

Undervisning av matematisk modellering i operasjonsanalyse – innføring av studentsentrerte modelleringsøker i forelesningene

Anders N. Gullhav, *Institutt for industriell økonomi og teknologiledelse, NTNU*

ABSTRACT: Denne teksten ble opprinnelig skrevet som en del av arbeidskravene ved å delta i NTNUs program innen utdanningsfaglig basiskompetanse høsten 2019. Teksten tar for seg utfordringer knyttet til å undervise matematisk modellering i emner innen fagfeltet operasjonsanalyse på universitetsnivå. Utfordringene belyses gjennom fire perspektiver: teori, egne erfaringer, inntrykk fra kolleger og synspunkter fra studentene. Basert på egne erfaringer og inntrykk fra kolleger utformet jeg et nytt undervisningsopplegg i høstsemesteret 2019. For å evaluere dette opplegget søkte jeg aktivt tilbakemeldinger fra studentene. Med bakgrunn i tilbakemeldingene samt teori fra vitenskapen om matematikkutdanning og publiserte råd og ideer fra andre faglærere innen operasjonsanalyse, foreslår jeg en videreutvikling av undervisningsopplegget.

1 INTRODUKSJON

Denne teksten ble skrevet som en del av min deltakelse i NTNUs program innen utdanningsfaglig basiskompetanse høsten 2019. Problemstillingen som diskuteres i denne teksten er basert på en pedagogisk utfordring jeg opplever som underviser i emnene TIØ4120 Operasjonsanalyse grunnkurs og TIØ4130 Optimeringsmetoder, som jeg underviste høsten 2019 og skal undervise høsten 2020.

Operasjonsanalyse er et fagfelt som baserer seg på å bruke matematiske modeller og beregningsmetoder for å løse ledelsesmessige beslutningsproblemer – typisk komplekse problemer som handler om å planlegge bruken av ressurser på en best mulig måte i en virksomhet. Modellene og metodene er ikke myntet på en spesiell industriell sektor, men er benyttet i mange ulike typer industri – både vareproduksjon og tjenesteproduksjon, innen offentlig virksomhet, som sykehus, og i forsvaret.

Fig. 1 gir en, noe forenklet, prosessuell beskrivelse av å gjennomføre en operasjonsanalysestudie av et problem i en virksomhet, og jeg bruker denne figuren som utgangspunkt når jeg introduserer operasjonsanalyse til nye studenter og andre. Beskrivelsen er basert på en klassisk lærebok av Hillier og Lieberman (2014). De sentrale stegene er å *definere problemet*, dvs. trekke ut de relevante elementene av en *observert* virkelig situasjon eller system, og lage tekstlig problembeskrivelse som gjerne kan understøttes av figurer som illustrer elementene og sammenhengene (f.eks. flytdiagram) i det definerte problemet. Basert på problembeskrivelsen *utvikles en matematisk modell* som formulerer problemet på en logisk og matematisk form. Typiske modellformer er optimeringsmodeller, kømodeller og simuleringmodeller. Dernest må man *utforme en løsningsalgoritme* som brukes for å analysere modellen. Ved hjelp av løsningsalgoritmen vil man *teste* modellen, både for å sjekke at modellen faktisk representerer det definerte problemet og for å foreslå en forbedret løsning, som igjen kan oversettes og *implementeres* i det observerte systemet. Det bemerkes at stegene ikke utføres én og bare én gang, men at prosessen er iterativ og tilbakevendende. Det er ikke uvanlig at problembeskrivelsen viser seg å være ufullstendig eller rett og slett feil på et senere stadium i prosessen, f.eks. i forbindelse med testing eller implementering av en ny løsning. Da er man nødt til å gå tilbake og oppdatere problembeskrivelsen, som igjen fører til at modellen og løsningsalgoritmen må oppdateres.

