



Sjøkrigsskolen

Bacheloroppgave

3D modellering for tekniske kadetter
– Et utdanningsforslag –

av

Thunold, Sondre Horgen

Lvert som en del av kravet til graden:

BACHELOR I MILITÆRE STUDIER MED FORDYPNING I MASKIN

Innlevert: Mai 2019

Godkjent for offentlig publisering

Publiseringsavtale

En avtale om elektronisk publisering av prosjektoppgave

Kadetten har opphavsrett til oppgaven, inkludert rettighetene til å publisere den.

Alle oppgaver som oppfyller kravene til publisering vil bli registrert og publisert i Bibsys Brage når kadetten(ene) har godkjent publisering.

Oppgaver som er graderte eller begrenset av en inngått avtale vil ikke bli publisert.

Jeg(Vi) gir herved Sjøkrigsskolen rett til å gjøre denne oppgaven tilgjengelig elektronisk, gratis og uten kostnader	<input checked="" type="checkbox"/> Ja	<input type="checkbox"/> Nei
Finnes det en avtale om forsinket eller kun intern publisering? (Utfyllende opplysninger må fylles ut)	<input type="checkbox"/> Ja	<input checked="" type="checkbox"/> Nei
Hvis ja: kan oppgaven publiseres elektronisk når embargoperioden utløper?	<input type="checkbox"/> Ja	<input type="checkbox"/> Nei

Plagiaterklæring

Jeg (Vi) erklærer herved at oppgaven er mitt eget arbeid og med bruk av riktig kildehenvisning. Jeg (Vi) har ikke nyttet annen hjelp enn det som er beskrevet i oppgaven.

Jeg (Vi) er klar over at brudd på dette vil føre til avvisning av oppgaven.

Dato: 16-11-2018

Sondre H Thunold
Kadett navn

Kadett, signatur

Forord

Min motivasjon for å skrive denne bacheloroppgaven er både basert på samtaler med fagfolk, og personlige erfaringer. På den ene siden har jeg snakket en del med en god venn, Jarle, fra den sivile industrien som har vist meg viktigheten og relevansen av 3D modellering som et verktøy i hverdagen. På den andre siden har jeg stilt meg kritisk til mengden og kvaliteten på den eksisterende utdanningen innen feltet ved Sjøkrigsskolen. Etter å ha gjennomført en kompleks konstruksjonsoppgave der ingen i klassen fikk modellen til å fungere, ble jeg frustrert på mangelen på fokus på dette området og ønsket å gjøre noe for fremtidens kadetter. Jeg håper med denne oppgaven å inspirere kadettene til å bruke modelleringsprogramvare i sitt arbeid på skolebenken, på verksted og ute i sine fremtidige avdelinger, og kanskje til og med noen lærere kan bruke det til å eksemplifiserer i undervisningen.

Jeg vil spesielt takke min veileder og lærer Gisle Strand, som først og fremst har inspirert meg til å følge livet som ingeniør og ha et teknisk fokus, og selvfølgelig for støtten i skrivingen av denne oppgaven. Jeg ønsker også å takke Hassan Momeni fra Høyskolen på Vestlandet som har gitt meg tilgang til ressurser knyttet til faget han underviser. Det var godt å kunne se en «fasit» på hvordan et 10 studiepoeng fag på dette emnet kan se ut, samt tillatelsen til å bruke noen eksempeloppgaver han har laget i mitt eget forslag til undervisning. Sist vil jeg takke Jarle som er min venn fra det sivile, hans erfaring fra å ha drevet med dette tema siden 80-tallet har bygd på mange gode diskusjoner på hva som er viktig å ha i fokus, og virkelig overbevist meg om at dette er et tema for fokus i fremtiden som alle ingeniører bør prioritere.

Denne oppgaven skrives i hovedsak for lærere og ledelse ved Sjøkrigsskolen, og den vedlagte selvstudiemappen skrives for tekniske kadetter her ved skolen. Ledelsen på skolen, og da spesielt ledelsen i teknisk avdeling, håper jeg vil bruke mitt arbeid for å kunne utvikle dette konseptet videre og tilpasse det til et endrende studieløp. (Jeg vil anbefale at kadettene ved skolen får en muntlig innføring) Kadettene ved skolen anbefaler jeg at får en muntlig innføring i denne delen av deres utdanning og deretter blir tildelt Utdanningskompendiet

Bergen, Sjøkrigsskolen, 20-05-2019

(Signatur)

Oppgaveformulering (kopi fra oppgaveark)

Problemstilling:

Modellering, analyse og dokumentering i 3D er område som stadig vokser i omfang og viktighet. På SKSK får maskinkadettene iht. studieplan noe utdanningen innenfor tema CAD (computer aided design). Denne delen av utdanningen har en del forbedringspotensial sett opp mot fremtidens behov og anbefalt kunnskap av Forsvarets ingeniører. En utfordring er å lage et utdanningsopplegg som gir et visst nivå innen kunnskap og ferdigheter uten ekstra kostnader og innenfor den begrensede tiden som er tilgjengelig. Opplegget bør vektlegge de konstruksjonsmessige sider som kadettene vil få kjennskap til.

Oppgave:

Kadetten skal gjennom 3D konstruksjon og analyse av en enkel en-sylindret trykkluftmotor lage et undervisningsopplegg hvor motoren inngår. Kadetten skal ved hjelp av programvaren optimalisere en eller flere av de belastede delene. Konstruksjonen skal ta hensyn til de produksjonsmessige forhold som maskinkadetter blir kjent med gjennom sin praktiske opplæring.

Sammendrag

Modellering, analyse og dokumentering i 3D er område som stadig vokser i omfang og viktighet. Dette er tema som for de nye kadettene er eksplisitt dekket i faget maskin konstruksjon. Denne delen av utdanningen har forbedringspotensial både i innhold og spesielt gjennomføring. Problemstillingen er å lage et utdanningsopplegg som gir et visst nivå innen kunnskap og ferdigheter uten ekstra kostnader, innenfor den begrensede tiden som er tilgjengelig. Opplegget bør vektlegge de konstruksjonsmessige sider som kadettene vil få kjennskap til. Dette skal gjøres ved å lage et undervisningsopplegg hvor en en-sylindret trykkluftmotors konstruksjon og analyse inngår. Dette opplegget skal testes allerede på de tekniske-kadettene som skal på verkstedso pplæring i Horten etter sommeren 2019. Budskapet er enkelt nok, 3D modellering er viktig og siden dette er en del av fagplan burde kadetten ha en grunnleggende forståelse av temaet. Et mål jeg mener ikke blir oppfylt i dag.

Etter å ha iverksatt eget selvstudie der jeg har benyttet meg av en rekke fagbøker, artikler, videoleksjoner og samtaler med faglærere eller fagfolk, fant jeg at jeg (fikk best læringsutbytte) lærte best ved å følge videoforelesninger med en praktisk vinkling. Denne «learning by doing»-metoden fungerte godt for meg og senere ble vist til å være en del av basisen til faget på høyskolen baserte jeg undervisningsopplegget på denne metoden.

Utdanningskompendiet som deles ut til kadettene er en selvstudieplan som de kan følge i eget tempo. Det gjøres best i forkant av, eller parallelt med, den praktiske utdanningen ved verkstedkurs.

Ved å følge denne planen vil kadettene tilegne seg grunnleggende kunnskaper og ferdigheter i 3D modellering som vil gi kadetten et godt grunnlag for videre utvikling av, ikke bare CAD ferdigheter, men også praktisk tekning og hensyn ved produksjonsmessige forhold.

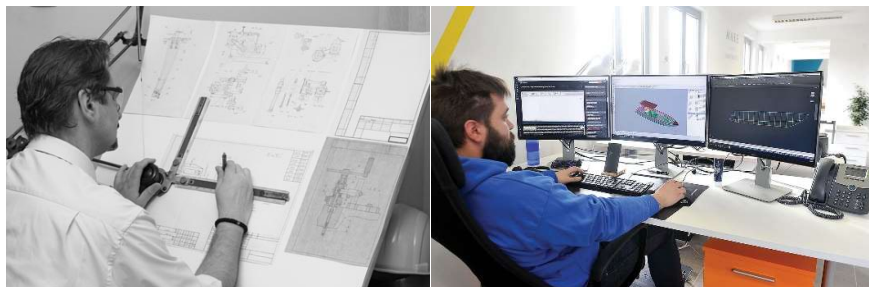
Ved innføring av dette kompendiet anbefaler jeg en kort verbal innføring for kadettene og et krav om å minimum fullføre lufttrykk motor konstruksjonen. Dette vil ta noe mer av fritiden til kadettene slik det er satt opp nå, men jeg håper også at dette vil legge noe press på lærerne i noen fag til å implementere det mer i undervisningen.

Innholdsfortegnelse

1	Innledning	7
1.1	Bakgrunn.....	7
1.2	Begrensninger	8
1.3	Problemstilling	9
2	Teori	10
2.1	Hva er CAD	10
2.2	Pedagogikk.....	10
2.3	Optimalisering.....	11
2.4	Fremgangsmetode	11
3	Analyse	13
3.1	Definisjon av begrensninger	13
3.1.1	Visst nivå innen kunnskap og ferdighet	13
3.1.2	Kostnader	14
3.1.3	Konstruksjonsmessige forhold.....	16
3.1.4	Programvaren	16
3.1.5	Trykkluftmotor.....	16
3.2	Utdanningskompendiet.....	17
3.2.1	Format.....	17
3.2.2	Innhold.....	18
3.3	Implementering	19
3.4	Analyse og optimalisering av motor.....	20
4	Drøfting	26
4.1	Krav	26
4.2	Undervisningsopplegget	26
4.3	Nødvendighet	27
4.4	Optimalisering.....	28
5	Konklusjon	29
5.1	Undervisningsopplegget	29
5.2	Optimalisering.....	30
6	Referanser	31
7	Vedlegg	34
7.1	Utdanningskompendiet.....	34
7.2	Utrekninger for optimalisering.....	34

1 Innledning

Computer aided design (CAD), eller 3D modellering som denne oppgaven ser på, er ingenting nytt. CAD har sin start allerede på 40- og 50-tallet da enkle datamaskiner og human machine interface (HMI) kunne vise og manipulere komplekse former. 3D modellering slik vi kjenner og bruker det den dag i dag startet på midten av 80-tallet og har vokst i bruk og viktighet siden. Dette kan sees i arbeidslivet ved at fag som Teknisk Tegning har gått fra å bruke papir, blyant og tegnebord, til datamaskiner og programvare for 3D modellering.



