

Til: MN- fakultetsstyret

Sakstype: Orienteringssak

Saksnr.: 19/13

Møtedato: 22.04.2013

Notatdato: 04.04.2013

Saksbehandlere: Ingse Noremsaune, tlf. 55329

Sakstittel: Sluttrapport for senter for fremragende forskning – Centre of Mathematics for Applications (CMA).

Tidligere vedtak i saken:

CMA tilhørte førstegenerasjon SFFer i Norge og startet 1. mars 2003 med professor Ragnar Winther som senterleder. CMA opphørte som SFF 28. februar 2013, men er videreført som en satsing (også kalt CMA) ved Matematisk institutt for en periode på fem år, med mulighet for forlengelse i en periode. Prosessen med innfasing av CMA har vært behandlet i flere styremøter og ble endelig vedtatt 11. desember 2012 (sak 67/12).

Hovedresultatene:

CMA har vært en suksess og har produsert svært mange resultater. Det er vanskelig å presisere hva som er "hovedresultater", men i hver av de ti årsrapportene har CMA presentert 5-8 "highlights". Det vises til årsrapportene for dette. Men forskningsresultatene i seg selv er bare en del av det som er oppnådd. Mye viktigere er den langsiktige betydningen av de miljøene som er bygget opp. CMA har, blant annet, styrket viktige forskningsfelt som stokastisk analyse, partielle differensialligninger og beregningsorientert matematikk på Universitetet i Oslo. Dette blir nøkkelområder for bruk av matematikk innen en rekke områder av forskning og teknologiutvikling i årene som kommer. I tillegg har CMA gjennom prosjektet "Computing in Science Education (CSE)" vært med på å modernisere undervisningen, ikke bare i matematikk, men ved hele MN-fakultetet.

Styret tar sluttrapporten for CMA til etterretning.

Vedlegg:

Sluttrapport for CMA sendt til NFR.

SLUTTRAPPORT CMA

- Godkjent i CMAs styre 18.3.2013, oversendt Forskningsrådet 22.3.2013
- Overskriftene i rapporten er basert på Forskningsrådets retningslinjer for sluttrapporten i brev av 20.11.2012

RESULTATER:

Beskriv kort hovedresultatene fra senterets forskning

I løpet av disse ti årene har CMA produsert svært mange resultater. Det er vanskelig å presisere hva som er "hovedresultater", men i hver av de ti årsrapportene har vi presentert 5-8 "highlights". Satt sammen vil disse ca. 60 resultatene være de valgene vi selv har gjort underveis for å fremheve noen ting fremfor andre. Vi viser til årsrapportene for dette. Men forskningsresultatene i seg selv er bare en del av det man oppnår med et SFF. Mye viktigere er den langsiktige betydningen av de miljøer som bygges opp. Senteret vårt har, blant annet, styrket viktige forskningsfelt som stokastisk analyse, partielle differensialligninger og beregningsorientert matematikk på Universitetet i Oslo. Dette blir nøkkelområder for bruk av matematikk innen en rekke områder av forskning og teknologiutvikling i årene som kommer. I tillegg har CMA gjennom prosjektet "Computing in Science Education (CSE)" vært med på å modernisere undervisningen, ikke bare i matematikk, men ved hele MN-fakultetet.

I vår reviderte forskningsplan hadde vi definert 12 kvalitative fokusområder og vi har gjort substansielle fremskritt på alle. Vi viser til de siste fem årsrapportene som alle inneholder spesifikke beskrivelser av disse.

I tillegg hadde vi satt oss en rekke kvantitative mål, og oppnåelsen av disse vises i følgende tabell:

Hva	Målsetting	Status pr 28.2.13
Antall produserte doktorgrader	60	62
Antall postdoc med minst to års arbeid ved CMA	40	44
Antall publiserte artikler i internasjonale journaler	1000	1205
Antall produserte vitenskapelige bøker / antologier	45	50
Antall kapitler i publiserte vitenskapelige bøker	150	142
Antall langtidsgjester (>1 mnd opphold ved CMA)	100	151
Antall internasjonale korttidsgjester (< 1mnd opphold ved CMA)	1100	1735
Antall inviterte vitenskapelige foredrag utenfor CMA	1200	1286
Antall konferanser / workshops avholdt ved CMA	90	78
Antall internasj. Konferanser (co-)organisert av CMA-medl	160	221

Fortsatt er det betydelig aktivitet og kommende resultater som ikke synes i denne listen. Vi forventer ytterligere 15 disputaser og minst 100 flere publiserte artikler slik at det endelige resultatet blir 77 doktorgrader og >1300 publiserte artikler i internasjonale tidsskrifter.

