



# SP passar tiden

*Vad är klockan?*

*SP har svaret på några nanosekunder när.*

*Drygt 450 atomklockor hjälps åt att räkna ut det.*

**T**id är något som ibland tas för givet. Klockor som synkroniserar mot radiosändare i till exempel Tyskland är vanliga och det finns GPS-mottagare i nästan varje smarttelefon som kan hämta tid. Ändå finns det många klockor som går fel, även där tiden ligger till grund för debiteringar och lagföringar. En klocka ger information om tidpunkten, och är en kombination av en oscillator med en känd frekvens och en räknare som utifrån en startpunkt adderar svängningar från oscillatoren. Principen är densamma oavsett om oscillatoren är en pendel eller en cesiumtub, och om räknaren är en analog urtavla eller en digital räknare.

Absolut tid med hög noggrannhet är komplicerat att arbeta med, eftersom informationen snabbt blir gammal och inaktuell. Det kompenseras genom fastställande av hur lång tid som förlöpt sedan tidsangivelsen skickades. Grunden för internationell tid är en kombination av tidsangivelser från precisionsklockor och noggrant bestämda fördröjningar i signalvägarna mellan dessa. Utmaningarna är desamma inom Sverige som mellan länder, men blir mer avancerade då framtidens optiska klockor behöver jämföras med varandra.

**SVENSK TID BESTÄMS** enligt en författning från 1979 som fastställer att tiden i Sverige skall anges som UTC + 1h vid normaltid och UTC + 2h vid sommartid. Koordinerad universell tid (UTC), är den internationella atomtidsskalan som de flesta länder använder med anpassning för vilken eller vilka tidszoner landet använder, och som 1972 ersatte Greenwich Mean Time (GMT). GMT baseras på jordrotationen medan UTC baseras på data från mer än 450 atomklockor (huvudsakligen cesium- och väteatomklockor) som är lokaliserade i ett 70-tal laboratorier, mätinstitut och andra organisationer i världen. Data från samtliga klockor skickas till BIPM (Internationella byrån för mått och vikt [www.bipm.org](http://www.bipm.org), lokaliserad



## Av Kenneth Jaldehag och Per Olof Hedekvist, SP

**Kenneth Jaldehag** är teknisk doktor från Chalmers, där han disputerade vid Onsala rymdobservatorium på rymdbaserade mätmetoder för geodetiska tillämpningar. Sedan 1995 är han ansvarig för driften och utvecklingen av den svenska officiella tidsskalan UTC(SP) och dess deltagande i UTC. Kenneth är Sveriges representant i den kommitté vid den internationella byrån för mått och vikt (BIPM) som beslutar om utvecklingen och implementeringen av tid, tidsintervall och frekvens.

**Per Olof Hedekvist** är docent vid Chalmers, och har disputerat på innovativa lösningar i fiberoptisk kommunikation. Sedan 2005 är han forskare på SP, med projekt inom till exempel tid och frekvensöverföring över fiber. Han deltar även i ett EU-projekt som tar fram nya lösningar för att koppla samman de europeiska tidslaboratorierna med ultrastabila optiska länkar.



**Dagens cesium- och vätebaserade atomklockor kan komma att kompletteras av optiska klockor.**

strax utanför Paris) och jämförs mot varandra. Metoden kallas för jämförelsemätningar eftersom data från alla klockor jämförs med varandra. UTC beräknas av BIPM som ett viktat medelvärde av tidsdata från de deltagande atomklockorna. Varje laboratorium realiserar en fysisk version av UTC, UTC(k), för användning inom och i vissa fall utanför det egna landet. Till skillnad från UTC, som beräknas och bestäms i efterhand, är UTC(k) en fysisk realisering som kan användas kontinuerligt och omedelbart. Sveriges tidsskala benämns UTC(SP) och baseras på de klockor och lokala fysiska tidsskalor som finns tillgängliga på ett flertal platser i Sverige. I samband med en statlig utredning 2007 etablerades benämningen "tidsfabrik" för de noder som har till uppgift att producera en tidsskala som är spårbar till UTC, och därefter har benämningen "tidslager" föreslagits för de noder som har till uppgift att distribuera tid. Gränsen mellan de två är flytande och sammanfaller på flera platser. Tidsfabrikerna som är lokaliserade på olika platser i landet skapar en distribuerad tidsskala, där varje tidsfabrik utgår från sina egna klockor, men förbättrar noggrannheten genom att väga in data från klockorna i de andra tidsfabrikerna. Detta ger en robust lösning som kan