Bilde 1-2: På bildet til venstre er en ingeniør på 80tallet som håndterer en teknisk tegning. Avdelinger med slike fagfolk var normal i de fleste ingeniørbedrifter også i forsvaret. Her ble det tegnet tegner opp til flere kvadratmeter store. Til høyre på bilde 2 kan vi se en mer moderne løsning med en ingeniør som bruker CAD programvare til å konstruere en hel båt kun med hjelp av datautstyr.

1.1 Bakgrunn

Bakgrunnen for å lage en oppgave på dette tema er todelt.

Først er skolens behov. Det er at 3D modellering er et del-emne i fag som vi som ingeniører skal lære. Dette ble for mitt kull gjennomgått ved bruk av minimal tid og oppfølging som belyste et stort gap mellom hva lærerplanen sier og hva kadettene faktisk sitter igjen med. Behovet for en bedre gjennomgang av dette tema fremmes av både kadetter og lærere ved skolen.

Den andre grunnen til hvorfor jeg ønsket å se på denne oppgaven er mine egne interesser. Jeg har noen venner i ingeniørmiljøet som jobber mye med 3D modellering og det virker som en spennende og et veldig aktuelt fagfelt. Den minimale introduksjonen til tema jeg har fått på skolen har i grunn gitt meg en frustrasjon som jeg har snudd til et positivt ønske

om å lære meg selv og, sikre at fremtidens kadetter også kan lære det som kreves i dette fascinerende emne.

Jeg håper med denne oppgaven å oppnå en generelt økt kompetanse blant kadetter, samt gi skolen et utgangspunkt for å videre utvikle og prioritere utdanning på dette i fremtiden.

1.2 Begrensninger

I henhold til oppgaveformuleringen inneholder denne oppgaven en del begrensninger som setter rammene for gjennomføringen og produktene som skal produseres.

Kadettene som gjennomfører utdanningsopplegget skal oppnå et visst nivå innen kunnskap og ferdigheter i 3D modellering.

Implementering og gjennomføring av kompendiet skal ikke kreve ekstra kostnader av skolen.

Gjennomføringen av kompendiet skal kunne gjøres innenfor kadettene begrensede tilgjengelige tid.

Utdanningsopplegget skal vektlegge de konstruksjonsmessige sider/forhold kadettene får kjennskap til.

Jeg skal gjennomføre 3D konstruksjon og analyse av en enkel en-sylindret trykkluftmotor.

Jeg skal lage et utdanningskompendium der motoren inngår.

Jeg skal optimalisere en eller flere belastede deler ved hjelp av programvaren.

Gjennomføring av opplegget bør ikke være demotiverende for kadettene og bør ikke oppleves som en byrde.

1.3 Problemstilling

Jeg skal lage et utdanningskompendium for fremtidige ingeniørkadetter ved Sjøkrigsskolen på tema 3D modellering. Dette kompendiet skal tilstrebe å ikke være demotiverende for kadettene, skal vektlegge konstruksjonsmessige forhold, skal gjøres med respekt for kadettene begrensede tilgjengelige tid og uten ekstra kostnader til skolen. Viktigst av alt skal kompendiet gi kadettene et visst kunnskaps og ferdighetsnivå innen tema.

Jeg skal også konstruere, analysere og optimalisere en enkel en-sylindret trykkluftmotor som skal inngå i undervisningsopplegget.

2 Teori

2.1 Hva er CAD

CAD eller computer aided design er et samlebegrep for å benytte støtten av datamaskiner til å gjøre utregninger, design eller optimalisering av et prosjekt. For denne oppgaven er det den mer moderne bruken som kom på 80-tallet der ingeniører kan bruke en datamaskin med et forholdsvis enkelt brukergrensesnitt til å konstruere og teste deler eller prosjekter samt dokumentere, som er ment. (Wikipedia, 2019)



Bilde 3-4: På bilde 1 til venstre kan vi se en ingeniør som benytter noe av det første CAD utstyret som ble utviklet til interaktiv design på 60-tallet. Dette krevde store maskiner og kunne kun produsere enkle deler eller konstruksjoner. Til høyre kan vi se en moderne løsning med programvare som er kompatibel med flere datasystemer og store prosjekter.

2.2 Pedagogikk

Den pedagogiske vinklingen på utdanningsopplegget er lagt opp etter egne erfaringer og kunnskap tilegnet fra seminar på skolen og lærere jeg ser opp til. Denne vinklingen er gjort både for å begrense oppgaven og unngå et dypdykk i pedagogiske metoder, og for å øke betydningen av min egen utvikling og læring som ledet til 3D konstruksjonen av motoren. Som kadett selv har jeg innsikt i hva som kan virke motiverende og hva som er realistisk å kreve av en kadett. Utdanningskompendiet skal tilstrebe å være motiverende og gi et akseptabelt kunnskapsnivå til selv de kadettene som gjør absolutt minst innsats. Det skal også gi et høyere nivå og godt grunnlag for videre læring for de som velger å fullføre opplegget i sin helhet, eller bygge videre med egne prosjekter.

2.3 Optimalisering

Fra det store norske leksikon kan får vi definisjonen av ordet optimalisere:

«Optimalisere er å gjøre så god som mulig, å bringe en prosess eller et system til et optimum under de betingelsene som er gitt.» (Store Norske Leksikon, 2018)

Systemet som skal bringes til et optimum i denne oppgaven er to utvalgte og utsatte deler av en trykklufts motor som kadettene skal konstruere ved sitt verkstedkurs i FLO Horten. Prosessen som man kan forbedre er generell for industrien når en snakker om optimalisering, kostnaden av produktet. For en produsent av et produkt er det viktig å kunne bruke minst penger på innkjøp og produksjon slik at man kan tjene mest mulig penger ved salg til en kunde, eller oppnå et bedre produkt til den samme prisen. Dette produktet, altså trykkluft motoren skal ikke selges, men kadettene vil ha begrenset med tid og materialer tilgjengelig og gruppen som produserer den beste motoren vil få heder og ære.

Generelt med motorer vil den si å være mer optimal dersom den gir høyere ytelse med samme drivstoff, den kan veie mindre (spesielt viktig i racing), eller den kan kreve mindre kostnad (gjørne penger, arbeidstid eller spesialutstyr) å produsere.

I denne oppgaven, og de delene som skal fokuseres på er det optimalisering av dimensjoneringen av materialer som er i fokus. Med en dimensjonering som er mer egnet til kreftene delene er utsatt for vil man kunne optimalisere vekt, effekt og eventuelt sikkerhet av motoren.

2.4 Fremgangsmetode

Fremgangsmetoden for både min egen konstruksjon og analyse av motoren samt konstruksjonen av undervisningsopplegget baserer seg på mye av det samme. Metodene brukt kan sies, å være kvalitative. For å iverksette oppgaven var det et behov for informasjon om hva SolidWorks (SW) var og hvordan man kan bruke det til å lage det jeg ønsker. Her startet jeg med ekstensive undersøkelser for å se med flest mulig mennesker og kilder, på papir og nett for å hente informasjon. Etter den generelle informasjonsinnhentingen var intensjon å være intensiv i alle variablene i den ene programvaren (som er) brukt. Dette strider mot bokens forslag til design-triangulering der jeg har gått i bredden for å se hvor det er informasjon, for så å bruke den til å gå i dybden på stoffet (Jacobsen 2005, 100). En oppsummering av kvalitetene med oppgaven som gjør at et kvalitativt design er mest ønskelig er; at jeg ved starten av undersøkelsen hadde lite kunnskap om

det jeg forsket på, jeg ønsket fleksibilitet i datainnsamlingen, og jeg ønsket å finne innholdet med dybde og forståelse i det som ble sett på. Når det kommer til dataen samlet er dette gjerne primærkilder i form av intervjuer eller skriv, men ettersom SW er et system, og jeg ikke har snakket direkte med noen av produsentene, kan det tolkes til at alle kilder er sekundærkilder (Jacobsen 2005, 137).

Det åpne individuelle intervjuet er en av hoved metodene som er benyttet. Her er det et fokus på et helt åpent intervju som blir foretatt enten ansikt til ansikt eller via telefon. Her kan jeg risikere å bruke mye tid og at jeg ikke får de direkte svarene jeg ønsker. Dette er en risiko som må veies mot den generelle innsikten det kan gi. De personlige meningene og metodene som personene selv har kommet med vil bli sett som primærdata, men innsikten i funksjonene i programvaren som er lærte ferdigheter vil jeg anse som sekundærdata (Jacobsen 2005, 142).

Dokumentundersøkelser er den andre store metoden brukt i denne oppgaven. Her er det ment bruken av mange typer data, som lærebøker, artikler på nett og til og med diskusjoner og rangeringer på forum på nett. Underlagt denne metoden vil jeg også legge videoer som er allment tilgjengelig da dette er kilder jeg selv ikke har laget eller fremprovosert, men heller ser til andre sitt arbeid for å fremhente den dataen (Jacobsen 2005, 163).

Generelt har utvalget av datainnsamling blitt gjort med snøball metoden der en kilde ofte har ledet til den neste. Dette kan føre til bruken av mange kilder, men med et naturlig frafall av personer eller institusjoner som ikke ønsker å uttale seg eller kilder kun tilgjengelig mot betaling har kildegruppen forholdt seg en håndterbar størrelse (Jacobsen 2005, 175).

