Examensarbete

HÖGSKOLAN I SKÖVDE

BERÄKNING AV BLOCKSTYRLAGER INOM VATTENKRAFT

CALCULATION OF TILTING-PAD JOURNAL BEARING IN HYDROPOWER

Examensarbete inom huvudområdet Maskinteknik.
Grundnivå G2E, 30 Högskolepoäng
Vårtermin 2023

Anton Knipbo
Henrik Vall

Handledare: Tobias Andersson
Examinator: Rohollah Ghasemi

Sammanfattning

Examensarbetet utförde på uppdrag av Rainpower AB i Kristinehamn vilka ägs av Aker Solutions som är en heltäckande leverantör för allt inom vattenkraft. Företaget hade ett beräkningsprogram för beräkning av radiella blockstyrlager inom vattenkraft som behövde uppdateras, göras mer användarvänligt och skapa tydligare utdata. Programmet programmerades år 1984 och några ändringar utfördes i koden år 1986 och efter det har inga ändringar skett och behöver således uppdateras och analyseras för eventuella nya behov. Det senaste programmeringsspråket för programmet är Fortran. Fortran är ett parallellt programmeringsspråk och har designats för intensiva beräkningar inom forskning och ingenjörsvetenskap vilket gör möjligt att köra flera beräkningar samtidigt. Syftet med detta arbete har därför varit att analysera beräkningsprogrammet och beräkningarna i det för att se om programmet behöver skrivas om eller om alternativa program ska användas i stället.

Målet med projektet är att tillverka ett beräkningsprogram som används för att bestämma dimensionerna till blockstyrlager. Tillsammans med detta ska även utdata visas i en rapport som genereras automatiskt.

Arbetet har bestått av att först analysera beräkningsprogrammet för radiella blockstyrlager med syfte att kunna se vilka formler och data som programmet använder och vart de kommer ifrån. Efter analysen togs det med hjälp av litteraturstudier fram nya beräkningar för vissa parametrar som ansågs relevanta att undersöka. Data från den tidiga versionen av programmet jämfördes därefter med data från beräkningarna i det senare programmet och slutsatser om detta drogs. Slutsatsen blev att de formlerna och datan som användes till programmet är liknande de som finns nu och det som avviker kommer fram till liknande resultat. Några små parameterändringar gjordes och gjordes mer användarvänligt.

Abstrakt

The thesis was carried out on behalf of Rainpower in Kristinehamn which are owned of Aker Solutions, which is a comprehensive supplier for everything in hydropower. The company had a calculation program for the calculation of tilting pad journal bearing guide bearings in hydropower that needed to be updated, made more user-friendly and produce clearer output. The program was programmed in 1984 and some changes were made to the code in 1986 and after that no changes have taken place and thus needs to be updated and analyzed for possible new needs. The latest programming language for the program is Fortran. Fortran is a parallel programming language and has been designed for intensive calculations in research and engineering, making it possible to run multiple calculations simultaneously. The purpose of this work has therefore been to analyze the calculation program and the calculations in it to see if the program needs to be rewritten or if alternative programs should be used instead.

The goal of the project is to produce a calculation program that is used to determine the dimensions of block guide bearings. Along with this, the output should also be displayed in a report that is automatically generated.

The work has consisted of first analyzing the calculation program for tilting pad journal bearing with the aim of being able to see which formulas and data the program uses and where they come from. After the analysis, with the help of literature studies, new calculations were made for certain parameters that were considered relevant to investigate. The data from the early version of the program was then compared with the data from the calculations in the later program and conclusions about this were drawn. The conclusion was that the formulas and data that were used for the program are similar to those that exist now and what deviates leads to similar results. Some small parameter changes were made and made more user friendly.

Intyg

Denna uppsats har lämnats in av Anton Knipbo & Henrik Vall till Högskolan i Skövde som uppsats för erhållande av betyg för på grundnivå G2E inom huvudområdet Maskinteknik.

Undertecknande intygar härmed att allt material i denna uppsats som inte är resultatet av eget arbete har redovisats med källangivelse. Uppsatsen innehåller inte heller material som undertecknande redan tidigare fått tillgodoräknat sig inom sina akademiska studier.

Namnförtydligande, Anton Knipbo

Namnförtydligande, Henrik Vall

Skövde 2023-06-02
Institutionen för Ingenjörsvetenskap

Förord

Vi har utfört detta arbete på Rainpower AB i Kristinehamn som ägs av Aker Solutions vart vi vill rikta ett stort tack till då de på ett fantastiskt sätt utmanat oss och visat oss den intressanta branschen vattenkraft. Vi vill tacka vår handledare Rebecka Nilsson som gjorde det möjligt för oss att få göra detta arbete och som har gett oss stor stöttning under arbetet. Vi vill även tacka Anders Säwe, Christina Bergström och Björn Wikstrand för all hjälp vi fått när vi behövt det. Vi vill även tacka Lars-Åke Karlsson för ett givande besök på gullspångskraftverk.

Slutligen vill vi även tacka vår handledare Tobias Andersson på Högskolan i Skövde för hjälp och goda råd under projektet.