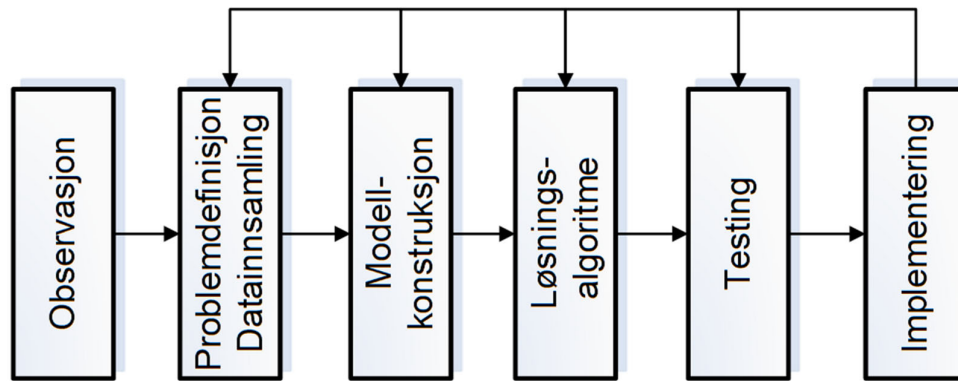


Fig. 1. Operasjonsanalyseprosessen

Undervisning i operasjonsanalyse ved NTNU foregår gjennom flere emner ved Institutt for industriell økonomi og teknologiledelse. Emnene TIØ4120 Operasjonsanalyse grunnkurs, TIØ4126 Optimering og beslutningsstøtte og TIØ4130 Optimeringsmetoder er særlig relevante for denne teksten. Innholdet i disse emnene dreier seg hovedsakelig om å lære teori om modeller og løsning av modeller, samt utvikling av modeller for problemer som er mer eller mindre klart definerte. I disse fagene møter ikke studentene så store utfordringer knyttet til selve problemdefinisjonen, men dette er noe de i større grad må håndtere i fordypningsprosjektet og masteroppgaven.

Den pedagogiske utfordringen som behandles i denne teksten handler om hvordan underviseren i en forelesningssituasjon, dvs. foreleseren, kan legge til rette for læring av matematisk modellering innen operasjonsanalyse. Mer spesifikt ønsker jeg å komme fram til måter å forbedre undervisningen i fagene nevnt i forrige avsnitt.

I neste del vil jeg gjennom en kort litteraturgjennomgang gi et innblikk i hva matematisk modellering innebærer og beskrive noen forslag til hvordan dette temaet kan undervises. Derneft vil jeg beskrive utfordringene undervisere og studenter opplever basert på egne erfaringer og synspunkter fra kolleger og studenter. Til slutt foreslår jeg en løsning som jeg ønsker å prøve ut i undervisningen høsten 2020.

2 MATEMATISK MODELLERING

Matematisk modellering er en prosess som handler om å bruke matematikk til å beskrive en virkelig situasjon, hvor resultatet av prosessen er en matematisk modell som representerer situasjonen. Stillman (2015) beskriver forskjellen mellom matematisk modellering og applikasjoner slik:

With applications the direction (mathematics \rightarrow reality) is the focus. With mathematical modelling the reverse direction (reality \rightarrow mathematics) becomes the focus. The model has to be built through idealising, specifying and mathematising the real world situation.

I min gjennomgang av operasjonsanalyseprosessen over, basert på Hillier og Lieberman (2014), ligger problemdefinisjonssteget mellom observasjonen av virkeligheten og modellkonstruksjonen. Man kan se på problemdefinisjonssteget som en måte å berede grunnen for den matematiske modellen gjennom å avgrense og idealisere virkeligheten før man introduserer matematikk. Disse to stegene er dermed tett koblet. Willemain (1995) gjorde en studie av hvordan dyktige modellere tenker og gjør underveis i modelleringen av et problem. Ved å observere modellering i praksis og få deltakerne til å hele tiden fortelle hva de gjør, finner han ut at deltakerne bruker kun 60% av tiden på modellkonstruksjon (jamfør fig. 1), mens 30% av tiden brukes på problemdefinisjon og testing. De resterende 10% ble fordelt på de andre stegene. Samtidig viser studien at deltakerne ofte flytter fokus mellom de ulike stegene gjennom prosessen, og at fokus oftest flytter seg mellom modellkonstruksjon og et annet steg.