3 Analyse

3.1 Definisjon av begrensninger

3.1.1 Visst nivå innen kunnskap og ferdighet

For å kunne bestemme hva som ville være et tilfredsstillende nivå på kadettene kunnskap og ferdigheter ville jeg vite hvor hjemmelen for denne undervisningen ligger og hvilken andre eller overordnede mål som blir stilt ellers. I forskriftene om rammeplan for ingeniørutdanning (FRI) fra kunnskapsdepartementet står det under punktet kunnskap: «kandidaten har kunnskap om teknologiutvikling, (...) og bruken av teknologi (...) Kandidaten kjenner til (...) relevante metoder og arbeidsmåter innenfor ingeniørfaget.» (FRI 2018,2) Dette spisses videre inn mot CAD under punktet ferdigheter der det står «Kandidaten har kunnskap om faglig relevant programvare og har bred ingeniørfaglig digital kompetanse.»(FRI 2018, 2) Studieplanen for mariningeniører ved SKSK er utarbeidet i henhold til denne rammeplanen og der står det under overskriften ferdigheter «arbeide i relevante ... digitale laboratorier og verksteder og beherske metoder og verktøy ...» (Studieplan marineingeniør 2018) videre står det i punkt 11 under ferdigheter «bruke kunnskap om faglig relevant programvare og har bred ingeniørfaglig digital kompetanse» (Studieplan marineingeniør 2018). Med denne basisen av styrende dokumenter har det blitt laget emneplaner. Faget som direkte inneholder temaet vi skal vurdere i denne oppgaven er ING3311 Maskinkonstruksjon og materiallære. I emneplanen til dette faget står det at «data-assistert tegne og konstruksjonsverktøy (SolidWorks)» er et av de faglige innholdene som dekkes. Videre kan vi se at under læringsutbytte og ferdigheter står det «etter fullført emne kan kadetten: nytte dataverktøy for framstilling av tekniske tegninger i 2D og 3D format ...». Her kan vi se at kadettene ved skolen er ment å lære 3D modellering, men det er ikke eksplisitt forklart hvilke læringsmål som inngår i akkurat dette tema. (Emneplan ING3311 2018)

For å utvide søket har jeg sett på emneplanen til faget MAS101 3D-Modellering og elementmetode ved Høgskolen på Vestlandet holdt av Førsteamanuensis Hassan Momeni. Denne planen er veldig relevant for hva som kan være læringsutbytte på dette tema, men må tas hensyn til at dette er et 10 studiepoeng fag med en lærer med så mye som 12 skoletimer i uken. Jeg vil allikevel fremheve et par punkter fra læringsutbytte: «ha inngå-

ende kunnskap om hvordan moderne 3D konstruksjonsverktøy er bygd opp.» «ha kjennskap til metoder for oppbygging av modeller.» «anvende prinsipper for hensiktsmessig oppbygging av parter og sammenstillinger.» og «anvende moderne 3D konstruksjonsverktøy til å bygge opp modeller vha. parter og sammenstillinger.» (Emneplan MAS101 2018/19).

De sist nevnte utdragene fra MAS101, samt et forsøk på tyding av SKSK sine intensjoner med delemnet legger grunnlaget for nivået på utdanningsopplegget.

3.1.2 Kostnader

Ved kostnader har jeg valgt å også inkludere kostnaden i form av arbeidstimer. Først vil jeg redegjøre for hva kadettene vil ha tilgjengelig som skolen allerede har investert i. Alle de nye kadettene på skolen, f.o.m 2018, vil få utlevert en laptop til skolebruk (Strand, 2019). Denne vil være av en ny type som det er en rammeavtale med og ingeniørkadettene vil få utlevert den modellen med mest kraft som inneholder en bedre prosessor og kraftigere grafikkort en den gjennomsnittlige modellen. Dette vil trolig, fra erfaring med dagens Thinkpad modell med Intel i7 prosessor og NVIDIA GeForce, være mindre datakraft en hva SolidWorks anbefaler som et minimum for å bruke programvaren, men etter personlig testing opp til det ønskede nivå skal dette være tilstrekkelig. For å best kunne nytte programmet vil kadettene også trenge en datamus, noe som IKT kontoret skal ha tilstrekkelig mengde til utlån for ingeniørkadettene eller som vil komme på en relativt lav kostnad. På disse maskinene skal det allerede ved utlån være installert SolidWorks 2018/2019 student utgaven, som skolen allerede har lisens på. Dette er store utgifter som skolen allerede har inngått før dette prosjektet og vil i fremtiden kun bli utnyttet mer, men til ingen større kostnad. (Bøe, 2019)

For å lære 3D modellering har jeg identifisert flere muligheter som koster penger. Det er per nå kun en bok på dette tema på biblioteket, og innkjøp av flere bøker vil bli dyrt. Det er flere sivile firma som tilbyr akkrediterte kurs i bruken av SolidWorks programvaren, men kun for et nybegynnerkurs koster det 12000kr per kandidat og tar en full arbeidsuke å gjennomføre. SolidWorks tilbyr også nettkurs, selvstudie pakker på nett, og flere tutorials i programmet, men dette er kun tilgjengelig for de som kjøper abonnement på de tjenestene. (Kursagenten, 2019)

Ellers på åpne kilder på internett finnes det muligheter for å lære seg 3D modellering. Det er noen firma som tilbyr enkelte leksjoner gratis, men dette varierer fort og har ikke vist å

være pålitelig kun i tiden denne oppgaven har blitt skrevet. YouTube derimot med enkelte spesielt interesserte personer har god tilgjengelighet og kontinuerlig påfyll av godt undervisningsmateriale. Her vil jeg spesielt trekke frem brukeren CAD CAM TUTORIAL sine sider. (CAD CAM TUTORIAL, 2019)

Arbeidstiden til lærere og hvordan skoletiden vil bli brukt, er ikke blitt avgjort på dette tidspunktet, grunnet omstillingen. Da jeg anser lærerens tid som en kostnad er det ønskelig å bruke minst mulig av den for dette kompendiet. Tiden for å gjennomføre kompendiet vil komme i hovedsak etter endt normal arbeidstid på skolen. Slik den er satt sammen nå har det en estimert tid på ca. 24 arbeidstimer. Av disse timene er ca. 14 rettet mot utdanning, øving og oppgaver. De siste neste 10 timene er tiltenkt arbeid med dampmotor modellen. Her vil det være stor individuell variasjon blant kadettene i tidsbruk. Øvingene i leksjon 2 i kompendiet har jeg funnet å ta ca. 30 min å gjennomføre. Fra egen erfaring varierer denne tidsbruken med kompetansen og noen kadetter vil trolig bruke mer tid i starten, men bli raskere på de påfølgende oppgavene. Verkstedkurset i Horten August 2019 er tre uker. Dersom man antar at kadettene har fri i helgene og skal fullføre undervisningen og arbeidet i kompendiet før kurset er over må det påberegnes i snitt to timer arbeid med modellering per arbeidsdag.

3.1.3 Konstruksjonsmessige forhold

De praktiske konstruksjonsmessige forhold som kadetten blir kjent med reguleres av kravene stilt i STCW om sertifikater. Her er det i hovedsak læren om å konstruere ting ved hjelp av dreiebenk, fres, eller sveising som er mest aktuelt sett mot 3D modellering. Ingeniørkadettene skal de første tre ukene av andreklasse være på kurs ved FLO Horten der de skal lære dreiebenk og fresing på et intensivt kurs. Ved avslutningen på dette kurset skal kadettene fysisk lage en en-sylindret trykkluftmotor som vil benytte alle ferdighetene kadettene lærer gjennom sin verkstedtid. (Strand, 2019)



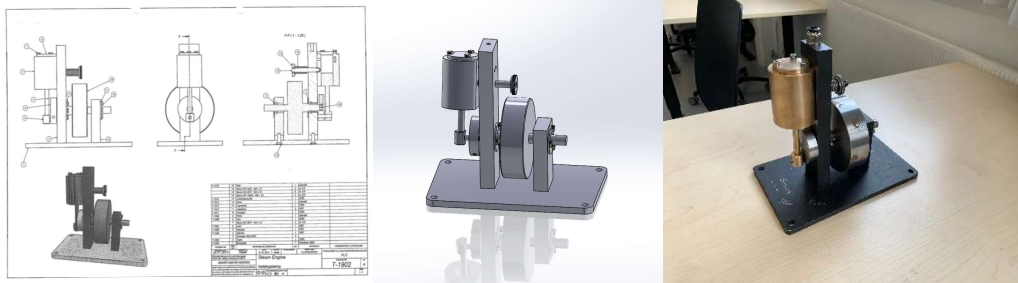
Bilde 5-6-7: Her ser vi et utvalg av det utstyret kadettene skal lære å bruke i praksis. Dette er gjerne eldre og godt utstyr som brukes i produksjon av de profesjonelle ansatte ved de aktuelle utdanningsverkstedene. Her er sikkerhet en stor prioritet da kadettene på kort tid forventes å kunne operere disse maskinene alene og lære hva som kan produseres med dem.

3.1.4 Programvaren

Sjøkrigsskolen benytter SolidWorks til all 3D modellering. Dette programmet ble valgt da det er svært populært generelt i ingeniørverden, men spesielt fordi det er det som nyttes av ingeniører i Forsvaret (Strand, 2019). Med alle funksjonene som er tilgjengelig i denne programvaren kan man ta et prosjekt fra idefase og helt til ferdigstilt og testet (Herstad, 2019). På generelle rangeringer på nett finner man som oftest SW i topp 3 av tilsvarende programmer. (TopTenReviews, 2019)

3.1.5 Trykkluftmotor

Trykkluftmotoren er en en-sylindret motor. Den er i utgangspunktet en dampmotor tegnet av FLO-Vedlikehold-Horten. Den er modifisert for å bli drevet av trykkluft og blir brukt som avsluttende praktisk prosjekt ved verkstedkurset for kadettene. Den består av totalt 19 deler, der de fleste produseres av kadettene. Alt settes sammen og blir kjørt med standard arbeidsluft på verkstedet.



Bilde 8-9-10: Her kan vi se Trykkluftmotoren eller dampmotoren som den kalles, både i de originale tekniske tegningene, 3D modellen jeg har produsert for denne oppgaven, og den fysiske motoren min gruppe lagde da vi var i Horten.

3.2 Utdanningskompendiet

3.2.1 Format

Utdanningsopplegget skal være et separat produkt fra denne bacheloroppgaven. Motivasjon og enkelhet for kadettene som skal gjennomføre opplegget har vært styrende i utformingen av formatet. kompendiet skal bli skrevet ut, bundet inn og gitt til kadettene. Det skal også være en lett tilgjengelig digital utgave. Den digitale utgaven er for å forenkle bruken av hyperlenker til nettressurser som er mye brukt. Det fysiske kompendiet vil tilby en mental forankring og opptre som et referansepunkt for tekniske tegninger og oppgaver. Dette vil da kunne utleveres som et egenstudieopplegg med kun få føringer.