stå emot en hög grad av störningar och lokala avbrott.

SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut i Borås är utsett till Nationellt mätinstitut (NMI) i Sverige och har sedan 1995 till uppdrag att upprätthålla svensk tid och göra denna tillgänglig för användare i Sverige. Upprätthållandet sker i de fyra tidsfabrikerna SP NMI, SP STH, STUPI och OSO.

• **SP NMI** ligger i Borås och ansvarar för underhåll och beräkningen av UTC(SP) samt dess spårbarhet till UTC. Spårbarheten erhålls från kontinuerliga jämförelsemätningar mot andra NMler runt om i världen. SP NMI ansvarar för Sveriges kontakter med BIPM dit mätdata skickas för beräkningen av UTC. Det finns för närvarande två oberoende satellitbaserade metoder för att utföra jämförelsemätningar: GNSS och TWSTFT. GNSS (Global Navigation Satellite Systems) består av framförallt GPS och det ryska systemet GLONASS, men i framtiden kan även andra liknande system användas, till exempel det europeiska Galileo som är under uppbyggnad. TWSTFT (Two-Way Satellite Time and Frequency Transfer) är baserad på mätningar med transmission av egen tidsdata via en kommersiell kommunikationssatellit och används parallellt med GNSS av ett 30-tal NMler i Europa, USA och Asien. Både GNSS och TWSTFT uppfyller en noggrannhet på runt en nanosekund vid jämförelser av olika UTC(k).

• **SP STH** invigdes 2013 och är placerat i ett obemannat berggrum i Stockholm. Tidsfabriken är finansierad av PTS (Post- och telestyrelsen) för att stärka robustheten i det svenska tele- och datakommunikationsnätet och hanteras från distans samt vid be-



SP:s och Netnods NTP-servrar tar emot cirka 100 miljoner paket med förfrågningar per dygn.

NTP-server	SITE	SYNK	Nätverk	Anmärkning
ntp1.sp.se	SP NMI	UTC(SP) direkt	SP	
ntp2.sp.se	SP NMI	UTC(SP2) direkt	SP	
ntp3.sp.se	SP NMI	UTC(SP) direkt	SP	autokey
ntp4.sp.se	SP NMI	UTC(SP) direkt	SP	ny
ntp1.sptime.se	SP NMI	UTC(SP) direkt	SUNET	ny, IPv6
ntp2.sptime.se	SP NMI	UTC(SP2) direkt	SUNET	ny, IPv6
ntp3.sptime.se	SP STH	UTC(SP) styrd	SUNET	ny, IPv6
ntp4.sptime.se	SP STH	UTC(SP) styrd	SUNET	ny, IPv6
ntp1.sth.netnod.se	Netnod STH	UTC(SP) styrd	Netnod	
ntp2.sth.netnod.se	Netnod STH	UTC(SP) styrd	Netnod	
ntp1.gbg.netnod.se	Netnod GBG	UTC(SP) styrd	Netnod	
ntp2.gbg.netnod.se	Netnod GBG	UTC(SP) styrd	Netnod	
ntp1.mmo.netnod.se	Netnod MMO	UTC(SP) styrd	Netnod	
ntp2.mmo.netnod.se	Netnod MMO	UTC(SP) styrd	Netnod	

Samtliga officiella NTP-servrar från SP och Netnod synkroniseras av spårbara tidsskalor.

hov på plats. Basutrustningen liknar den på SP NMI med cesium- och väteatomklockor samt GNSS-utrustning för nationella jämförelsemätningar mot SP NMI.