Utfordringen undervisere møter når de skal lære bort matematisk modellering til studenter er ikke ny, og problemet er noe diskutert i faglitteratur om operasjonsanalyse. Allerede i 1967 beskrev Morris

matematisk modellering som en prosess basert på intuisjon¹, og med det omtaler Morris matematisk modellering som en kunstform. Dermed mener han også at pedagogiske problemet handler om hvordan man skal utvikle denne intuisjonen, og at et svar på dette spørsmålet vil være å skaffe seg mer erfaring gjennom imitasjon og øvelse. Han hevder at det ikke finnes en generisk oppskrift for å utvikle en modell, men mener likevel, basert på egen undervisningserfaring, at en beskrivelse av modelleringsprosessen vil spille en rolle i utdanningsprosessen.

For å forstå modelleringsprosessen foreslår Morris å skille mellom rettferdiggjøring (eng: justification) og utvikling (eng: discovery) av en modell. En modell som står beskrevet i en rapport eller en vitenskapelig publikasjon *rettferdiggjøres* ved å beskrive hvilke antagelser den bygger på og hvilke konsekvenser modellen gir gjennom eksperimenter. Denne beskrivelsen har lite med hvordan modellen ble *utviklet* i første omgang. Dermed mener Morris at å undervise modeller, ikke er det samme som å undervise modellering.

Morris presenterer tre grunnleggende hypoteser om modelleringsprosessen, som han poengterer ikke er testet. Hans første hypotese er at modellering er en prosess for berikelse eller utdypning (eng: enrichment or elaboration), ved at man starter med enkle modeller, ganske langt fra å representere virkeligheten, og utvikler stadig mer avanserte modeller som bedre reflekterer den virkelige situasjonen. Hans andre hypotese er at assosiasjon med tidligere utviklede modeller spiller en viktig rolle i å avgjøre startpunktet for denne prosessen. Hans tredje hypotese er at denne prosessen består av i hvert fall to ulike løkker: en løkke som alternerer mellom å modifisere modellen og konfrontere den mot data over problemet som modelleres; og en løkke som alternerer mellom å vurdere hvor lett modellen er å regne på og revurdere antagelsene som modellen bygger på. Hvis modellen er lett nok å analysere, kan man gjøre modellen rikere, og motsatt om modellen er for vanskelig å analysere, må man forenkle antagelsene. Utfra disse hypotesene, presenterer Morris noen retningslinjer som skal støtte studenter i deres læring av matematisk modellering. Retningslinjene oppsummeres i de følgende seks punktene.

- Splitt problemet i flere enklere deler, som kan modelleres hver for seg, før de til slutt kombineres.
- Definer målet med modellen(e), hvilket er nødvendig å vurdere hvor lett modellen er å analysere.
- Se etter likheter med andre problemer.
- Lag et spesifikt talleksempel for problemet.
- Begynn med å formulere det åpenbare, og jobb videre fra det.
- Hvis man har kommet fram til en modell som er lett å analysere, gjør den mer realistisk. Ellers, forenkle modellen.

Basert på disse retningslinjene har senere Powell (1995) presentert seks tommelfingerregler for modellering, og Pidd (1999) presentert seks prinsipper for modellering.

Utfordringene knyttet til undervisning av matematiske modellering er også studert i vitenskapen om matematikkutdanning. Basert på empiriske funn i egne prosjekter og i litteraturen for øvrig, diskuterer Blum og Ferri (2009) hvordan matematisk modellering kan læres bort, og hvilke implikasjoner det har for undervisningen. Selv om empirien i all hovedsak er fra studier gjort på elever og studenter (heretter referert til som studenter) fra barneskole til videregående skole, vil nok noe være overførbart til undervisning på universitetsnivå.

Hovedfunnene til Blum og Ferri (2009) er:

- Studenter angriper og løser modelleringsoppgaver på ulike måter, og en grunn til det tilskrives den enkeltes *matematiske tenkemåte*.
- Som oftest bruker ikke studentene problemløsningsstrategier bevisst, selv om studier viser at dette er hjelpsomt.
- Studier viser at matematisk modellering kan læres.
- Undervisere/lærere er uunnværlige i studentenes læring av matematisk modellering.

¹ med intuisjon mener forfatteren tenkning som en person ikke er i stand til eller ikke er villig til å uttrykke.