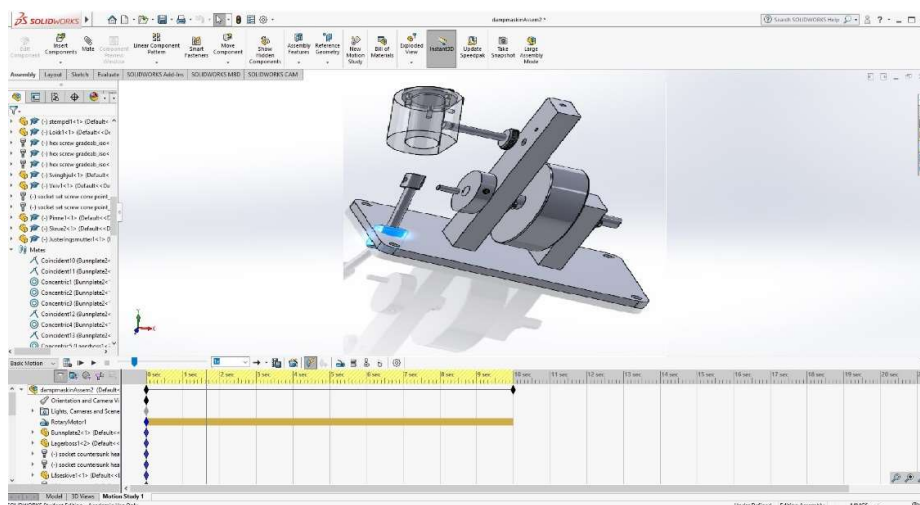


Bilde 11: Utdanningskompendiet til kadettene.

3.2.2 Innhold

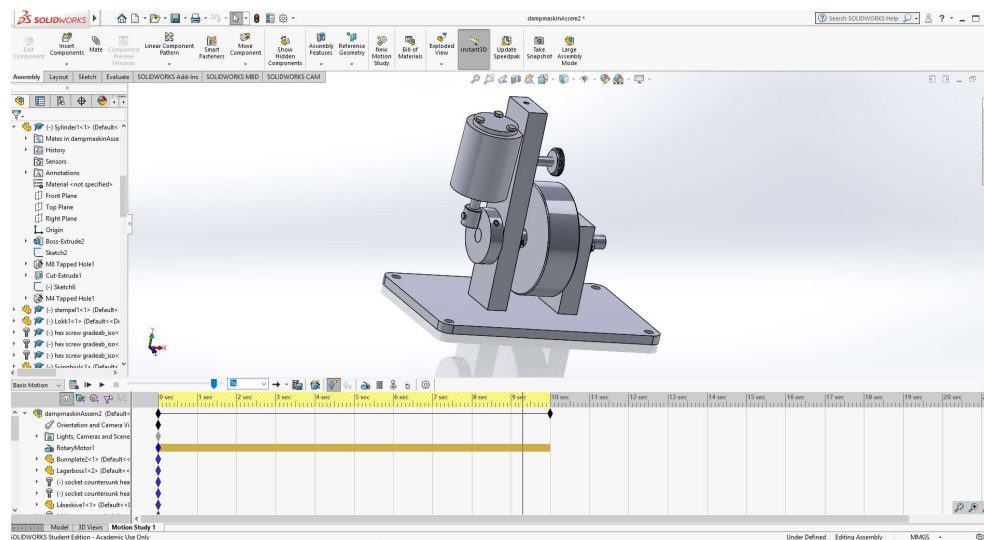
For å kunne bestemme hva utdanningen skulle inneholde, måtte jeg først selv komme på det jeg anså som et akseptabelt nivå. Jeg hadde dampmotoren som et mål, og var bestemt på å utforske alle læringsmetoder for å finne hva som gav best resultater og var mest spennende å gjennomføre. Jeg fullførte de tilhørende øvingsoppgavene eller tutorials som de kalles i programmet. Disse gav en god introduksjon, men videre undervisning etter programvareleverandørens opplegg kostet penger noe jeg ikke ønsket. Jeg lånte en bok på biblioteket på tema, men denne var så omfattende og tung å lese. Med så lite progresjon at de nesten 800 sidene var for mye for en enkel kadett (Norton 2014, 800). Etter mye tid på nett på søken etter gode undervisningsmuligheter var det YouTube som stadig viste seg som den sikreste og mest omfattende kilden til godt materiale. Det var her jeg brukte mesteparten av min tid på å lære programmet ved å lage deler samtidig som jeg så noen gjøre det på video. Fordelen er at jeg kunne stoppe og spole tilbake når det var behov for det. Her var det spesielt en kanal på YouTube jeg benyttet mest og som derfor har blitt basisen til mye av undervisningsopplegget.

Min konstruksjon av motoren ble gjort med tre forsøk. Ved første forsøk tok det utallige timer å konstruere delene og ved sammensetning var det ikke alle som passet sammen eller var orientert rett vei. Andre forsøk så passet de fleste delene, mens ved bevegelsesanalyse gikk den kun et par rotasjoner før delene falt fra hverandre og modellen gikk i oppløsning.



Bilde 12: Her kan vi se fra andre gjennomføring av bevegelsesanalyse på motoren at den etter på sekunder faller fra hverandre og slutter å fungere.

Siste utgave tok 3-4 timer å konstruere og alle delene, inklusivt skruer, passer godt sammen og modellen beveger seg som den skal.



Bilde 13: Her kan vi se den siste utgaven av originalmotoren med alle skruer og ekstra deler, som fungerer som den skal.

Canvas er læringsplattformen benyttet av Høyskolen på Vestlandet. Jeg fikk tilgang her til faget 3D-Modellering og elementmetode holdt av Hassan Momeni. Dette har gitt meg tilgang til å se materialene og timeplanen som Hassan bruker i sitt fag. Jeg har også snakket med han på telefon og diskutert hans fremgangsmåter og tanker om et komprimert prosjekt som denne oppgaven. På Canvas siden kan jeg se at Hassan velger fra første leksjon å starte med å introdusere 3D deler. Faget er lagt opp med en leksjon etterfulgt av en innleveringsoppgave. Her blir det også lagt ut skriftlig stegvise forklaringer på oppgavene i ettertid. Faget har en progresjon fra enkelt deler, til sammensetninger av flere deler og avslutningsvis et fokus på analyse med elementmetoden (MAS101 CANVAS, 2019)

Med disse resultatene fra egen læring og erfaring, samt kunnskapen tatt fra hvordan faget holdes på HVL har jeg lagt opp kompendiet med en inndeling av hoved temaer, som igjen har øvinger, oppgaver og referanser til motorprosjektet som skal være et mål bilde. Her er det lagt stor vekt på videoleksjoner fra nettet som basis og med oppgaver som Hassan Momeni har laget for å teste kunnskap underveis.

3.3 Implementering

Utstyret som kadettene trenger for dette opplegget blir utlevert av IKT kontoret på skolen, og det blir kadettens oppgave å forsikre seg om at de har fått utlevert det rette utstyret.

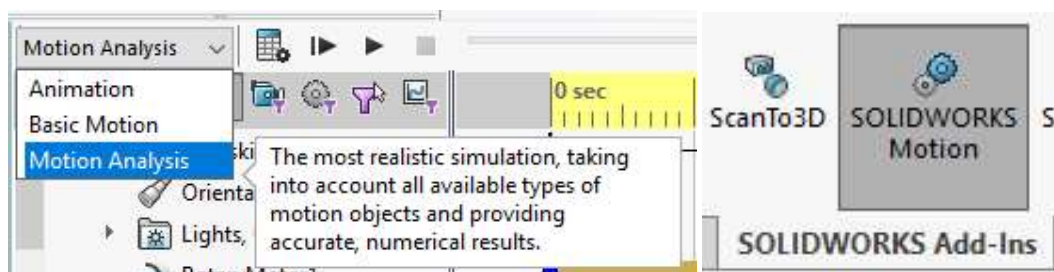
Dette bør følges opp av leder teknisk avdeling, som også burde stå ansvarlig for den eksplisitte bestillingen til IKT før kadettene ankommer skolen (Bøe, 2019)

Da datautstyr er noe som er tiltenkt at kadettene skal få når de begynner på SKSK burde hele denne pakken tildeles kadettene allerede da.

Da dette er et emne som inngår i maskinkonstruksjonsfaget er det naturlig at ansvarlig lærer har et ekstra ansvar om å sette krav til gjennomføring og ha oppfølging på kadettene. Gjennomføring av dette opplegget anbefales å legge til slutten av første klasse og begynnelsen av andre klasse slik at kadettene kan kombinere konstruksjon på data og i virkeligheten for økt læring. Generell oppfølging faller da igjen på sjef teknisk avdeling ved skolen eller en dertil egnet.

3.4 Analyse og optimalisering av motor

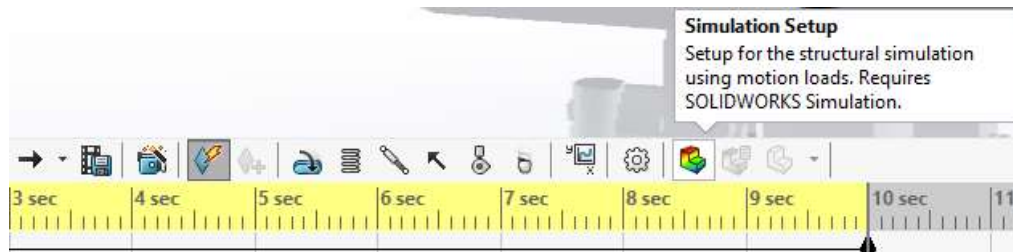
Med analyse av motoren i denne oppgaven har jeg valgt å begrense den til en bevegelsesanalyse av den sammensatte motoren, med mål om at alt fungerer som det skal. Her er det SolidWorks sin tilleggsfunksjon «SOLIDWORKS Motion» jeg har brukt for å gi en mest mulig reel analyse av bevegelsen til motoren. Kravet er at modellen skal fullføre den satte perioden på 10 sekunder med bevegelse og fortsatt beholde alle sine funksjoner og alle deler på sine tenkte plasser. I denne analysen ser jeg bort ifra langtidsvirkninger av friksjon og varme som kan ha en innvirkning på systemet og ser derfor ikke på simuleringer over 10 sekunder. Alle tidligere forsøk der modellen har feilet har feilen oppstått i løpet av de første sekundene eller ikke tillatt analysen å starte i det hele tatt. Programvaren tilbyr tre forskjellige bevegelsesanalyseverktøy som gir økende grad av realisme.



