
«The Grid: Internet on Steroids»

Grunnlaget for en ny samfunnsmessig infrastruktur

Sist oppdatert 30. november 2000, bness@usit.uio.no

I 1999 kom artikkelsamlingen «[The Grid: Blueprint for a New Computing Infrastructure](#)» redigert av Ian Foster og Carl Kesselman. Boka ser dagens Internet og World-wide Web som et forspill til en ny samfunnsmessig infrastruktur med utgangspunkt i informasjonsteknologiens utvikling. Boka ser klare paralleller mellom utviklingen av denne infrastrukturen og den historiske utviklingen av eksisterende infrastrukturer som elektrisitets- og telenettet og hevder at den vil ha minst like dyptgående samfunnsmessige konsekvenser som disse i sin tid hadde. Det følgende er et forsøk på å oppsummere noen av de sentrale egenskapene ved The Grid.

Informasjonsteknologien generelt og Internet med World-Wide Web spesielt, har båret fram samfunnsmessige endringsprosesser som vi knapt aner rekkevidden av. Dette har skjedd med en langt større hastighet, rekkevidde og gjennomslagskraft enn noen kunne forestille seg på forhånd. Det er to vesentlige trekk ved den informasjonsteknologiske utviklingen som har lagt grunnlaget for denne utviklingen:

- **Moore's lov: Tilnærmet ubegrenset maskinkraft**

Maskinkraft er et generisk begrep som karakteriserer ytelsen eller behandlingsskapiteten til en datamaskin. Moore's lov sier noe sånt som at tilgjengelig maskinkraft pr krone fordobles omtrent hver attende måned. Dette innebærer at om fem år gir en krone ti ganger mer maskinkraft, om ti år gir samme krone over hundre ganger mer maskinkraft enn den gir i dag

- **Gilders lov: Tilnærmet ubegrenset båndbredde**

Båndbredde er et generisk begrep som karakteriserer overføringskapiteten i et nett, dess større båndbredde på nettet, dess mer data overføres pr tidsenhet omtrent på samme måte som det renner mer vann pr tidsenhet gjennom et vannrør med stor diameter enn gjennom et rør med mindre diameter. Gilders lov sier noe sånt som at båndbredden i nettet tredobles hvert år. Kombinert med Moore's lov innebærer dette at båndbredde blir tilgjengelig etter behov til en stadig lavere pris

Tilsammen sier Moore's og Gilders lover at utviklingen innen informasjons- og kommunikasjonsteknologien er eksponentiell, – ting går bare raskere og raskere. Det er ingen fysiske eller teknologiske begrensninger som skulle tilsi at Moore's og Gilders lover ikke vil være virksom det nærmeste tiåret. På litt lengre sikt vil nanoteknologi erstatte mikroteknologien og representere et nytt sprang når det gjelder ytelse og miniatyrisering. Begge lovene er dog avhengig av at de samfunnsmessige rammene rundt den teknologiske utviklingen ikke endrer seg dramatisk, men spekulasjoner rundt dette er utenfor rammen av dette notatet.

Den eneste reelle begrensningen ligger i vår evne til å utnytte kapasiteten i maskinene og nettene gjennom de programmer, systemer og tjenester vi utvikler og benytter.

Tilnærmet ubegrenset maskinkapasitet og båndbredde legger grunnlaget for en ny samfunnsmessig infrastruktur, – *en informasjonsteknologisk infrastruktur*. Infrastrukturer er samlinger av innretninger (anlegg, utstyr, virkemidler, prosesser, tjenester og any other thing) som virksomheten i samfunn, sektorer, organisasjoner eller whatever er avhengig av og utfolder seg innenfor rammen av. En infrastruktur distribuerer kapasitet, funksjonalitet og egenskaper relatert til et eller annet sett hensikter og aktiviteter. Eksempler på *samfunnsmessige infrastrukturer* er elektrisitetsnettet, telenettet, veier, jernbaner, skolevesen, bank- og finansvesen og mye mer, – innretninger som samfunnet er avhengig av for å fungere og utvikle seg. Historisk sett er det en del gjennomgående mønstre i utviklingen av slike samfunnsmessige infrastrukturer:

- Grunnlaget for infrastrukturene legges gjennom oppfinnelser, innovasjon og forskning
- Startpunktet for utviklingen av en infrastruktur er systemer som distribuerer kapasitet og funksjonalitet på et lokalt plan og som kan vokse til systemer med en eller annen form for global