Med det siste mener forfatterne at man kan ikke bare la studentene jobbe alene med modelleringsoppgaver, men underviser må holde en rett balanse mellom undervisers veiledning (eng: guidance) og studentenes selvstendige arbeid. Videre mener forfatterne at denne balansen best oppnås gjennom at underviseren veileder studentene gjennom *strategiske intervensjoner*, som er kommentarer eller spørsmål som gir hint på et metanivå, f.eks. «hva prøver du å gjøre?», «hva mangler i modellen?», «vil resultatene fra modellen passe med virkeligheten?». Strategiske intervensjoner står i motsetning til direkte hint om hvilke elementer i modellen som mangler eller er feil. Siden studentene kan bruke ulike tenkemåter for å komme fram til en løsning mener forfatterne at det er viktig at de strategiske intervensjonene ikke er tilpasset underviserens tenkemåte og at de aksepterer at det finnes flere løsningsmåter.

Blum (2011) viser til en empirisk studie med over 600 ungdomsskoleelever i Tyskland som støtter hovedfunnene i Blum og Ferri (2009). Studien sammenlikner undervisersentrert undervisning, en mer studentsentrert form for undervisning, og et case hvor studentene jobbet helt alene. Forfatterne beskriver de viktigste retningslinjene for den undervisersentrerte undervisningen slik (oversatt til norsk):

- Utvikling av mønstre for problemløsning av underviseren (dvs. underviseren viser hvordan et problem kan modelleres gjennom diskusjon med studentene).
- Systematiske bytter mellom undervisning i plenum, orientert mot den typiske student, og studenters individuelle arbeid med oppgaver.

Mens forfatterne beskriver de viktigste retningslinjene for den mer studentsentrerte undervisningen slik (oversatt til norsk):

- Undervisning med mål om studentenes aktive og selvstendige kunnskapsutvikling, hvilket innebar å finne den rette balansen mellom undervisers veiledning og studentenes selvstendige arbeid. Dette gjøres gjennom at underviser først bruker strategiske intervensjoner før eventuelle mer direkte hint.
- Systematiske bytter mellom selvstendig arbeid i grupper (støttet av underviseren) og aktiviteter i plenum (for sammenlikning av løsninger og refleksjoner).

Resultatene viste at studentene med den undervisersentrerte og studentsentrerte undervisningen grupper gjorde signifikante fremskritt i løsning av modelleringsoppgaver, i motsetning til studentene som jobbet alene. Men forskjellen i fremskritt mellom de som fikk undervisersentrerte og studentsentrerte undervisning var også signifikant, og i retning av den studentsentrerte metoden. Men Blum (2011) peker også på forbedringspotensial i den studentsentrerte undervisningen ved blant annet å inkludere mer undervisersentrerte faser i starten.

3 UTFORDRINGER FOR STUDENTER OG UNDERVISERE

I forrige del gjennomgikk jeg noe teori om undervisning av matematisk modellering. I denne delen forsøker jeg å belyse utfordringen gjennom tre andre perspektiver: studentenes synspunkt, kollegers inntrykk og egen erfaring (Brookfield, 2017, kapittel 4). Dette gir et grunnlag til å utforme et opplegg for emner i operasjonsanalyse som bedre legger til rette for læring av matematisk modellering i en forelesningssituasjon.

3.1 Egne erfaringer

Jeg har selv undervist introduksjonsemner og masteremner i operasjonsanalyse siden 2013, og av alle temaene jeg har undervist er matematisk modellering det jeg syns er mest utfordrende. Ikke fordi det er kompleks teori og matematikk, men fordi dette er et tema som krever intuisjon, noe man opparbeider gjennom erfaring og øvelse - ikke kun gjennom å lese teori. Gjennom forelesning og fra å lese eksamensbesvarelser er min opplevelse også at studentene sliter med dette temaet år etter år.

Fra min egen erfaring både som student og foreleser i emner med over 100 studenter, brukes to ulike, komplementære, tilnæringsmåter til å lære studentene matematisk modellering. Den første tilnærmingen foregår i forelesningssituasjon hvor underviseren gjennomgår eksempler på tavle, dokumentkamera eller powerpoint. Den andre tilnærmingen er at studentene gjør øvinger og prosjektoppgaver, alene eller i grupper. Denne teksten begrenser seg til å diskutere undervisning av matematisk modellering i en forelesningssituasjon, fordi jeg mener at det er denne tilnæringsmåten som har størst potensial for forbedring.