Bilde 14: Her ser vi de tre analyse metodene etter installeringen av Motion Analysis.

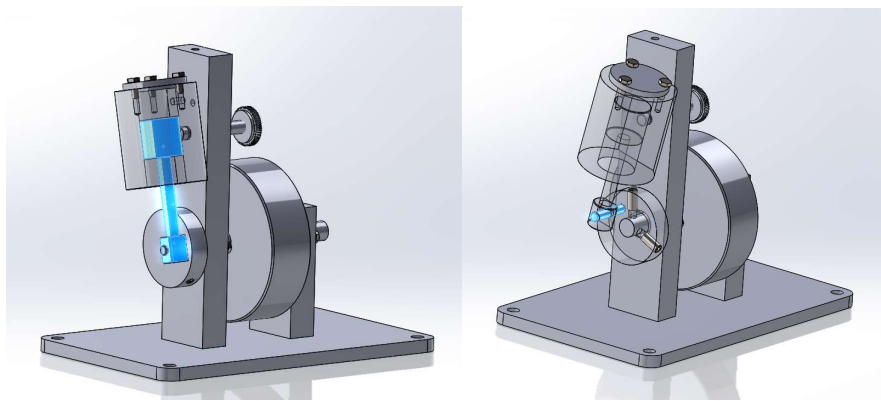
Denne mest avanserte analyse metoden tilbyr mange verktøy og faktorer som kan settes til motoren for å gi økt realisme og bedre numeriske resultater enn de andre metodene. Her er det spesielt evnen til å se å grafer av variabler som kan variere, se utviklingen av påkjenninger på systemet eller utsette deler for eksterne krefter underveis i bevegelsen.

For denne motoren i dens nåværende konfigurasjon viser ikke denne metoden noe spennende. Motoren er generelt overdimensjonert for bevegelsen den skal gjøre og simuleringsresultatene var uten verdi. Motion Analysis med sine mindre toleranser og mer virkelighetsnære tilnærminger anser jeg fortsatt som det beste å bruke selv uten bruk av alle verktøyene.



Bilde 15: Her ser vi utvalget av verktøy som inngår i en fullverdig Motion Analysis; dette inkluderer simulering, grafer av resultater, krefter, tyngdekraft, og definisjon av berøring (inkludert variabel friksjon).

Når det kommer til optimalisering av en eller flere deler, har jeg valgt to spesielt utsatte deler i konstruksjonen; del 9: Pinne, og del 5: Stempel. Jeg anser disse delene som de to mest kritiske delene da de er direkte utsatt for kraften av trykklufta i kammeret og skal overføre dette til rotasjonsbevegelsen av motoren.

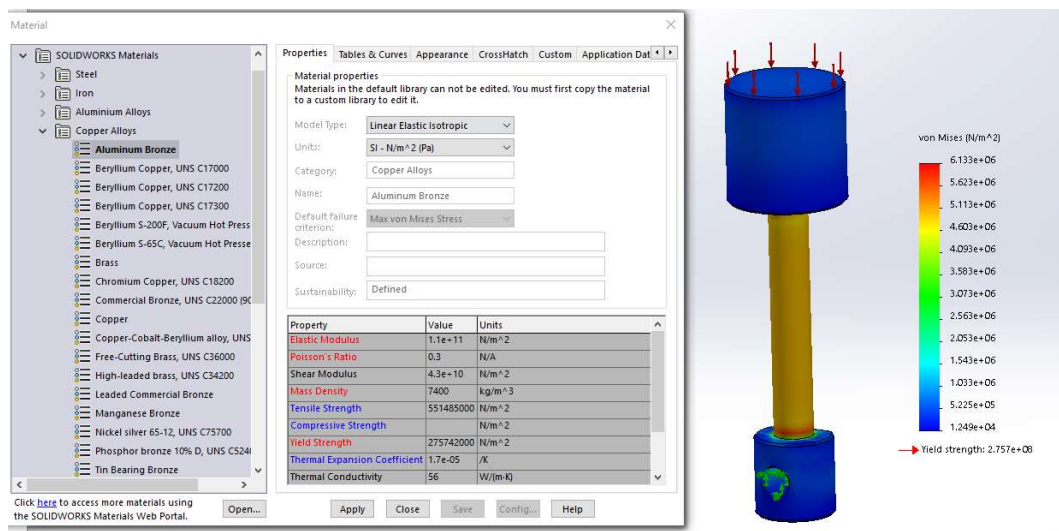


Bilde 16-17: Her ser vi de to utvalgte delene: Stempel, og Pinne

Her skal vi se på dimensjoneringen av disse delene og optimalisere størrelsen basert på kreftene de er utsatt for.

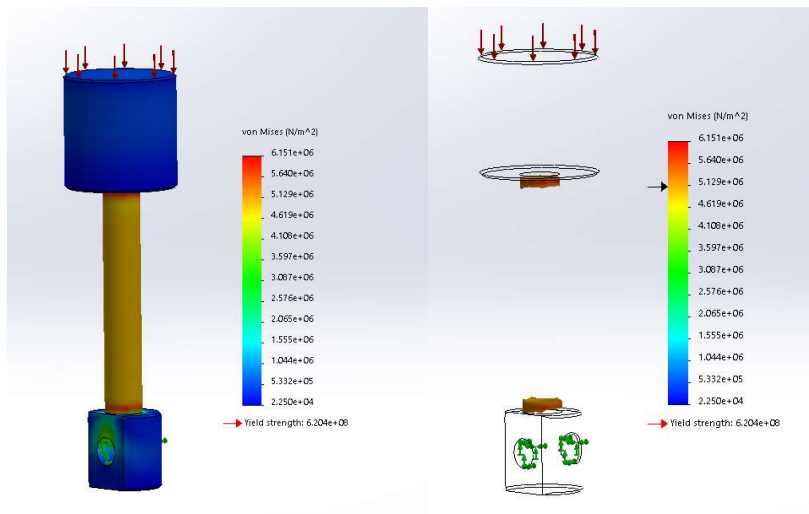
Generelt har jeg satt trykket fra arbeidslufta som brukes til kraft til å være et gjennomsnitt på 6 BAR. Jeg bruker også forenklinger i tegninger og fritt legeme diagrammene for å forenkle beregningene gjort for hånd, jeg bruker til å kontrollere resultatene fra programvaren.

Først stempellet. Her analyseres stempellet, i sin helhet, med programvaren. Punktet der Pinnen entrer settes fast og 6 BAR trykk settes på hele stempelhodets overflate. Fra tegningene står det at denne delen skal produseres i metallet OM7. Fra Olaussens metall AS sin katalog på internett kan jeg se at dette er en Nikkel-aluminiumsbronse (Olaussens metall AS, 2019). For å forenkle konstruksjonen samt begrense kostnadene til utdanningen kommer jeg til å benytte et sveisbart konstruksjonsstål fra formelheftet i maskin-konstruksjonsfaget og et tilsvarende metall i programvaren.



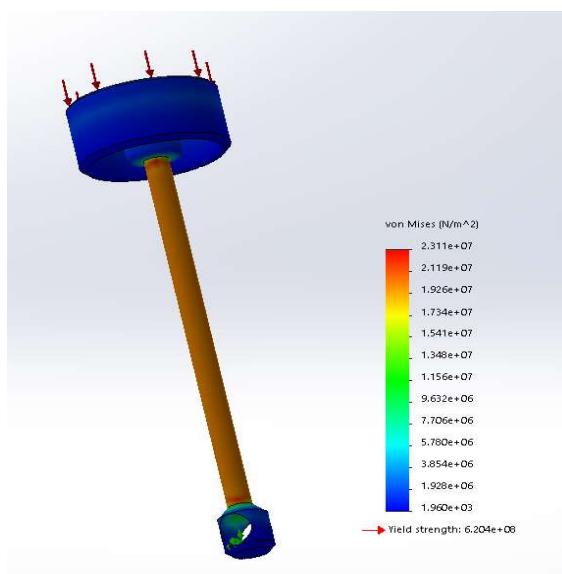
Bilde 18: Som en demo av en styrkeanalyse ser vi her bruken av en AluBronse med lignende egenskaper til OM7. Stempellet er fortsatt overdimensjonert og forenklingen med bruk av stål vil fortsatt i stor grad være gjeldene.

Med Alloy Steel kan det sees etter påføringen av maksimal last at høyest belastning er ved topp og bunn av selve stempelstangen. Tallverdiene er fortsatt langt fra strekkfastheten og vi har en sikkerhetsfaktor på over 100. Vi kan også se fra et annet perspektiv at dette kun gjelder en sone ytterst i materialet, så dette er områder å holde øye med for sprekkdannelse. (Ref. bilde 19-20)



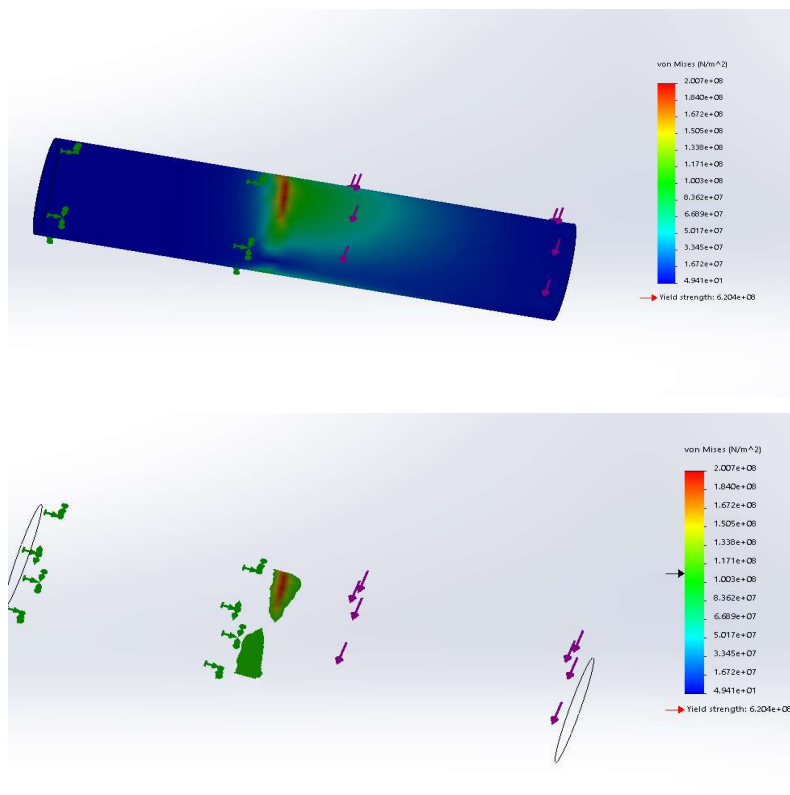
Bilde 19-20: Her ser vi resultatene fra styrkeanalysen og hvor på delen det er størst spenningskonsentrasjon.