- rekkevidde ved gradvis å inkludere nye områder
- Gjennombruddet for en infrastruktur skjer når allmennheten får tilgang til kapasiteten og funksjonaliteten gjennom standardiserte grensesnitt til stabile og forutsigbare tjenester innenfor et overkommelig budsjett
- Innenfor denne standardiserte rammen utvikles utstyr og anvendelser som er nyttige i samfunnsmessige prosesser og som i sin tur danner basis for økonomisk aktivitet
- I alle infrastrukturer er økonomi en bestemmende faktor for organisering, strukturering, tilgjengelighet og anvendelser, men de er i tillegg avhengig av reguleringsmessig, politisk og institusjonell utvikling

Umiddelbart passer denne beskrivelsen godt på utviklingen av elektrisitets- og telenettet, men den kan også brukes på utviklingen av andre infrastrukturer. I vår tid er altså en ny samfunnsmessig infrastruktur under utvikling, – en informasjonsteknologisk infrastruktur bygd på sterkt økende tilgang (i både teknisk og økonomisk forstand) til maskinkraft og båndbredde (i henhold til Moores og Gilders lover) kombinert med tekniske løsninger som organiserer og implementerer tjenester og anvendelser over et bredt spekter. Denne infrastrukturen sammenlignes ofte med elektrisitetsnettet fordi:

- Den vil strekke seg ut til og inkludere de fleste utkanter både geografisk og sosialt
- Den vil distribuere og drive et bredt spekter av kapasiteter, tjenester og anvendelser
- Den vil gi mulighet til å anvende ressurser og tjenester etter behov innenfor et – for de aller fleste – overkommelig budsjett
- Den vil medføre minst like store samfunnsmessige endringer

Og dette representerer grunnleggende trekk ved Internet og World-Wide Web av i dag, selv om de i dag har forholdsvis liten i skala og bærer relativt enkle tjenester med moderate behov for maskinkraft og båndbredde, – sett i forhold til det vi aner av framtidig utvikling. I forhold til situasjonen for fem og ti år siden representerer dagens Internet og World-Wide Web en formiddabel utvikling. Inspirert av elektrisitetsnettet omtales denne informasjonsteknologiske infrastrukturen som 'the Grid' for å illustrere at den er mye mer av det meste som Internet av i dag inneholder i tillegg til alt det nye.

Teknologien er hverken noe mål eller bevegende kraft i seg selv. Det er først i interaksjon med sosiale, økonomiske, politiske og kulturelle prosesser og praksis at teknologien blir en bevegende kraft. Teknologien representerer et *potensiale for endring og derved utvikling* av prosesser og praksis. Det er disse prosessene og praksisene og ikke teknologien som er det sentrale. Forholdet mellom disse to er ikke noen enkel relasjon, – prosesser og praksis påvirker de teknologiske løsningene, samtidig som teknologien påvirker prosessene og praksisen. Det er med andre ord en ligning med flere ukjente.

Moores og Gilders lover er uttrykk for en informasjonsteknologisk utvikling karakterisert av eksponentiell vekst, en raskt aksellererende utvikling. Dette gjelder tilgjengelig kapasitet når det gjelder ytelse på maskinvaren og båndbredde i nettet, – begge deler i rå, ubearbeidet form. Vår evne til å programmere denne rå kraften til å gjøre nyttig, anvendelig og effektivt arbeid for oss vokser langt fra med samme hastighet, selv om utviklingen av IT-baserte tjenester og løsninger det siste tiåret er imponerende nok. Vi står med andre ord i en situasjon der vi har ressursene, men ikke verktøyene og løsningene som skal til å utnytte dem på en effektiv måte. Årsakene til dette ligger i skala, kompleksitet og distribusjon, – verdensomspennende tjenester og systemer koplet sammen i komplekse strukturer og mønstre, bygd på distribuerte, heterogene ressurser hjemmehørende i og kontrollert av autonome organisasjoner. Innenfor slike omgivelser trengs noen nye tilnærminger i både arbeidet med å programmere og bygge sammenhengende og integrerte tjenester og systemer og i anvendelsen av dem.