Har forskningen generert nye forskningsområder? Hvilke?

I løpet av SFF-perioden har flere nye forskningsområder oppstått ved Universitetet i Oslo som konsekvenser av CMAs arbeid på sin forskningsplan. De kjennetegnes av å være områder der matematikken har kommet til anvendelser i andre fag. Vi nevner spesielt:

- 1) Partial differential equations in astrophysics. Kvantemekanikk og astrofysikk har vært de to fysiske disiplinene som har vært reperensert ved CMA. Kontakten mellom matematikkmiljøet og astrofysikerne har bl.a. ført til en forskningsaktivitet innen partielle differensialligninger der modeller som oppstår i forbindelse dynamikken i solatmosfæren angripes med mer matematiske teknikker.

Dette har ført til et ny forskningsaktivitet innen matematikkmiljøet som har oppstått på grunn av det tverrfaglige samarbeidet ved CMA. Siddhartha Mishra har blitt tildelt et ERC starting grant bl.a. for sine bidrag til denne forskningen.

- 2) Computational field theories. En annen aktivitet i grenselandet mellom matematikk og fysikk er forskningen rundt numeriske metoder for geometriske feltligninger i teoretisk fysikk. Snorre Christiansen har mottatt både et EURYI grant (ERC) og et ERC starting grant, i tillegg til flere priser, for denne aktiviteten. Han har bl.a. gjort en pionerinnsats gjennom sine arbeider hvor han gir et matematisk rammeverk for "lattice gauge theory."
- 3) Finite element exterior calculus. CMA har vært et internasjonalt ledende miljø i utviklingen som har foregått de senere år for å studere såkalte "compatible spatial discretization methods," spesielt "finite element exterior calculus." Denne teorien forbinder bl.a. numeriske metoder for partielle differensialligninger og algebraisk geometri. Dette har vært et meget aktivt forskningsfelt de senere år, og teorien har vært presentert på en rekke internasjonale konferanser og forelesningsserier. CMA har bl.a. bidratt til flere av de mest sentrale artikler på feltet, og har også vært arrangør av flere konferanser eller workshops.
- 4) Algebraic methods in geometric modeling. Gjennom hele SFF perioden har det blitt arbeidet med å utnytte metoder fra mer klassisk algebraisk geometri for å forbedre beregningsalgoritmer innen geometrisk modellering. I løpet av tiårsperioden har en rekke PhD kandidater arbeidet innen feltet, og etter hvert har dette arbeidet fått betydelig internasjonal annerkjennelse. Bl.a. har forskere ved Boeing Company, USA vist stor interesse for arbeidene rundt bruk av homologiske teknikker for å generere dimensjon og basis for diverse klasser av "spline spaces."
- 5) Analyse av energimarkeder. Gruppen for stokastisk analyse startet opp denne aktiviteten i løpet av SFF perioden. Dette har ført til et nytt forskningsområde som utvikler og bruker stokastiske metoder til å analysere energimarkeder. Det er nå en stor gruppe med fem PhD studenter og to post doc'er. To større NFR prosjekter løper (Evita og Renergi), samt at vi har fått innvilget et år på CAS i 2014/15. Aktiviteten har kommet som en konsekvens av gruppens teoriutvikling, og vi er i dag ett av de sentrale miljøene internasjonalt på dette området.
- 6) Computational quantum mechanics. Vi har utviklet en rekke numeriske metoder basert på problemstillinger formulert av fysikerne som har deltatt i CMA. Ideen har vært å angripe disse problemene med de mest moderne numeriske redskap utviklet innen den mer matematisk orienterte metodeforskningen, og dette har ført til en ny forskningsaktivitet i grenselandet matematikk/fysikk. Deler av denne aktiviteten er i dag også eksportert videre til Kjemisk institutt ved UiO, ved at en våre kandidater, som både har vært stipendiat og post doc på CMA, i dag er ansatt for å jobbe med lignende problemer der.
- 7) Mathematics for life sciences. I 2011 var deler av CMA miljøet med på å lage en SFF søknad med tittel "Centre for Mathematics and Statistics in the Life Sciences." Selv om denne søknaden ikke ble innvilget denne gang, har arbeidet med søknaden ledet til et potensielt forskningssamarbeid mellom CMA forskere, spesielt gruppen for differensialligninger, og forskere innen medisin og biologi. Dette er et område med enormt potensiale for fremtiden.