For å optimalisere har jeg minimert diameteren på staken for å minske sikkerhetsfaktoren og redusere vekten. Jeg har også redusert størrelsen på festepunktet til Pinnen slik at det er mindre areal og derfor mindre overflate for friksjon. Den mindre størrelsen åpner også for at delen nå kan monteres begge veier. Tilslutt har jeg også hult ut deler av stempelet som igjen reduserer vekten. Produksjonsmessig til de fleste av disse optimaliseringene være oppnåelige for kadettene å gjennomføre, men uthulingen av stempelet og arbeid med en veldig tynn stang kan bli vanskelig og tidkrevende og dermed ikke vært bryet.



Bilde 21: Her ser vi den oppgraderte og optimaliserte stempelet, fortsatt med en høy sikkerhetsfaktor, men optimalisert innenfor hva som kan forventes å kunne konstrueres. Vekten reduseres til en tredjedel av originalen.

Pinnen er skal i henhold til de originale tegningene produseres i sølvstål, her vil jeg gjøre samme forenklingen og denne gang med enda mindre forskjell dersom materialet blir endret.



Bilde 22-23: Her kan vi se den forholdsvis lave sikkerhetsgraden på nærmere 3 og hvor på overflaten det er mest krefter. Her må man holde et våkent øye for deformasjoner, sår og sprekkdannelse om belastningen skulle bli stor.

Her er det ikke mye å gå på når det gjelder diameter reduksjon, og med viktigheten av denne delens virkning for hele motoren anser jeg det som larest og beholde den slik den er. Dersom det optimaliserte stampelet blir benyttet blir det en minimalt større spennings-samling, trolig grunnet det mindre arealet der kraften fra armen presser. Delen kunne ha blitt gjort noen millimeter kortere, men egenvekt vil ikke være en nevneverdig komponent i dette tilfellet og dermed være ubetydelig. Med viktigheten av delen, den økte spenningen med nytt stempel og vanskeligheten av å lage små deler med presisjon i dreiebenken for kadettene velger jeg å ikke justere denne delen. Her vil jeg anbefale å fokusere på findreining og sliping av overflaten og god smøring for å få best mulig resultat.

Jeg har også sett på flere av de andre delene til motoren for å vurdere optimalisering. Her er det spesielt en viktig begrensning som jeg har tatt høyde for også ved de to sistnevnte delene. For å hindre ekstra kostnad for kurset antar jeg bruken av skruer, bolter, lager og

annet materiale som er hyllevare skal forbli likt, og at jeg ikke skal gjøre noen dramatiske endringer til funksjonen av selve kraftmekanismen. Med dette ble fokus på å redusere vekt og friksjon på flere deler. Dette brukes i hovedsak til eksemplifisering av hva som er mulig i kompendiet. Flere detaljer om min konstruksjon av motoren kommer også tydelig frem i tips og triks for kadettene i kompendiet.

4 Drøfting

4.1 Krav

Kravene stilt til undervisningsopplegget er fremlagt i begrensningene, og viktigst blant de er kravene til faglig innhold og kostnadsbegrensning. Slik Utdanningskompendiet er per nå, og dersom det blir fulgt i sin helhet med anbefalte ekstra øvinger, vil kadettene ha nådd et visst nivå innen kunnskap og ferdighet i CAD. Dette opplegget dekker læringsmålene med det data-assisterte tegne og konstruksjonsverktøyet SolidWorks og kadettene vil kunne nytte det til å fremstille tekniske tegninger i 2D og 3D format. Dette virker å dekke basis av kravet, men dersom vi ser til kravene stilt ved sivil høyskole og prøver å definere fremstilling og nytte av dataverktøy så er det tydelig at dette opplegget bare skrapper i overflaten av hva 3D programvare kan brukes til og hva kadettene kan lære (Herstad, 2019). Ettersom kadettens øverste praktiske nivå i kompetanse er produksjonen av dampmotoren, og dette også er satt som målet med 3D undervisningen kan det sies at dersom vi kan måle de to mot hverandre kan vi si at nivået er godt nok og tar hensyn til de konstruksjonsmessige forhold kadettene lærer.

Ettersom det ikke blir etterspurt eller satt krav til nye innkjøp av utstyr, programvare eller tilganger, krever ikke opplegget noen ekstra kostnad. Ettersom dette er noe nytt og det kreves en likhet blant kadettene iblant annet utstyr vil det kreve tid fra noen på skolen. Det vil kreve tid for IKT å støtte med installering og det vil kreve tid av en lærer å introdusere stoffet og etterspørre progresjon. Dette er tid i implementering som kan gjøres til kostnader som opplegget krever. Ettersom fullføring av kompendiet vil ta tentativt 24 arbeidstimer for den gjennomsnittlige kadett kan det sies at dette er en kostnad for kadetten, men ikke nødvendigvis skolen.

4.2 Undervisningsopplegget

Det å levere opplegget som et separat fysisk hefte som kadettene kan ta med seg er forhåpentligvis motiverende og forpliktende og fremstår som en god måte å presentere det på. Tilgjengeligheten av den elektroniske kopien forenkler arbeidet og unngår at noen mister muligheten sin til å gjennomføre dersom de mister kompendiet. Kadettene dette gjelder skal fra starten ha datamaskiner, og skolen ønsker mindre papirbruk. Ettersom den

digitale kopien er tiltenkt å bli mest brukt, og er den enkleste for lærerne å holde oppdatert med endringer, kan det etterhvert være unødvendig og lite miljøvennlig å lage en papirutgave.

Innholdet er spisset og simplifisert til å kun inneholde det som kreves for at kadett skal lære det som er ønsket uten å bli overveldet av ord eller oppgaver. Fra egen erfaring er video læring og en «gjør det selv fra første stund» fremgang det som er mest motiverende og lærerikt. Når opplegget bruker så mye video-læring og nett via YouTube vil opplegget kreve god internettforbindelse å gjennomføre. Det krever også at CAD CAM ikke fjerner sine videoer eller sin nettside. Dersom en lærer lager selv eller det blir kjøpt rettigheter til tilsvarende videoer kan disse bli lastet ned og mye av feilkilden frafaller.

Produksjonen av tekniske tegninger i 2D er ikke noe som er spesifikt nevnt i oppgaveformuleringen, men det er allikevel et moment som inngår i Utdanningsopplegget. I dette utdanningsopplegget, og i min produksjon av dampmotor-modellen er det laget tegninger i 2D. Her er det en utfordring som går utover bruken av programvaren, som er generell faglig kunnskap på tema tekniske tegninger. Dette er generelt også et tema som skal dekkes i maskinkonstruksjonsfaget og min mangel på kunnskap viser seg ved mangelen av ekstra informasjon på tegningene. For utfordringer som dette i fremtiden vil det være veldig lærerikt dersom det er en lærer på skolen som kan besvare slike detaljerte spørsmål om hvilke maler det er ønskelig å bruke og hvordan.

4.3 Nødvendighet

De siste årene har en minimal eller ikke eksisterende undervisning og en eller to prosjekt-oppgaver blitt ansett som nok dekning på dette tema. Forsvaret har ikke eksplisitt bedt SKSK om å forbedre denne delen av undervisningen heller. Kadettene de kommende årene har en enda strammere tidsplan enn kull tidligere, og dette tema er nok ikke prioritert høyt for å vinne mere plass i utdanningen.

Ettersom Forsvaret som alle andre teknologiske organisasjoner og med mange ingeniører må Forsvaret også utvikle seg på dette området for å drifte eksisterende og fremtidig materiell på en effektiv måte. Det å ha god kompetanse innen 3D modellering er viktig. Vi har ikke lenger de klassiske 2D stillingene og arbeiderene vi en gang hadde og nye prosjekter som fregattene gjøres i 3D og meste parten av dokumentasjonen vi får kommer fra CAD. Dette vil kreve noe fra skolen og spesielt kadettene å lære seg, men kan sies å være relevant og av høy verdi å prioritere.

4.4 Optimalisering

Motoren er analysert og to utsatte deler er optimalisert. Her er programvaren og utregninger for hånd brukt til å verifisere resultatene. Bruken av SW for å analysere delene og motoren som helhet er vist i henholdsvis kap 3.4 Analyse og Optimalisering av motoren og kap 7.2 Utregninger for Optimalisering. Den fysiske dampmotoren jeg selv laget på verksted i Horten, som vises på bilde 10, er analysert parallelt med det gjort i SW for å også verifisere de resultatene. Her har motoren blitt testet med over 6BAR trykk og har jevnlig blitt brukt til fremvisninger ilt de siste årene. De optimaliserte delene derimot har ikke blitt fysisk laget og dermed ikke testet for hånd. Delene er optimalisert til en tilsvarende uendelig levetid i driftstimer. Det er flere måter å analysere en motor på en bevegelse den er konstruert for, og uendelig levetid på motordeler kan sies å være en urealistisk forenkling som hindrer optimalisering. Annen analyse eller optimalisering vil fra min nåværende kunnskap kreve innsikt lært i fag i tredjeklasse og vil være vanskelige krav for kadetter ved de første årene.