Eksemplene som brukes i forelesning er forenklinger av industrielle case hvor det blir presentert en form for problembeskrivelse som man skal sette opp en matematisk modell for. Problembeskrivelsen er oftest en idealisert beskrivelse av et virkelig beslutningsproblem. Deretter går foreleser stegvis igjennom en matematisk modell som representerer problemet, ved å først introdusere modellens grunnleggende elementer, som mengder, parametere og variabler. Deretter presenteres og diskuteres (forsøksvis) relasjonene mellom variablene, dvs. restriksjonen og målfunksjonen. Under en slik stegvis gjennomgang, hvor jeg forsøker å få til noe diskusjon ved å stille spørsmål til salen, opplever jeg som oftest at studentene forblir passive, noe som jeg tolker som enten at studentene er uinteressert eller har falt av. Jeg tror studentene hadde hatt bedre utbytte av eksemplene om gjennomgangen av eksemplene hadde blitt mer studentdrevet og krevd at de var mer aktive.

I mine øyne er matematisk modellering den delen av emnet hvor det er størst rom for refleksjon, ved at flere ulike modeller kan være «riktig», men hvor en modell kan være bedre enn andre. Sånn sett kunne jeg ønsket meg å skape større rom for refleksjon, noe som igjen vil kreve et mer studentaktivt opplegg i forelesningene.

3.2 Kollegers inntrykk

Jeg har innhentet synspunkter fra andre vitenskapelige ansatte innen samme fagområde, hvor målet først og fremst har vært å forsøke å skaffe meg en bedre forståelse av hvorfor matematisk modellering er vanskelig for studentene, men samtidig prøve å få råd om hvordan forelesningen av dette kan forbedres.

Mine kolleger bekrefter mitt inntrykk av at matematisk modellering er noe studentene sliter med år etter år. De påpeker at matematisk modellering er tema som krever modning, noe som forsøksvis kan løses ved at studentene ser mange ulike eksempler som de kan lære fra. En kollega hadde diskutert denne tematikken med en av de største professorene innen vårt fagfelt, og han hadde fortalte at han gikk igjennom mange eksempler i forelesningene.

En annen kollega mener matematiske modellering er utfordrende fordi det finnes ingen klar metode eller oppskrift for å utvikle en modell for et problem. Selve prosessen kan derfor oppleves abstrakt. I fraværet av en klar metode, er det typisk at studentene ikke vet helt hvor dem skal begynne, og at de prøver å modellere flere relasjoner samtidig. Denne kollegaen mener man må få studentene til bryte ned problemet i dets minste bestanddeler, som deretter kan håndteres en etter en. For et optimeringsproblem vil disse minste bestanddelene typisk være de ulike mengdene, parameterne, variablene, samt restriksjonstypene og målfunksjonen.

3.3 Studentenes synspunkt

I løpet av høsten 2019 samlet jeg inn noen synspunkter fra studentene i *TIØ4130 Optimeringsmetoder*. Innsamlingen foregikk gjennom nettsiden *padlet.com* hvor jeg hadde stilt noen åpne spørsmål relatert til matematisk modellering, og studentene besvarte anonymt. Jeg fikk dessverre ikke mange svar, men synspunktene er likevel verdifulle.

I løpet høstsemesteret 2019, samtidig som jeg deltok på første del av kurset i *Utdanningsfaglig basiskompetanse*, testet jeg en alternativ måte å gjennomgå eksempler på i forelesning om matematisk modellering. Kort beskrevet la jeg inn flere intervaller i modelleringsøkta hvor studentene fikk tid til å diskutere, reflektere og modellere i par på to og to studenter. Dette opplegget er ytterligere beskrevet i neste del. Ideelt sett tror jeg studentene burde jobbet i grupper på 4 til 6, men siden undervisningen foregikk i et auditorium med over 200 plasser var det ikke praktisk mulig.