Har senterets yngre forskere etablert nye forskergrupper? Hvilke?

Aktivitet innen en rekke nye forskningsområder har blitt løftet opp (se over) og alle de eksisterende gruppene har blitt styrket gjennom SFF-årene. Vi vil spesielt fremheve forskningsgruppen for energifinans, som ikke er en formell enhet, men likvel en stor aktivitet innad i stokastikk. For tiden er denne bestående av to post docs og fem PhD'er, samt en prof.

Har forskerne økt sin internasjonale anseelse (invitasjoner, samarbeid...)?

Dette kan vi med stor grad av sikkerhet bekrefte. Noen stikkord til vår internasjonale profil kan nevnes:

- Stor og økende internasjonal interesse for alle stillingsutlysninger
- Våre forskere har vært inviterte foredragsholdere ved over 100 internasjonale konferanser/workshops hvert år
- Vi har selv arrangert nær 80 workshops og konferanser, nesten alle med internasjonal deltakelse, og vi har hatt over 150 internasjonale langtidsgjester (>1mnd opphold ved CMA)
- CMAs forskere har oppnådd i alt fem ERC grants i løpet av de fire årene ordningen har eksistert, tre av matematikere og to av våre astrofysikere. De tre i matematikk er fortsatt de eneste tre ERC-grants som norske matematikere har fått, noe som viser CMAs sterke posisjon.
- Av ca 1200 vitenskapelige artikler publisert i internasjonale tidsskrift er minst 2/3 samforfattet med internasjonale samarbeidspartnere. CMAs forskere har publisert flere arbeider i tidsskrifter som Nature, Science og American Scientist, deriblant tre forsider / cover stories.
- I alt har vi i våre årsrapporter presentert 29 priser og utmerkelse som har blitt våre forskere til del.

Hvilke innovasjoner har forskningen resultert i?

- Gruppen rundt Nils Henrik Risebro og Siddhartha Mishra har produsert programvare, med åpen kildekode, basert på høyt oppløslige differensmetoder for MHD ligningene. Prosjektet var opprinnelig motivert av simulering av solatmosfærer, men i dag er kodene, som går under navnene ALSVID og SURYA, brukt av en rekke miljøer som arbeider med strømningsproblemer innen geofag og astrofysikk.
- Innen geometri har bl.a. Tor Dokken og Tom Lyche samarbeidet om forskning på "Locally Refined B-splines" der. Flere sentrale artikler er publisert og det er også sendt inn patentsøknad: U S A 61/237,024 og PCT/NO10/00317 SINVENT. Dette er en generalisering av tradisjonelle B-splines til akseparallelle bokser med varierende forfining som har stort potensiale innen isogeometrisk analyse, Computer Aided Design (CAD) og representasjon av geologiske strukturer og topografi. Vi har utviklet en mer generell og mer fleksibel teknologi enn de amerikanskutviklede T-splines fra 2003.
- Metoder utviklet av Fred Espen Benth og hans samarbeidspartnere for å glatte forwardkurver har blitt implementert i industriell software som anvendes i energibransjen. Videre brukes mange av prismodellene gruppen har utviklet til robusthetstesting i energibransjen, som for eksempel spreadopsjonsprising og forwardkurver. Innenfor finansielle derivater for temperatur og vind, er også modeller utviklet ved CMA blitt anvendt av andre miljøer.
- Noen av Giulia Di Nunnos resultater og arbeider er anvendt og kreditert i et amerikansk patent (US7,552,154 B2, juni 2009, av N. Moriya). Anvendelsen gjelder statistisk separering av signal og støy.