5 Konklusjon

5.1 Undervisningsopplegget

Undervisningsopplegget dersom fulgt vil gi kadettene et kunnskap- og ferdighets-nivå som tilfredsstillende oppgaven og emneplanen på skolen. Dette gitt at det blir en form for oppfølging som sørger for at opplegget er fullført og med en tolkning av nødvendig innhold som har fokus på å vise kadettene hva som er mulig og gi et grunnlag og en kjennskap som kan bygges på senere. Utvikling av emneplanen og en fremtidig oppdatering av mål og innhold bør gjøres fra skolen sin side etter ønsket fremtidig målsetninger. Opplegget gir ikke tilstrekkelig utdanning i krav og regler for 2D tegninger. Dette kan tenkes at skal dekkes ellers i faget maskinkonstruksjon, men kan vurderes å inkluderes i denne undervisningen. Utstyret kadettene skal ha tilgjengelig skal være tilstrekkelig å uten nevneverdig ekstra kostnad til skolen. Belastningen for IKT kontoret med installering av programvare og prioritering av sterkere maskiner til ingeniørene vil kreve noe mer innsats en vanlig ved første gjennomføring, men vil deretter være normal rutine. Skolen bør vurdere å investere i SolidWorks sine egne nettbaserte kurs for å utvide dette opplegget, og eventuelt sende en lærer på kurs som kan være kontaktpersonen til elevene. Dette må ikke gjøres for å nå den nåværende målsetningen, men bør vurderes for fremtiden. Dersom ønsket kunnskapsnivå skal tilfredsstillende krav tilsvarende de som er i emneplanen på HVL må opplegget utvides til å inkludere undervisning og prioritering på skolen i arbeidstid.

Utlevering av kompendiet i papirform er ikke et krav. Jeg anbefaler fortsatt å gjøre det ved første gjennomføring for å skape en størst mulig forpliktelse, men denne utdanningen i fremtiden kan, og bør i hovedsak gjøres via skolens normale digitale kanaler med en lærer eller ansvarlig som administrator.

Kompendiet i sin helhet kan virke noe tynn på faglig innhold og bør vurderes å utvide med flere skriftlige retningslinjer for det som ønskes lært. Her må ønsket kunnskapsnivå og eventuelt en fordeling av når ila årene på SKSK dette skal læres, sees opp mot den antatte arbeidstidsbruken som allerede er på ca. 24 timer. Med den interaktive «Learning by doing» metoden er det mulig at kadettene vedlegger seg noen uvaner i bruken av programmet eller ikke lærer noen nyanser av hvordan programmet kan brukes. Med dette sagt konkluderer jeg fortsatt med at kadettene lærer det som kreves og posisjoneres til å lære det å lære dette eller like programmer i fremtiden.

5.2 Optimalisering

Motoren er analysert og med det funnet å virke som ønsket, dette samsvarer med den faktiske motoren som fortsatt etter nesten to år fungerer flott. Her er det spesielt bruken av Motion Analysis som utgangspunkt for vurderingen og ikke bare den forenklede Animation funksjonen. Den kunne ha blitt analysert på flere områder som for eksempel motor effekt, men dette krever et urealistisk høyt kompetansenivå. Interaksjonen mellom alle deler når i ønsket bevegelse må sees som målet og det ble oppnådd.

De to utsatte delene som ble vurdert, Stempel og Pinne, var to av delene utsatt for mest stress og mest variert stress, påført av drivkraften. Delen Pinne ble etter noen kalkulasjoner funnet til å ha en tilfredsstillende lav sikkerhetsfaktor og dimensjoneringen av diameteren sees derfor til å være optimalisert. Når det kommer til lengden kunne denne på tross av den ekstra vanskeligheten av arbeid med små deler blitt justert noe kortere. På de tekniske tegningen av den optimaliserte versjonene av motoren kommer det godt frem at delen er lengre enn nødvendig for sin funksjon. Stempelet er delen som har gjennomgått mest forandring fra optimaliseringen og fra de tekniske tegningene (vedlegg i kompendiet) kan man se dette godt. Her konkluderer jeg også med at denne delen er optimalisert selv om kadettene velger å ikke uthule stempel hode grunnet det ekstra krevende arbeidet. Forutsetningen om tilnærmet uendelig levetid var noe lang, men beregningene stemmer og delene har blitt optimalisert med de gitte forutsetningene.

6 Referanser

Bøker:

CADArtiflex.

2016. *SOLIDWORKS 2016: A Power Guide for Beginners and Intermediat Users*,
Ukjent: CADArtiflex.

Irgens, Fridtjov

1992. *Formelssamling Mekanikk, statikk, fasthetslære, dynamikk, fluidmekanikk*.
Ukjent: Tapir Forlag.

Jacobsen, Dag Ivar.

2005. *Hvordan gjennomføre undersøkelser? Innføring i samfunnsvitenskapelig metode 2*.
Utgave, Kristiansand: Høyskoleforlaget.

Norton, Robert L.

2014. *Machine Design an integrated approach fifth edition*, Worcester: Pearson Educa-
tion Inc.

Annet:

Thunold, Sondre Horgen

2018. *Konstruksjonsoppgave*, Bergen: 19.11.2018

Internett:

CAD CAM TUTORIAL

2019. YouTube kanal for CAD CAM Tutorials.

https://www.youtube.com/channel/UCjd_zIvYtQymk0dPx3vTJcA 26.01.2019

Emneplan ING3311 SKSK

2018. Emneplan for Maskinkonstruksjon og Matriallære ved SKSK.

<https://utdanning.forsvaret.no/nb/emne/ING3311/400> 12.01.2019

Emneplan MAS101 HVL

2018/2019. Emneplan for 3D-Modellering og elementmetode ved HVL.

https://www.hvl.no/studier/studieprogram/emne/mas101_02.03.2019

Forskrift om rammeplan for ingeniørutdanning

2018. Rammeplan for ingeniørutdanning fra Kunnskapsdepartementet.

<https://www.regjeringen.no/contentassets/389bf8229a3244f0bc1c7835f842ab60/ny-forskrift-om-rammeplan-for-ingeniorutdanning-fastsatt-18.05.18.pdf> 12.01.2019

Kursagenten

2019. Kursagenten hjelper deg på rett kurs, Kurs i SolidWorks.

<https://www.kursagenten.no/kurs/SolidWorks> 19.01.2019

MAS101 3D – Modellering og elementmetode

2019. CANVAS side for Høgskulen på Vestlandet fag MAS101.

<https://hvl.instructure.com/courses/6383/modules/items/78773> 02.03.2019

Olaussens Metall AS

2019. Produktkatalog. <http://olaussensmetall.no/produkt/sekskantstang-om-7/> 19.04.2019

SKF

2019. Produktkatalog Kulelager. <https://www.skf.com/group/products/bearings-units-housings/ball-bearings/deep-groove-ball-bearings/deep-groove-ball-bearings/index.html?designation=61801-2Z> 19.04.2019

SolidWorks

2019. SOLIDWORKS Subscription Services.

<https://www.solidworks.com/how-to-buy/subscription-services> 19.01.2019

Store Norske Leksikon

2018. Øyvind Grøn (OsloMet), optimalisere. <https://snl.no/optimalisere> 19.04.2019

Studieprogram Marineingeniør

2019. Studieprogram: Bachelor i militære studier med fordypning i ledelse – marineingeniør-maskin. <https://utdanning.forsvaret.no/nb/studieplaner/2018/Milit%C3%A6re%20studier%20med%20fordypning%20i%20ledelse%20-%20Marineingeni%C3%B8r%20maskin> 12.01.2019

Top Ten Reviews

2019. Best CAD Software of 2019.

<https://www.toptenreviews.com/software/multimedia/best-cad-software/> 16.02.2019

Wikipedia

2019. Computer-aided design.

https://en.wikipedia.org/wiki/Computer-aided_design 19.04.2019

Intervjuer:

Bøe, Håkon Knudsen

2019. Driftingeniør IKT. Intervju as Sondre Thunold. Bergen, Norge. Vår 2019.

Herstad, Jarle Erland

2019. Senior advisor / Sivilingeniør (M.Sc.). Intervju as Sondre Thunold. Oslo, Norge. Vår 2019.

Momeni, Hassan

2019. Førsteamanuensis ved Institutt for maskin- og marinfag. Intervju as Sondre Thunold. Bergen, Norge. Vår 2019.

Strand, Gisle

2019. Lærer ved Teknisk avdeling Sjøkrigsskolen. Intervju as Sondre Thunold. Bergen, Norge. Vår 2019.

7 Vedlegg

7.1 Utdanningskompendiet

Kompendiet er vedlagt som en egen fil og skal stå som et eget produkt. Denne oppgaven derimot skal leses sammen med undervisningsopplegget og fungere som dypere informasjon i konstruksjonsprosessen jeg har brukt på trykkluftmotoren og de spesielle momentene som inkluderingen av en dynamisk fjær som har inngått.

7.2 Utrekninger for optimalisering

For å bekrefte funnene gjort med hjelp av programvaren på optimaliseringen av de utvalgte delene har jeg utført flere kalkulasjoner for hånd. Her benytter jeg kunnskap lært i Konstruksjonsoppgaven (Thunold, 2018) sammen med læreboken i maskinkonstruksjon (Norton, 2014) og Formelheftet (Irgens, 1992).

Først tegner jeg et fritt legeme diagram og forenkler dette mest mulig, og konverterer trykk kraften fra luften til en samlet kraft i Newton.

Det er i hovedsak tre metoder som er benyttet i rekkefølge for å ta høyde for optimaliseringen. Det første steget er å indentifisere den statiske kraften og dens påvirkning. For stempelet er dette aksial press og fare for knekking, for pinnen er det skjær og bøy krefter. Deretter er det utformet et Smith diagram for å ta høyde for levetid og de vekslende kreftene. Til slutt et S/N diagram for total levetid.