Utgangspunktet er ubegrenset tilgang på maskinkraft og båndbredde i rå form og målet er å omforme dette til omgivelser med tjenester og systemer som er:

- Pålitelige, forutsigbare og driftssikre
- Universelt tilgjengelig
- Konsistente og standardiserte i grensesnitt, interaksjon og adferd
- Økonomisk sett innenfor rekkevidde for allmennheten

Disse nye omgivelsene vil det i langt større grad enn med dagens omgivelser være mulig å håndtere komplekse problemstillinger innenfor alle deler av samfunnslivet. I slike omgivelser vil det være mulig å aggregere behandlingskraft nok til å håndtere *beregningstunge oppgaver* som ikke kan løses på enkeltstående systemer, for eksempel simulering (i sanntid) av komplekse fysiske eller samfunnsmessige prosesser, utføre avanserte eksperimenter i virtuelle laboratorier med mer. Det vil videre være mulig å *utnytte ledig maskinkapasitet* på et stort antall maskiner til å løse sammensatte oppgaver, blant annet illustrert i eksperimentet for noen år siden der titusener av datamaskiner jobbet sammen om å løse noen

kryptografirelaterte problemer. Det vil også være mulig å imøtekomme *behovsdrevet etterspørsel etter behandlingsskapasitet og tjenestekvalitet* gjennom mekanismer for dynamisk rekvirering av ressurser. I disse omgivelsene vil det være mulig å håndtere *dataintensive applikasjoner* på en langt mer effektiv måte enn tidligere. Her er det ofte snakk om å hente ut informasjon og analysere informasjon fra enorme datamengder, gjerne innsamlet og lagret på forskjellige systemer. Utviklingen av *samarbeids- og samvirkearenaer* basert på virtuelle rom der et varierende antall personer kan agere og interagere for å løse en oppgave eller forfølge en interesse. Kimene til slike virtuelle rom finnes allerede i dataspill, i nettbaserte læringsomgivelser og lignende.

Med andre ord, – de nye omgivelsene gjør det mulig å gripe fatt i *komplekse og ressursmessig krevende problemstillinger som krever at et stort antall ressurser og aktører samarbeider og samvirker*, – og det er akkurat dette framtidens Internet dreier seg om.

For å realisere disse omgivelsene trengs et stort skritt framover i programmeringen, et skritt tilsvarende skrittet fra assembler til høynivåspråk, fra enkeltstående biblioteker til verktøykasser, fra håndkoding av programmer til ferdigpakket applikasjoner. Den gjennomgående utfordringen er å utvikle arkitekturer, modeller og strategier som sikter mot samvirke og samarbeid mellom distribuerte ressurser, systemer, tjenester og aktører.

Arkitekturmessig sett vil de nye omgivelsene opptre i mange ulike konfigurasjoner avhengig av formål og gjenstandsområde. En strukturering med utgangspunkt i skala, ytelse og kompleksitet vil gi komponenter eller modeller som vi i større eller mindre grad kjenner som:

- *Endesystemer* som er den databehandlingsmodellen som er best kjent i dag, det er her fokus for forskning og utvikling har vært de siste tiårene
- *Maskinklynger* er en nyere modell som representerer en tett kopling av homogene systemer under ett administrativt regime
- *Intranett* er også en forholdsvis ny modell som representerer en løsere kopling av heterogene maskiner og systemer, gjerne under ulike administrative regimer, men med en form for sentral kontroll og med en felles grense mot omgivelsene
- *Internett* på sin side representerer en modell med et stort antall distribuerte systemer med flyktige og tilfeldige forbindelser uten noen sentral kontroll og uten grenser

Innenfor disse omgivelsene vil velprøvde tjenester og mekanismer fra konvensjonell databehandling bli supplert av tjenester og mekanismer tilpasset de mer komplekse og 'grenseløse' egenskapene ved de nye omgivelsene. Utfordringen er altså å utvikle verktøy, modeller og omgivelser for å programmere disse systemene og ressursene til å gjøre nyttig arbeid for oss. Innenfor disse rammene vil det være et bredt spekter av aktører og de sentale gruppene vil være grunnarbeidere, verktøymakere, finsnekkere, sluttbrukere og vaktmestere:

- *Sluttbrukerne* er målet og meningen med det hele, de som skal bruke tjenestene og systemene til å gjøre nyttig arbeid
- *Finsnekkerne* er de som utvikler tjenestene og systemene som sluttbrukerne anvender
- *Verktøymakere* er de som utvikler grunnlaget for tjenestene og systemene og leverer metodikk, modeller og verktøy til finsnekkerne
- *Grunnarbeidere* er de som utvikler det grunnleggende tjenestene og sørger for at systemer og aktører kan kommunisere og sørger for at de ulike delene henger sammen
- *Vaktmestere* er de som passer på at alt går som det skal, at systemene og tjenestene fungerer etter hensikten