Jeg stilte først studentene spørsmål om hva de syntes var utfordrende med matematisk modellering. Av over 100 potensielle studenter, fikk jeg kun to svar. En pekte på at det sjeldent er intuitivt å lese og forstå modeller med mange parametere, variabler og komplekse relasjoner, og at å formulere slike modeller er utfordrende. Det andre innspillet pekte på den samme utfordringen, men poengterte også at det å skille en god modell fra en dårlig modell er vanskelig.

Jeg ba også om deres synspunkter på hvordan matematisk modellering burde undervises i dette emnet, og om tilbakemeldinger på den alternative måten å gjennomgå eksempler på. Denne alternative måten kunne de kontrastere med tidligere forelesninger i samme kurs. Jeg fikk tilbakemeldinger om at tiden til diskusjon og refleksjon var nyttig ved at man fikk bedre tid til å forstå problemet, og se tilbake på likheter med eksempler fra tidligere forelesninger. Det påpekes også at det å få noe tid til å selv prøve å modellere problemet før modellen diskuteres i plenum gir et ekstra læringsutbytte. Samtidig fikk jeg

også en tilbakemelding med et ønske om å heller bruke tiden utenfor forelesning til diskusjon, enn i forelesningen.

4 PROSJEKTIDÉ: INNFØRING AV STUDENTSENTRETE MODELLERINGSØKTER I FORELESNINGENE

I denne delen vil jeg legge fram mine ideer for hvordan jeg ønsker å undervise matematisk modellering i forelesningene i emnene *TIØ4120 Operasjonsanalyse grunnkurs* og *TIØ4130 Optimeringsmetoder* høsten 2020. Dette opplegget er basert på ideer jeg testet ut i enkelte forelesninger høsten 2019, og jeg vil derfor først beskrive disse.

Hovedideen bak opplegget høsten 2019 var å aktivisere studentene mer i forelesninger om matematiske modellering enn hva som hadde vært tilfellet i min undervisning tidligere. Med det mener jeg at studentene skulle få bruke tid i forelesningen til å modellere selv, diskutere med medstudenter, og reflektere over modelleringsvalg.

Høsten 2019 introduserte jeg mer studentsentrerte modelleringsøkter ved to anledninger. Strukturen på disse øktene var omtrent som følger:

- Et case presenteres på projektor i plenum.
- Studentene får i oppdrag å identifisere noen av casets minste bestanddeler gjennom å diskutere i par.
- Diskusjon av studentens løsninger i plenum.
- Studentene får i oppdrag jobbe videre med å utvikle en matematisk modell for caset i samme par basert på det tidligere arbeidet og plenumsdiskusjonen.
- Diskusjon av studentenes løsninger i plenum.

Hensikten med å dele økten i to diskusjonsdeler var for å få fram nytten ved å først prøve å identifisere de minste bestanddelene, og ha en plenumsdiskusjon rundt denne prosessen. På grunn av mange studentpar var det ikke mulig for meg å diskutere med alle parene mens de arbeidet, slik at det å dele opp økten var en måte å få intervensjon med studentenes underveis i modelleringen.

Dersom jeg knytter den tidligere måten å gjennomgå modelleringsoppgaver på opp mot teorien presentert tidligere, kan man kanskje si at jeg tidligere heller har undervist modeller, enn modellering (Morris, 1967). Selv om jeg syntes at det nye opplegget skapte mer aktivitet og noe mer diskusjon i plenum og jeg stort sett fikk positive tilbakemeldinger fra studentene, syntes jeg ikke at responsen og diskusjon var helt som ventet. Mange av studentene valgte å jobbe alene selv om jeg instruerte dem å jobbe i par, og det var fortsatt ikke mange som ønsket å legge fram sine tanker i plenum.

For høsten 2020 ønsker jeg å videreutvikle modelleringsøktene basert på tilbakemeldingene fra studentene og rådene som finnes i litteraturen. Da dette arbeidet ble påbegynt høsten 2019 kunne ingen ane hvordan COVID-19 skulle påvirke undervisningen høsten 2020. Alle emnene jeg foreleser høsten 2020 har kun digitale forelesninger. Digitale forelesninger gir både utfordringer og muligheter – vi kan ikke forelese på samme måte som før noe som gir merarbeid, men vi tvinges samtidig til å prøve nye ting som kan forbedre undervisningen i det lengre løp. I mine emner kommer jeg til å spille inn forelesninger på forhånd, og bruke noen av de timeplanlagte digitale forelesningene til gruppeoppgaver og mer studentsentrerte aktivitet. Modelleringsøktene synes å passe fint inn i disse digitale forelesningene, selv om jeg tror fysiske møter ville gitt enda større læringsutbytte.

