka 35-40 procent av den installerade kapaciteten för värmekraftverk och kraftvärmeverk skadades eller förstördes helt. I april 2023 rapporterade Ukrenergo att över 250 robotar och drönare träffat kraftsystemet sedan februari 2022. I juni 2023 rapporterade UNDP att 42 av 94 kritiska högspänningstransformatorer hade skadats eller förstörts. Mer än hälften träffades vid mer än ett tillfälle. Transmissionsnätet, som bl.a. används för att överföra elektricitet från kärnkraftverken har skadats över hela Ukraina. Angreppen har också påverkat distributionssystemen över hela Ukraina, med de mest omfattande skadorna i regioner som ligger i stridszonen och längs frontlinjen.

Det är möjligt att de massiva och återkommande angreppen mot det ukrainska kraftsystemet inte har uppnått den strategiska effekt som Ryssland eventuellt önskat eller till och med förväntat. Däremot bedöms de omfattande ryska angreppen ha satt aktörerna i kraftsystemet under stor press. Baserat på angreppens mönster, där ett stort antal ryska robotar och drönare riktats mot ukrainsk kraftinfrastruktur, och det faktum att kraftsystemet är den del av energisystemet som åsamkats störst skador, tycks det uppenbart att Ryssland riktat in sig på att störa eller slå ut kraftsystemet och elförsörjningen. Detta har troligen utgjort en del av en utmattningsstrategi som syftar till att undergräva ukrainarnas vilja och förmåga att försvara landet.

4 I korthet handlar avtalet om spannmålsexport från Ukraina genom Black Sea Grain Initiative och Grain from Ukraine. Det syftar till att lindra den globala hungerkrisen och svältrisen som förvärrats av den ryska invasionen av Ukraina och att stödja Ukrainas ekonomi och jordbrukssektor. Mer information om spannmålsavtalet och Sveriges ståndpunkt i detta finns på den svenska regeringens webbsida Regeringen.se. <https://www.regeringen.se/artiklar/2022/12/spannmal-fran-ukraina-lindrar-den-globala-hungerkrisen/> (Åtkomst: 2024-07-05)

5 Cooperation for Restoring the Ukrainian Energy Infrastructure project Task Force. International Energy Charter. <https://www.energycharter.org/>

KONSEKVENSER

En konsekvens av de ryska angreppen var att tillgänglig produktionskapacitet minskade med över 60 procent under 2022. Mot slutet av maj 2023 uppskattade Ukrenergo att 27 GW av installerad produktionskapacitet gått förlorad.

I praktiken innebär detta att miljontals ukrainare vid något tillfälle har saknat ström under kriget. Ukrainska hushåll drabbades av i genomsnitt fem veckors strömavbrott, från den 10 oktober till slutet av december 2022. Nästan alla elkunder har vid något tillfälle kopplats bort från elnätet från början av kriget till januari 2023, och från slutet av oktober 2022 till början av februari 2023 var i genomsnitt upp till 12 miljoner ukrainare utan ström.

Kostnaden för skadorna på Ukrainas kraftsystem har uppskattats till över 7,2 miljarder dollar. Beräkningar visar att cirka 90 procent av energiföretagen inte kommer att kunna betala sina skulder på grund av den orsakade förstörelsen och förlusterna. Tragiskt nog har angreppen också haft förödande konsekvenser för anställda inom energisektorn som utför reparationsarbete, och flera av dem har blivit allvarligt skadade eller dödade.

ÅTGÄRDER

Ukrainska aktörer har vidtagit flera åtgärder för att mildra effekterna av angreppen och upprätthålla elförsörjningen. Vi har delat in dessa åtgärder i sju olika kategorier.

Förberedelser före den fullskaliga invasionen

Erfarenheter från Rysslands annektering av Krim och Donbaskriget 2014 och 2015 innebar att Ukraina sedan en längre tid förberett sig för förnyad militär aggression. Några (men långt ifrån alla) av dessa åtgärder listas nedan.