- **STUPI** (Svensk teleutveckling & produktinnovation) är en väl etablerad tidsfabrik i centrala Stockholm och drivs av entreprenören och internetvirtuosen Peter Löthberg som SP NMI har ett forskningssamarbete med sedan 20 år. För tidshållningen är STUPI utrustat med mer än 10 cesium- och väteatomklockor samt GNSS-mottagare för jämförelsemätningar som dagligen övervakas av personal från SP NMI.

- **OSO**, Onsala Rymdobservatorium är en nationell facilitet för radioastronomi. Alla astronomiska mätningar är mer eller mindre beroende av noggrann tid varför observatoriet är utrustat med atomklockor av cesium- och väteatomtyp. SP NMI och

OSO har sedan mitten av 90-talet bedrivit ett forskningssamarbete med avseende på tidsjämförelser med GNSS. Samarbetet har med stöd från PTS resulterat i en etablering av en lokal tidsskala spårbar till UTC(SP).

**ETT TIDSLAGER ERHÅLLER** noggrann tid från en eller flera tidsfabriker och gör denna tillgänglig på ett eller flera sätt för användare. För att ge spårbar tid, måste en tidsfabrik övervaka tiden i tidslagret. Detta uppfylls lättast då tidsfabriken och tidslagret är samlokaliserade, men uppnås också genom stabila uppkopplingar mellan de båda parterna. SP NMI, SP STH, STUPI och OSO distribuerar alla tid till användare. Det görs framförallt via NTP-servrar men också på SP NMIer genom telefonnätet genom Fröken Ur, på uppdrag av TeliaSonera Sverige. Till mer avancerade användare utför SP NMI distribution av tid via satellitlänkar och GNSS.

Den enskilt största gruppen av användare hämtar tid genom NTP (Network Time Protocol). Av den anledningen beslutades i början av 2000-talet att NTP-servrar skulle sättas i drift på SP NMI samt operatörs-oberoende knutpunkter på de tre folktäaste områdena i Sverige. Detta uppfylls av Netnod Internet Exchange i Sverige AB, och utrustningen konstruerades och installerades i ett samarbete mellan SP, STUPI och Netnod. Medan serverna på SP NMI är kopplade direkt till UTC(SP) installerades system med enklare atomklockor av rubidiumtyp vid knutpunkterna i Stockholm, Göteborg och Malmö. Tiden från dessa rubidiumklockor övervakas genom GNSS-länkar till SP NMI och synkroniserar två stycken NTP-servrar på varje knutpunkt. Merparten av de NTP-förfrågningar som kommer till de svenska tidslagren går till de två NTP-servrar som står hos Netnod i Stockholm. Det typiska antalet inkommande NTP-paket för Netnod och SP tillsammans har under senare år varit i storleksordningen 100 miljoner paket/dygn med förfrågningar från hela världen, varav ungefär hälften från adresser i Sverige.

**SYSTEMEN HAR I PRINCIP** fungerat utan avbrott sedan installationen men är idag ålderdomliga och i stort behov av förnyelse. Eftersom en pålitlig, robust och spårbar NTP-tjänst är en viktig del av det nationella kommunikationsnätverket finansierade Post- och Telestyrelsen, PTS, för några år sedan utveckling av nya NTP-system, med krav på tillgänglighet, svarskapacitet, synkroniseringsförmåga och spårbarhet.