Kontroll regning for optimalisering av stempel

Krefter: Lufttrykk 6 BAR

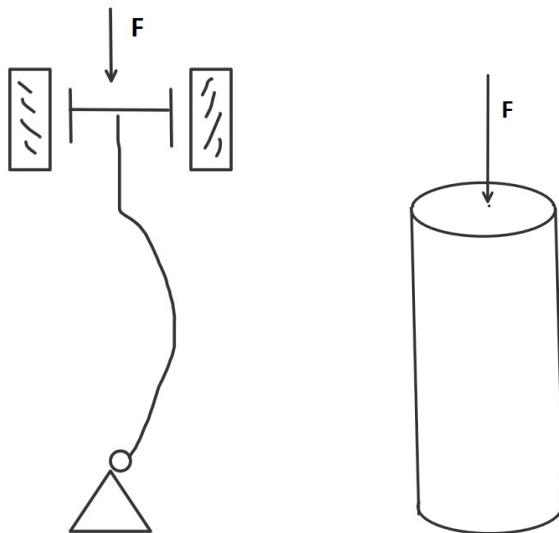
Areal stempelhode: $A = \pi * r^2$

Tryk-kraft: $F = P * A$

Kraft på systemet: $F = 600000 * \pi * 0.012^2 = 271.4 \approx 272N$

Egenvekt $\lll F$ kan derfor sees vekk fra

Fritt legeme diagram og forenkling (Stempel)



Kontroll mot knekking:

$\lambda = \text{Slankhetstall}$ Dersom over 10 (20) er knekking en mulighet (Irgens 1992, 30)

$$\lambda = \frac{L}{i}$$

$$i = \sqrt{\frac{I}{A}}$$

$$I = \frac{\pi * d^4}{64}$$

L = 88mm (maksimering)

$\lambda = 44$ knekking er en mulighet

Knekklast:

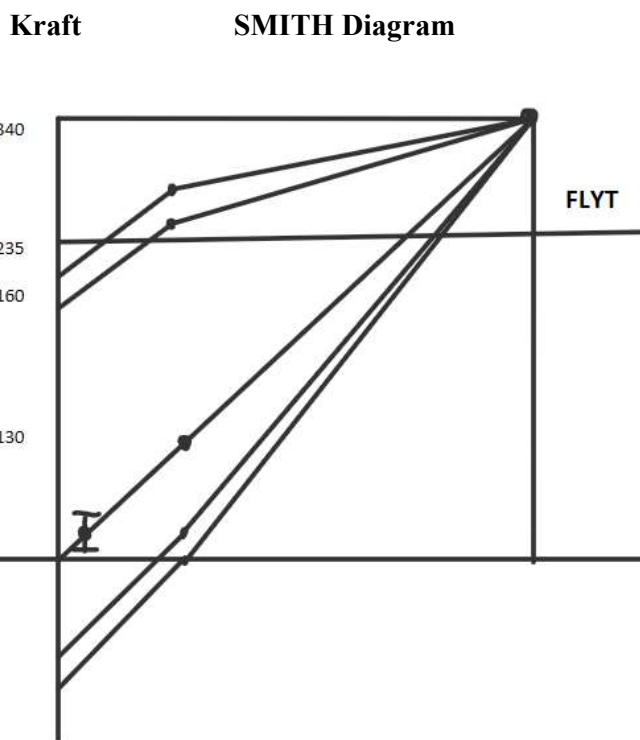
$$F = \frac{\pi * E * I}{L^2}$$

E = 200 000MPa

F = 51234N

Justerer diameter til knekklast tilnærmer faktisk last. 2.16mm diameter, men må se på utholdenhet også.

Stempel



Korreksjon av Smith Diagram:

(Thunold, 2018)

B1 < 10 → 1

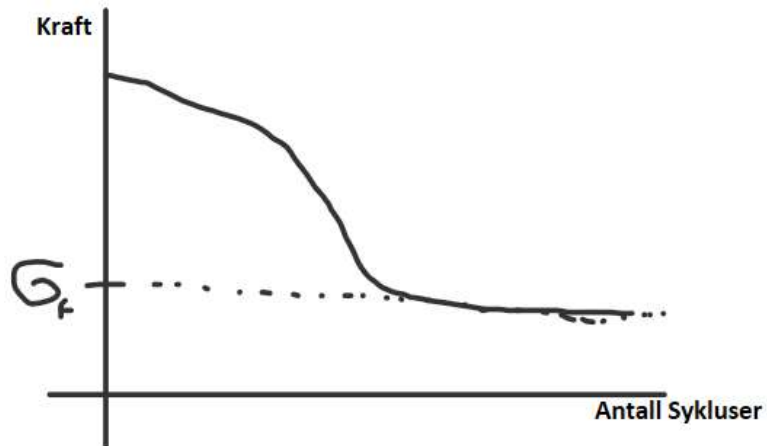
B2 = 0.98 Findreid

B3 = 1 (antatt)

Ser fra grafen en unødvendig høy sikkerhetsgrad: Grafisk justering tilsier en diameter på nærmere 1 – 2 mm er mulig.

Levetidberegning: (Norton 2014, 335)

S/N Diagram



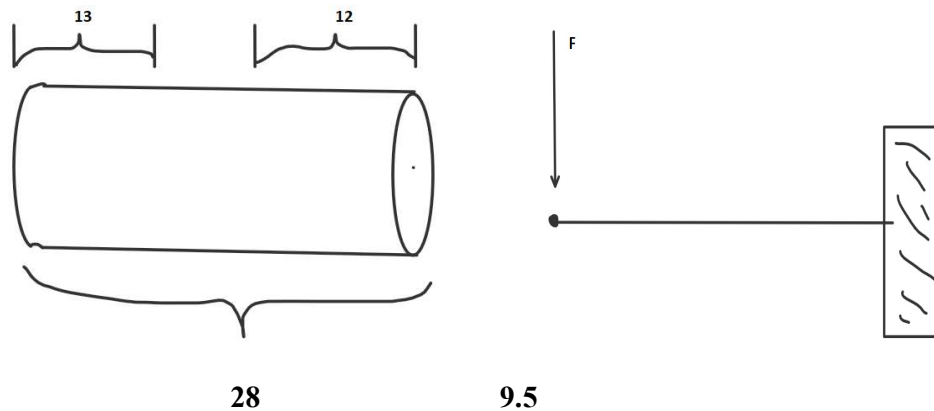
Så lenge kraften delen utsettes for er lavere enn utmattingskraften vil delen vare i tilsvarende uendelig antall sykluser. Her er en syklus ansett som en full rotasjon av motoren.

Med en flytegrense på 235Mpa og tatt høyde for justering i knekk kraft med mindre diameter, vil en diameter på 4mm fortsatt være evig.

Konkluderer med at en diameter på 4mm vil være innenfor alle krav.

Del 9 Pinne:

Fritt legeme diagram Pinne



$$M = l * F \text{ (Bøy max)}$$

$$\sigma = \frac{M * Y}{I} = \frac{F * l * \frac{d}{2}}{\frac{\pi * d^4}{64}} = 121 \text{ Mpa}$$

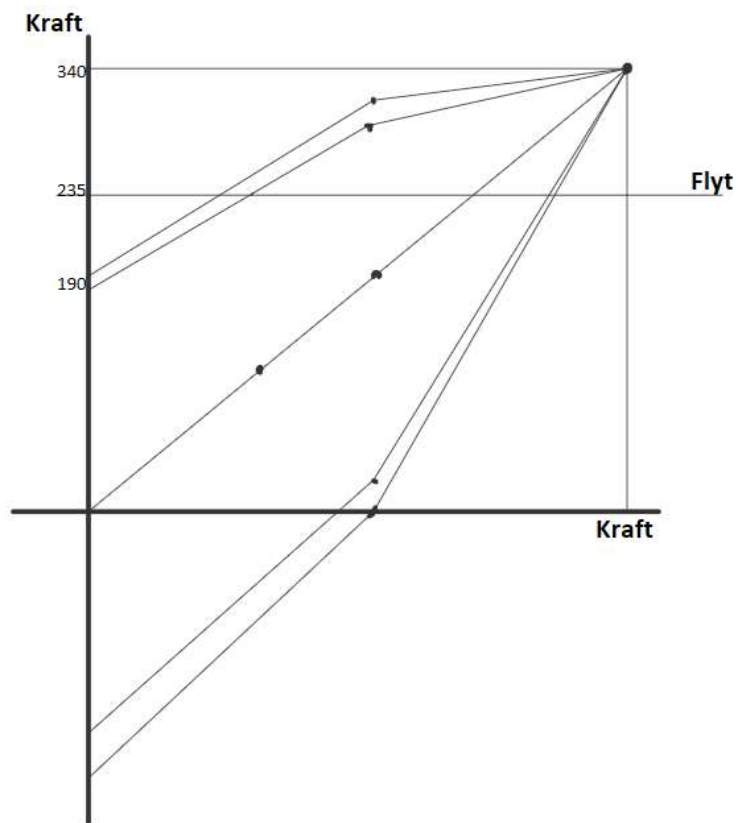
For å hindre at stempel hodet kiler seg i sylindren bør ikke denne delen deformere seg nevneverdig. Skjærkreftene er også så små i forhold til den maksimale strekk og trykk kraften påført grunnet bøye kraften at den har liten påvirkning (men regnes inn i diagrammene).

$$\text{Utbøyning: } f = \frac{F * l^3}{3 * E * I} = 0.006 \text{ mm} \quad (\text{Irgens 1992, 246})$$

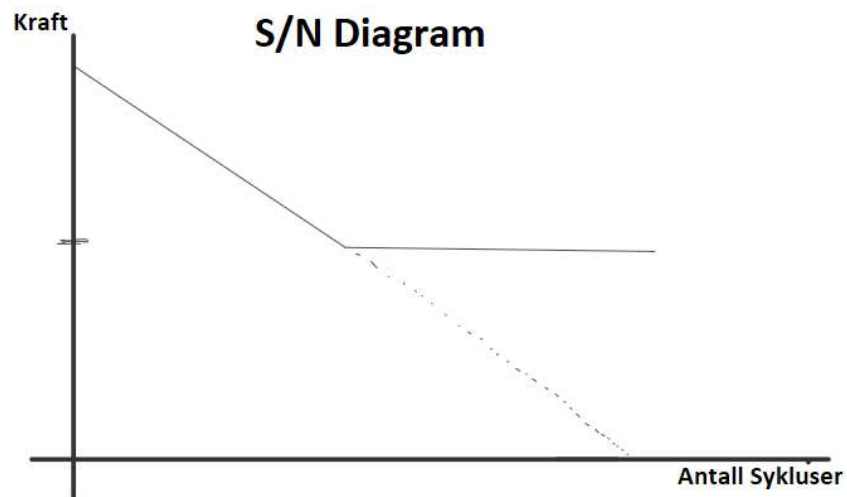
Mindre sikkerhetsfaktor en stempelet, her kan vi se at delen som helhet kan bli mindre i diameter, men som vi vet fra SolidWorks kan overflatespenningene bli store.

Utmattelse og levetid:

SMITH Diagram



Fra grafisk tilnærming er det her en sikkerhetsfaktor på ca 2. Dette er såpass lavt at justeringer er ikke å anbefale.



Så lenge spenningen holdes under ca 230MPa er det rimelig å anta en tilnærmet uendelig levetid. Maksimal overflatespenning er det som kan komme nærmest dette tallet og vil være avgjørende.

Oppsummert har denne delen lite handlingsrom for justering av dimensjoner dersom den skal vare uendelig sykluser og blir konstant utsatt for maksimale vekslende krefter.