- Ökad beredskap inom civil infrastruktur och åtgärder för att minska energiberoendet av Ryssland.
- Ny lagstiftning för att säkerställa motståndskraften hos kritisk infrastruktur: Lagen om kritisk infrastruktur (antagen 2021). Den inkluderar krisförebyggande åtgärder och åtgärder för att säkerställa verksamhetens fortsättning under nödsituationer. Inom ramen för lagen etablerades dessutom ett samordnande system för krishantering.
- Ukrenergo, distributionsnätoperatörer och de största energiföretagen etablerade alternativa kontrollrum och började bygga upp lager för att

kunna återställa skadad infrastruktur. Planer för förflyttning av verksamhet och personal i händelse av kriser eller angrepp utarbetades, vilka sedan aktiverades några timmar innan invasionen i februari 2022.

Återställning av elförsörjningen

Aktörerna inom kraftsektorn har återkommande återställt elförsörjningen. Förmågan till detta har ett flertal bidragande faktorer.

- Antalet reparationslag ökades för att snabbt kunna återställa kraftsystemets funktion. En viktig faktor som bidrog till förmågan att reparera skador är just tillgänglig reparationspersonal. Enligt Ukrenergo är en avgörande faktor att reparationspersonalen är direkt anställda av bolaget. För att underlätta reparationer, men framför allt för att säkerställa säkerheten för reparationspersonal, etablerades ett system för samverkan mellan energiföretag, militär, polis och räddningstjänsten. Samordningen mellan olika intressenter, liksom mellan olika regioner, har varit en viktig del av det arbete som möjliggjort en effektiv återställning av elförsörjningen.
- När infrastrukturen för kraftsystemet skadades, leddes strömmen om genom andra tillgängliga ledningar, enligt så kallade backup-planer. Dessa planer skapades ursprungligen för planerade reparationer i fredstid men har använts under hela kriget.

Begränsning av elförbrukning

För att balansera elförbrukningen med produktions- och transmissionskapaciteten har Ukraina använt sig av olika åtgärder.

- Avstängning av elförsörjningen för olika regioner, antingen som nödavstängningar eller som schema-lagda avstängningar (ofta populärt kallade rullande strömavbrott) för att begränsa konsumtion som överstiger elförsörjningskapaciteten i en region.
- Genomförande av effektivitetsåtgärder för att minska elförbrukningen.
- Restriktioner på konsumtion. Fastställande av gränser för elförbrukningen för olika regioner.
- Prioritering av försörjning till de mest kritiska verksamheterna.

Ingripanden på elmarknaden

På grund av förlust av kraftöverförings- och produktionskapacitet avbröt Ukraina sin export av elektricitet till Europa den 11 oktober 2022. Ukraina återupptog exporten den 11 april 2023, först till Moldavien och senare till Polen och Slovakien. Exporten återupptogs uteslutande under förutsättningen att försörjning av ukrainska konsumenter prioriteras.

Ukraina tvingades införa nödimport av elektricitet från Europa vid olika tillfällen, på grund av den betydande prisskillnaden mellan EU och den ukrainska elmarknaden. Ukrainska regleringar begränsade möjligheten till kommersiell import när kostnaden för den importerade elektriciteten översteg Ukrainas pristak. Istället var Ukrenergo tvungna att begära nödimport från europeiska länder för att balansera kraftsystemet, vilket var dyrare än kommersiell import. Så småningom godkände den ukrainska regeringen ändringar i föreskrifterna för import av elektricitet under vintern 2022-2023, vilket tog bort vissa av begränsningarna.

Stöd till medborgare

I november 2022 lanserade den ukrainska regeringen initiativet ”Unbreakable Points”. Det är platser där ukrainska medborgare kan få tillgång till grundläggande behov som el, värme, vatten och internetåtkomst, dygnet runt. Dessa inrättades på kommunnivå. Samma månad beslutade den ukrainska regeringen att importen av varor som behövs under den kallare årstiden (exempelvis generatorer) skulle vara undantagna från att betala mervärdesskatt (moms) och importtull.

Efterfrågan på generatorer i Ukraina ökade från cirka 6 tusen enheter i januari 2022 till 310 tusen enheter i december 2022. Totalt importerade Ukraina nästan 670 tusen generatorer år 2022. Olika finansieringsprogram och stödprogram utvecklade av kommuner bidrog till ökningen av inköp av generatorer.