Hvilke samfunnsutfordringer har forskningen hatt betydning for?

Både CMAs forskning og den utdanningskomponenten som implisitt er knyttet til CMA vil ha betydelige positive effekter for samfunnet. Konsekvensene av forskningen er selvfølgelig knyttet til de resultater som er oppnådd, men er i enda større grad knyttet til forskningsmiljøer som er etablert. CMA har i stor grad bidratt til å modernisere matematikkforskningen i Norge ved at aktiviteten i større grad har blitt dreid mot fagområder som har betydning for forskersamfunnet utenfor matematikkmiljøene. På grunn av teknologiutviklingen blir bruk av matematikk og modeller til å lage simuleringsverktøy en vitenskapelig metode som blir brukt i stadig nye fagområder. I dag er vanskelig å peke på noe fagområde innen

naturvitenskap og teknologi der datasimuleringer ikke spiller en vesentlig rolle. En stor del av forskningen som er gjort ved CMA omhandler metodikk som kan brukes i forbindelse med slike virtuelle eksperimenter.

CMA har også tatt initiativet til prosjektet "Computing in science education." Dette prosjektet startet opp som et internt prosjekt ved Mat. Nat. Fakultet ved UiO, og hadde som målsetting å modernisere undervisningen ved fakultetet ved hjelp av en gjennomgripene og systematisk bruk av datateknologi. Imidlertid, ved hjelp av støtte fra Kunnskapsdepartementet, er prosjektet nå utvidet til et nasjonalt prosjekt, der de alle universiteter og de fleste høyskoler i landet som driver teknologiutdanning er med.

Vi regner med at i alt 77 kandidater med doktorgrad fra CMA vil ha betydelig innvirkning på akademia og industri/næringsliv i årene fremover.

CMA har i alle sine år vært med som sponsor til www.matematikk.org, et sterkt og sentralt ressurs-nettsted for matematikk rettet mot elever, foreldre og lærere på alle trinn i norsk skole. Til sist nevner vi også at CMAs forskere har bidratt med 200 treff i media over ti år der små og store begivenheter og utfordringer i samfunnet er kommentert eller analysert.

VERDIEN AV Å VÆRE ET SFF

Omtal oppnådde resultater som ikke hadde vært mulige uten et SFF

Først og fremst har SFF-ordningen og derigjennom CMAs vedtatte forskningsplan gjort det mulig å brøyte vei for tverrfaglig forskning i våre fag. Dette var langt vanskeligere å få gehør for før SFF-ordningen åpnet dørene. Videre har vi hatt forutsigbarhet og langsiktighet i vår planlegging. Aldri tidligere har noen forskningssatsing i Norge hatt 10 års horisont med så stabil finansiering og klare rammer. I tillegg har størrelsen på satsingen vært av stor betydning. Det har blitt skapt et stort og sterkt forskerskolemiljø, noe vi er overbevist om har hatt stor betydning, både for det daglige og for det mer langsiktige.

Et annet moment er at vi har oppnådd suksess med SFF-tittelen i ryggen ifm nye prosjektsøknader, både i EU-sammenheng og i Norge. Det har helt klart vært til god hjelp å kunne benytte seg av det kvalitetsstempelen som SFF-ordningen innebærer.

Det omfattende undervisningsprosjektet "Computing in Science Education (CSE)" har hele tiden hatt base ved CMA. I 2003 var dette i sin spede begynnelse og helt avhengig av ildsjeler som brøytet ny mark hele veien. CMA har prioritert dette strategisk, men også med økonomiske bidrag og garantier i tider med usikker finansiering fra andre kilder. I dag står prosjektet sterkt på egne ben og med selvstendig finansiering, og er et lokomotiv for moderniseringen av hele den realfaglige utdanningsmodellen i Norge.

Den sterke relasjonen til Sintef Anvendt matematikk er helt klart en frukt av SFFet. Dette samarbeidet har vært verdifullt for begge parter.

På hvilke områder har senteret ikke lyktes i lys av målene for SFF-ordningen. Hvorfor?

Senteret har lyktes med svært mye og nådd sine mål. Enkelte deler av forskningsplanen har ikke blitt fulgt opp fordi andre tema har blitt prioritert. Dette er en helt naturlig dynamikk i et så stort prosjekt.