Planen for høsten 2020 er å strukturere modelleringsøktene på følgende måte:

- Gjennomgang av utvalgte retningslinjer og tommelfingerregler for modellering, basert på Morris (1967), Powell (1995) og Pidd (1999).
- Et case presenteres for studentene (over Blackboard collaborate) i plenum.
- Studentene deles inn i *Break-out groups* på 4 til 8 personer for å strukturere problemet og utvikle en matematisk modell.
- Underveis i gruppearbeidet vil jeg besøke gruppene og ved behov forsøke å komme med strategiske intervensjoner.
- Gruppene samles igjen til en plenumsdiskusjon om gruppens løsninger, og refleksjoner omkring modelleringsvalg.

Hensikten med å først ta en gjennomgang av noen av retningslinjene og tommelfingerreglene som finnes i litteraturen er å sette enda større fokus på selve modelleringsprosessen, og spesielt få dem til å bryte ned problemet i mindre deler, å se etter likheter med andre problemer, og starte med en enkel modell som kan berikes og utvides.

En annen endring fra gjennomføringen i fjor er at jeg i år kan ha større grupper siden jeg nå ikke er bundet av layouten i et auditorium. Basert på antall studenter til stede vil jeg opprette et håndterlig antall grupper i Blackboard collaborate, og med håndterlig mener jeg at jeg ønsker å ha tid til å besøke alle gruppene en gang i løpet av gruppearbeidet. Basert på rådene til Blum og Ferri (2009) og Blum (2011) om å finne en balanse mellom undervisers veiledning og studentenes selvstendige arbeid, ønsker jeg å fokusere på å kunne gi veiledning i gruppearbeidet gjennom strategiske intervensjoner framfor direkte hint.

Avslutningsvis vil jeg forsøke å få til en plenumsdiskusjon der studentene forhåpentligvis har litt ulike svar. Når studentene nå mer eller mindre blir tvunget til å jobbe sammen i grupper (gruppetildelingen skjer automatisk av Blackboard collaborate), skaper det forhåpentligvis bedre diskusjon i gruppearbeidet, noe jeg igjen håper vil gjøre at plenumsdiskusjonen er enklere å få i gang. At jeg besøker gruppene underveis i arbeidet vil kanskje også skape en ekstra trygghet for studentene som gjør at de tør å bidra i plenumsdiskusjonen.

REFERANSER

- Blum, W. (2011), Can modelling be taught and learnt? Some answers from empirical research. *Trends in teaching and learning of mathematical modelling*, pp. 15–30. Springer.
- Blum W. og Ferri, R.B. (2009), Mathematical modelling: Can it be taught and learnt? *Journal of mathematical modelling and application*, Vol. 1, No. 1, pp. 45–58.
- Brookfield, S.D. (2017), *Becoming a critically reflective teacher*. John Wiley & Sons.
- Hillier, F.S. og Lieberman, G.J. (2014), *Introduction to Operations Research*. McGraw-Hill, New York, NY, USA, 10. utgave, 2014.
- Morris, W.T. (1967), On the art of modeling. *Management Science*, Vol. 13, No. 12, pp. B-707–B-717.
- Pidd, M. (1999), Just modeling through: A rough guide to modeling. *INFORMS Journal on Applied Analytics*, Vol. 29, No. 2, pp. 118–132.
- Powell, S.G. (1995), The teachers' forum: Six key modeling heuristics. *INFORMS Journal on Applied Analytics*, Vol. 25, No. 4, pp. 114–125.
- Stillman, G.A. (2015), Applications and modelling research in secondary classrooms: What have we learnt? *Selected regular lectures from the 12th International Congress on Mathematical Education*, pp. 791–805. Springer.
- Willemain, T.R. (1995), Model formulation: What experts think about and when. *Operations Research*, Vol. 43, No. 6, pp. 916–932.