De nya systemen har en enkel och robust design. Rubidiumklockorna i tidslagren ersätts med dubbla cesiumklockor kopplade till varsin NTP-server. Mätssystemet skalas bort och ersätts med dubbla direktsynkroniserade GNSS-mottagare för spårbarhet och övervakning. Den nya typen av NTP-server baseras på standardiserad men kraftfull serverhårdvara och ett nätverkskort för analys av IP-trafik vid dataakter upp till 10 Gbit/s. En effektivt parallelliserad hårdvarustödd pakethantering gör det möjligt att svara på i stort sett samtliga inkommande NTP-förfrågningar. Nätverkskortet är direktsynkroniserat till sin cesiumklocka och tidsstämplar varje inkommande IP-paket med en konstant upplösning av cirka 10 ns. Stödd av hårdvaran skickas utgående NTP-paket iväg med samma upplösning. Detta gör att i princip alla paketutbyten är spårbara till UTC(SP) och därmed till UTC. Noggrannheten i NTP-svaren är densamma oavsett belastning, med en uppmätt variation på cirka 8 ns. Genom kalibrering kan man nå en potentiell noggrannhet av bättre än 100 ns relativt den ingående tidsskalan. Genom övervakning via GNSS kan korrekationer från UTC(SP) beräknas och serverns tidsangivelser kan fin-

justeras internt i serverna. Begränsningen i noggrannhet mot användaren ligger sedan i NTP-standarden och nätets routing, vilket ger en osäkerhet och asymmetri i överföringstiden mellan användare och server, och en användare kan inte förvänta sig mycket bättre än 1 ms noggrannhet om man inte är mycket nära servern. SPs nya serverar är däremot väl rustade för mer avancerade tidsöverföringstekniker såsom Precision Time Protocol, PTP (IEEE1588).

**DE NYA NTP-SERVERARNA** finns för närvarande etablerade på SP NMI och SP STH, och är redundant kopplade till det svenska universitetsnätverket SUNET. Tabellen på förra sidan listar officiella NTP-serverar tillgängliga från SP och Netnod, som samtliga synkroniseras av spårbara tidsskalor.

Som ett komplement till satellitbaserad synkronisering pågår ett internationellt arbete med att ta fram fiberbaserade lösningar. Användandet av kommunikationssatellit är utsatt då bandbredden är låg och kostnaden hög. Utnyttjandet av GNSS är användbart då det inte krävs sändning av data över satellit, men är mer utsatt för radioburna störningar, vilket både kan vara solstormars påverkan av jonosfären och manuella störsändare i närheten av antennerna. Den teknik som SP tagit fram, som baseras på



**Satellitbaserad synkronisering kommer att kompletteras med fiberbaserade lösningar.**

att den synkrona takten i befintlig telekomtrafik detekteras och används för att beräkna transmissionsfördröjningar mellan noderna, har kompletterat SPs internationella uppkoppling sedan 2010 med en uppkoppling mot den finska motsvarigheten MIKES. De två teknikerna är jämförbara i tekniska termer, men genom att utnyttja två olika signalmedium är uppkopplingen stabil mot oförutsedda händelser.

Dagens UTC skapas ur atomklockor som baseras på cesium eller väte, vilka skapar noggranna frekvenser i mikrovågsområdet, 1 till 10 GHz. Samtidigt pågår forskning om hur andra atomer kan användas, som har sina referensfrekvenser i det optiska frekvensområdet (cirka 500 THz), och kallas optiska klockor. Noggrannheten ökar inte linjärt med referensfrekvensen, men höjningen förväntas förbättra precisionen flera storleksordningar. För att genomföra jämförelsemätningar mellan dessa klockor krävs fiberoptiska anslutningar till varje lab, men även om det blir ett tekniskifte mot optiska tekniker kommer GNSS att vara en kostnadseffektiv lösning för flertalet användare.

**BEHOVET AV PÅLITLIG**, tillgänglig och noggrann tid är stort men ofta ospecificerat. En tidsangivelse används som betrodd trots att referenser till UTC saknas. SP säkerställer genom sitt statliga uppdrag finansierat genom Vinnova, med extra stöd från PTS, att svenska användare kontinuerligt har tillgång till tid som kan kopplas till UTC vid varje tillfälle. Genom vårt samarbete med STUPI, SUNET, och Netnod görs nätverkstiden dessutom tillgänglig med bästa möjliga kapacitet. Sedan är det upp till användaren att utnyttja det. ■