Internationellt stöd

Internationellt stöd till Ukrainas energisektor har hjälpt Ukraina att reparera och återuppbygga kraftsystemet under vintersäsongen 2022-2023. Stödet har lämnats genom funktioner som EU:s och Natos nödinsatsmekanismer och genom bilaterala avtal med ett antal länder. När angreppen började i oktober 2022, skickades exempelvis en begäran till Natos krishanteringssystem och EU:s civilskyddsmekanism. Vid slutet av oktober hade över 12 länder svarat och erbjudit den nödvändiga utrustningen.

Skydd av kraftsystemsanläggningar

En snabb titt på kartan över Ukraina visar att det skulle vara en i praktiken omöjlig uppgift att försvara hela kraftsystemet med luftförsvar. Exempelvis finns det, utöver de huvudsakliga kraftverken, omkring 140 transformatorstationer för spänningar över 110 kV utspridda över hela landet. Under angreppen under vintern 2022-2023 testade och förbättrade Ukraina därför även olika typer av fortifikatoriskt skydd. Skydd utvecklades på tre nivåer: skydd mot 1) splitter från robotar och drönare, 2) direkta träffar av drönare och 3) direkta träffar av robotar.

Ytterligare åtgärder och bidragande faktorer

Hanteringen av angreppen och deras konsekvenser inbegriper en mängd olika åtgärder och utfallet av hanteringen beror även på en mängd olika faktorer. Här listas några ytterligare av dessa.

- **Förnybara energikällor** spelade en viktig roll för att säkra elförsörjningen under angreppen. Vid vissa tillfällen var dessa de enda källorna till ström när landet drabbades av massiva strömavbrott efter ryska angrepp.
- **Informationssäkerhet:** Ukrainas energidepartement begränsade i ett tidigt skede information om skador och förluster av energiinfrastrukturanläggningar, och Ukrenergo publicerar inte längre data om den tillgängliga kapaciteten hos kraftverk i kraftsystemet.
- **Sektorsamordnad krishantering:** En kriskommitté skapades i september 2022 för att hantera samordning, förberedelser av åtgärder, prioritering och stärkande av motståndskraften inom energisektorn. Samarbetet mellan nationella, lokala och företagskrisledningarna möjliggjorde balansering av industrins kapacitet med efterfrågan på energi och kraft.
- **Kommunikation:** Information och kommunikation från officiella organ och företag är viktigt för att säkerställa acceptans av konsekvenser, att realistiska förväntningar ställs och att önskvärda förändringar i beteende och åtgärder fullföljs. Desinformation har också varit en faktor att hantera. En rapport från The Wilson Centre konstaterar att falsk information har riktats mot kraftsektorn. Ett exempel på detta är hur ryska nyhetsmedier rapporterade om ett falskt brev, som påstods vara från Volodymyr Kudrytskyi, VD för Ukrenergo, till energidepartementet, där

det begärdes att energidepartementet skulle minska elförsörjningen till vissa ukrainska regioner för att återuppta exporten av elektricitet till EU-länderna. Ukrenergo bemötte detta i ett tidigt skede, men det har varit tydligt att Ryssland sökt etablera ett narrativ där strömavbrott berodde på prioriteringen av export av elektricitet till Europa, snarare än på skador orsakade av ryska angrepp.

SLUTORD

Kriget pågår fortfarande. Informationen som finns tillgänglig idag kan vara ofullständig eller utgöra en del av en medveten kommunikationsstrategi. Händelserna och utvecklingen i Ukraina kommer sannolikt utgöra underlag för analyser under lång tid framöver. Ett antal iakttagelser har dock kunnat göras inom denna studie som bidrar till att förstå hur det ukrainska kraftsystemet har fungerat under kriget. Syftet med dessa är att hjälpa olika aktörer inom kraftsystemet att stärka beredskapen och förmågan upprätthålla kritisk verksamhet vid liknande angrepp. Olika aktörer kan dock ha unika förutsättningar som skiljer sig från de som råder i Ukraina. Därför är det viktigt att analysera hur erfarenheterna från Ukraina kan föras över till andra länder och andra aktörer.

Slutligen, kriget i Ukraina har också haft betydande effekter på energimarknaden i resten av Europa, där vissa länder tidigare förlitade sig starkt på rysk export, vilket bidrog till en allvarlig europeisk energikris. Detta understryker hur energiomställningen, energisäkerhet och säkerhetspolitik går hand i hand. ■