Grunnarbeidernes oppgave er å få en del grunnleggende mekanismer til å fungere innenfor de komplekse og sammensatte omgivelsene som framtidens databehandling innebærer. Dette er mekanismer som vi kjenner fra konvensjonell databehandling, men som må tilpasses nye omgivelser representert ved de fire konfigurasjonene ovenfor. Disse mekanismene starter med en *autentisering* av brukeren, etablere brukerens identitet og bekrefte denne (gjennom for eksempel brukernavn og passord). Med utgangspunkt i autentiseringen blir brukeren så *autorisert* til å starte *prosesser* på maskinen. En prosess består av en eller flere *tråder* som kontrollerer eksekveringen av instruksjoner innenfor et gitt adresseområde. En prosess kan kommunisere med andre prosesser via et bredt spekter av mekanismer (delt minne, pipes, meldinger etc) og kontrolleres av brukeren eller av en annen prosess (på vegne av brukeren) ved hjelp av *signaler*.

En prosess, på vegne av sin eier, kan rekvirere de *ressurser* som trengs for å løse en oppgave. Dette skjer i tråd med autoriseringen som sånn sett implementerer systemets regler for *ressursallokering*. Tilgangen til ressurser styres og administreres av en *scheduler* som sørger for at prosessene får tilgang til de

ressurser den trenger og løser ressurskonflikter mellom prosesser. Bruken av ressurser registreres i et *avregningssystem* som for eksempel kan levere data til et betalingssystem, ytelsesanalyser og lignende. Under det hele ligger *beskyttelsesmekanismer* som sikrer at prosesser ikke ødelegger for hverandre.

Endesystemene er karakterisert av relativt liten skala og stor grad av homogenitet og integrasjon. De grunnleggende tjenestene på endesystemene er forankret i operativsystemet som har full kontroll over og styring med ressursene på systemet. Innenfor programmering har mesteparten av aktivitetene hittil vært konsentrert om programmering av enkeltstående maskiner og det er utviklet verktøy og omgivelser som gjør det enkelt å lage effektive programmer på disse systemene. I framtidas vil utfordringene på dette området dels være knyttet til nye maskinarkitekturer (spesielt parallellprosessorer) og behovet for å integrere endesystemene sterkere i både klynger, intranett og internett.

Maskinklynger er maskiner koplet tett sammen i nett på en måte som gjør at de står fram som en ressurs. Klynger ligner en del på endesystemene fordi de vanligvis er homogene og kontrolleres og administreres av et operativsystem som har fullstendig kontroll over ressursene på alle maskinene som inngår i klyngen. Utfordringene på dette området vil være knyttet til skala og mindre integrasjon. Klynger har hittil bestått av et mindre antall prosessorer som har vært spesielt tilpasset behovet for å kople dem tett sammen. I framtida vil klynger bestå av tusenvis av prosessorer og en vil av økonomiske årsaker bygge disse på standardkomponenter. Dette innebærer andre utfordringer både når det gjelder å administrere og styre ressursene på klynga og sikre tett integrasjon av prosessorene.

Intranett er en langt løsere sammenkopling av systemer. Disse systemene vil være heterogene og det vil ikke være noe operativsystem som har fullstendig oversikt over tilgjengelige ressurser og kan administrere og kontrollere dem. Det eneste som holder intranettet sammen er at de fungerer innenfor og eies av en organisasjon. Tjenestene i et intranett vil være enklere og langt fra like tett integrert som tjenestene i en klynge. Utviklingen innen intranett går i retning av mer uniforme grensesnitt og mekanismer knyttet til distribuert dataaksess (distribuert filsystem, distribuerte databaser og lignende), samt utvikling av mekanismer for å kartlegge og rekvirere ressurser på tvers av systemer og utvikle bedre løsninger når det gjelder sikkerhet.

Internett er først og fremst karakterisert ved mangelen på sentral kontroll, ved geografisk distribusjon av systemer og ressurser og ved at det strekker seg på tvers av geografiske, organisatoriske og andre skillelinjer. I videreutviklingen av tjenester i Internett vil det være nødvendig å utvikle mekanismer som gjør at systemer og ressurser under forskjellige administrative regimer kan samarbeide og samvirke om en oppgave. Mekanismer for å kartlegge aktuelle samarbeidspartnere og forhandle om betingelsene for samarbeid er et par eksempler på ting som må utvikles på dette området.