Beskriv samhandlingen mellom vertsinstitusjon og senteret, og eventuelle endringer i denn i løpet av tiårsperioden.

Vi har stort sett opplevd samarbeidet med vertsinstitusjonen godt, stabilt og forutsigbart. Vi fikk tidlig gode lokaler, noe som var svært viktig. Vi etablerte tidlig gode administrative avtaler om å benytte eksisterende

infrastruktur og eksisterende administrative og tekniske støttefunksjoner. I stedet for å ansette flere personer med disse helt nødvendige funksjonene, så har spesielt Matematisk institutt og MN-fakultetet besørget sentrale funksjoner som arkiv, personal, førstelinje, økonomi, IT-support, doktorgradsopptak og –disputaser etc. CMA har betalt dekningsbidragsmidler for disse funksjonene. Vi har hvert år rapportert at denne ordningen er kostnadseffektiv og at den gjør organisasjonen mer robust.

CMA har vært svært selvstendig mtp økonomihåndtering, egen prosjektadministrasjon og –oppfølging samt stor grad av reell selvråderett i strategiske valg og beslutninger. Vi mener dette har vært viktig for at CMA har lyktes. Allikevel har vi eksisert i godt og fredelig nærvær med Matematisk institutt. Vi tror begge enheter har evnet å pleie denne relasjonen slik at det samlede matematiske forskningsmiljø ved UiO har kommet styrket ut av disse ti årene.

Hvordan har SFF påvirket forskningsgrupper lokalt og nasjonalt med tilgrensede aktiviteter, er det for eksempel etablert samarbeid?

CMA har på mange måter vært et nasjonalt senter innen matematikk, med bl.a. deltagere gjennom bistillinger fra NTNU, UiB, NHH og SINTEF Anvendt matematikk. I tillegg har CMA arrangert nærmere 80 konferanser og workshops med til dels stor nasjonal deltagelse fra miljøene utenfor UiO. Dette har bidratt til å befeste eksisterende nasjonalt samarbeid, og til at nye samarbeidskonstellasjoner er blitt etablert. Innen differensialligninger fins det i dag, i tillegg til CMA miljøet, større miljøer både i Bergen og Trondheim. Begge miljøer har vært representert ved CMA gjennom bistillinger. Det beregningsorienterte geometrimiljøet i Norge har historisk sett hovedsakelig vært lokalisert i Oslo. I løpet av CMA perioden er imidlertid kontakten mot NTNU styrket. Kontakten mot vår samarbeidspartner SINTEF Anvendt matematikk har fungert bra i hele SFF perioden. En rekke felles prosjekter er gjennomført, både innen geometri og differensialligninger.

Gruppen for partielle differensiallikninger besto essensielt av to personer ved oppstart av CMA. I dag er denne styrket med ytterligere 3 fast ansatte internasjonalt anerkjente forskere samt flere postdocs og stipendiater, og er i dag en gruppe av høy klasse takket være mulighetene som åpnet seg ved tildelingen av SFF.

CMA har også bidratt sterkt til at miljøene innen forsikringsmatematikk og matematisk finans har blitt betydelig styrket og tettere knyttet sammen, noe som har ført til en felles seksjon i MI sin nye struktur.

I hvilken grad medførte midtveiseevalueringen endringer i forskningen?

I forbindelse med midtveiseevalueringen ble forskningsplanen revidert. Den opprinnelige planen ble oppdatert og justert på mange områder. Av større endringer nevner vi at vi innførte satsingen mot finans og energimarkeder som nå er sentralt også i den kommende 5-årsperioden. I tillegg ble det klart gjennom de første fem årene at vi kunne sette nye og langt høyere kvantitative mål for 10-årsperioden.

Vi opplevde forberedelsene til midtveiseevalueringen som svært viktig og disse ga oss en betydelig effekt. Selve evalueringen var også positiv men den ga i seg selv ikke nevneverdige effekter på de veivalg vi gjorde.

VIDERE FORSKNING OG ORGANISERING

Beskriv strategien for videreføring av senterets forskning.

I CMAs tilfelle, så vil fortsettelsen av senteret være i form av en satsing underlagt Matematisk institutt. Ved UiO har det blitt besluttet at kjernen i CMA skal jobbe videre langs de hovedlinjer som er bygd opp gjennom SFF-perioden og nye, tverrfaglige satsinger er uttalt hovedstrategi.

CMA-aktiviteten har i SFF-perioden vært bygget på følgende visjon: *"To create significant development in modern mathematics based on interplay between theory, computations, and applications"*. Denne fanen har vært holdt høyt og kjennetegnet strategiske valg. Det er naturlig å fortsette i samme ånd.

Et mål i kommende periode vil være å utnytte erfaringene, kompetansen og det gode ryktet som CMAs forskningsgrupper har oppnådd til å søke større forskningsprosjekter, både i Norge og i Europa. I tillegg er målet å videreutvikle den solide grunnforskningen som pågår innen CMAs kjerneområder; stokastisk analyse, partielle differensiallikninger og geometri. Videre er vår ambisjon å bidra sterkt til fortsatt modernisering av matematikken og dens anvendelser ved UiO, både innen forskning og utdanning. Vi planlegger også noen nye initiativ av strategisk betydning, ikke bare for matematikkmiljøet, men for UiO som helhet. Nye forskningsfelt kan medføre behov for endringer i stabssammensetningen.

Vi har besluttet å fokusere på anvendelser innen to viktige områder, matematikk for livsvitenskapene og energi- og klimaforskning. Vår overbevisning er at disse områdene representerer matematisk forskning med økende betydning i de kommende årene. Vi ser det som CMAs ansvar å ta en aktiv rolle i denne utviklingen, bl.a. ved å organisere konferanser/workshops og søke aktuelle forskningsprogrammer. Aktiviteter mot disse to områdene vil få høyeste prioritet i den nærmeste fremtid.

Har senterets forskning vært tverrfaglig? Gir dette i så fall spesielle utfordringer knyttet til videreføring av senterets forskning?

CMA har i alle 10 årene hatt tverrfaglig fokus. Vår visjon om å videreutvikle samspillet mellom teori, beregninger og anvendelser er i seg selv tverrfaglig av natur. Vi har også utdypet dette ved å definere en rekke underprosjekter der de ulike tverrfaglige miljøene har vært avhengig av hverandres kompetanse for å lykkes.

Når det gjelder utfordringer knyttet til videreføring av senterets forskning, så kan vi ikke se at det er tilfelle. Det vil være avhengig av de strategiske valg vi gjør ifm en fortsettelse. Vi opplever at SFF-perioden har gjort det lettere å drive tverrfaglig forskning, og at fremtidige initiativer vil bli verdsatt dersom det er et sterkt faglig fundament.

Beskriv strategien for videre organisering av senterets forskere - er det planer for en endring i institusjonens organisering?

CMA videreføres som en satsing ved Matematisk institutt med en virkeperiode på fem år, med mulighet for forlengelse i en periode. De miljøer som har tilhørt CMA og vært lokalisert ved Matematisk institutt vil være initialsammensetningen av et CMA2. Imidlertid er det klart uttalt at dette kan endres; noen kan trekkes ut og andre kan knyttes til. Dette avhenger av de faglige valg som gjøres.

I forbindelse med etableringen av CMA ble gruppen for beregningsorientert matematikk ved Institutt for informatikk flyttet til CMAs lokaler ved Matematisk institutt. Utviklingen siden etableringen av CMA har bare forsterket behovet for å kombinere *teoretisk matematikk* med *beregningsorientert matematikk*. I samsvar med dette har fakultetet vedtatt å flytte permanent disse fagpersoner fra Institutt for informatikk til Matematisk institutt (fem fast vitenskapelig tilsatte) for å danne en forskningsgruppe i *beregningsorientert matematikk (computational mathematics)* der. Flyttingen gjør det mulig å legge forholdene til rette for en fortsatt offensiv satsing på beregningsorientert matematikk både innen forskning og undervisning, med tett kontakt mot det øvrige matematikkmiljøet.

Innfasingen av CMA har bidratt til den helhetlige omorganiseringen og vitaliseringen av instituttet som nå er gjennomført. Det i seg selv er en gledelig konsekvens av 10 år som SFF.