Innehållsförteckning

1 Inledning ... 1
1.1 Bakgrund ... 1
1.1.1 Vattenkraft ... 2
1.1.2 Turbinen ... 3
1.1.3 Blockstyrlager ... 5
1.1.4 Beräkningsprogrammet ... 6
1.2 Problem & Frågeställning ... 8
1.3 Syfte och mål ... 9
1.4 Avgränsningar ... 9
1.5 Översikt ... 9
2 Teoretisk referensram ... 10
2.1 Hydrodynamiska glidlager ... 10
2.1.1 Laster, flöden och energiförluster ... 10
2.2 Design av Blockstyrlager ... 11
2.2.1 Segment ... 11
2.2.2 Pivotpunkter ... 12
2.2.3 Uppfodringsspår ... 13
2.2.4 Excentricitet ... 14
2.2.5 Oljefilmtjockleken ... 15
2.3 Smörjning ... 15
2.3.1 Temperatur ... 15
2.3.2 Viskositet ... 16
3 Metod ... 18
3.1 Litteraturstudie ... 19
3.2 CAD ... 19
3.3 3D Printing ... 19
3.4 Observation ... 19
3.5 CodeBlock ... 19
3.6 Microsoft Excel ... 20
4 Genomförandet ... 21
4.1 CAD & 3D Printing ... 21
4.2 Observationen ... 22
4.3 Analys av beräkningsprogram ... 22

4.3.1 Indata och konstanter sätts ... 24
4.3.2 Huvudloop och Interpolering ... 26
4.3.3 Oljefilmtjockleken ... 26
4.3.4 Oljeflöde ... 27
4.3.5 Subfunktion IRANGE och Flödeskoefficienten ... 28
4.3.6 Temperatur, viskositet, last och effektförlust ... 29
4.3.7 Ny temperatur och kraftens riktning beräknas ... 30
4.3.8 Böjning ... 31
4.3.9 Utdata ... 32
4.3.10 Subfunktion VISC2 & Subfunktion VISC1 ... 33
4.4 Jämförande mellan formler ... 34
5 Analys och resultat ... 36
5.1 Jämförande mellan formler ... 36
5.1.1 Effektförlusten ... 36
5.1.2 Oljeflödet ... 36
5.1.3 Lastkapaciteten ... 37
5.2 Resultat för nytt program ... 38
6 Diskussion ... 42
6.1 Arbete ... 42
6.2 Resultat ... 42
6.3 Hållbar utveckling och Etik ... 43
7 Slutsats ... 44
8 Framtida arbete ... 45
Referenser ... 1
Bilagor ... 1

Figurlista

Figur 1: Karta över Trängslet (Fortum AB, 2023). 1
Figur 2: Trängslets jorddamm (Fortum AB, 2023). 1
Figur 3: Principskiss över ett vattenkraftverk (Skelefteå Kraft AB, 2023). 2
Figur 4: Francisturbinanläggning i genomskärning (Hölcke, 2002). 3
Figur 5: Francisturbinen uppifrån (Hölcke, 2002) 4
Figur 6: Typisk axelsträngturbin (Simmons, 2013) 4
Figur 7: Genomskärning av turbinen i Trängslet. 5
Figur 8: Blockstyrlagret och grundkomponenterna. 6
Figur 9: ASEA tidningen. (ASEA, 1947) 7
Figur 10: Indata gamla beräkningsprogrammet. 7
Figur 11: Utdata gamla beräkningsprogrammet. 8
Figur 12: Hydrodynamiskt glidlager (Khonsari, 2017). 10
Figur 13: Genomskärning av blockstyrlagret uppifrån och från sidan. Där R_b är radien för lagret och R_p är radien för segmentet (Salamone, 1984). 11
Figur 14: Blockstyrlager med förspänning och utan förspänning (Nicholas, 1994). 12
Figur 15: a) Gungande pivotpunkt b) Sfärisk punkt pivotpunkt c) Sfärisk yt pivotpunkt (Zeidan & Herbage, 1991). 13
Figur 16: Uppfodringsspår i segment. 14
Figur 17: Uppfodringsspår för pumpeffekt (Akbarzadeh 2015). 14
Figur 18: Utförandeordning av metoderna. 18
Figur 19: 3D modell av blockstyrlagret. 21
Figur 20: 3D printad modell av lagret. 21
Figur 21: Halslagret i Gullspångs Kraftverk. 22
Figur 22: beräkningsprogrammets struktur. 23
Figur 23:: Matematisk modell för hur relativa excentriciteten beräknas från oljefilmtjockleken. 25
Figur 24: Hur segmenten placeras i cirkeln. 27
Figur 25: IRANGE princip. 28
Figur 26: Oljeflödet i blockstyrlagret. 29
Figur 27: Kraften som påverkar blockstyrlagret. 31
Figur 28: Lastfall för ett segment. 32
Figur 29: Litteraturen och dess diagram och data som användes under jämförandet. 35
Figur 30: Indata och utdata nya programmet. 39
Figur 31: Första sidan av rapporten. 40
Figur 32: Andra sidan av rapporten. 41

Tabellista

Tabell 1: Indata program 24
Tabell 2: Den generella data och speciell data för varje lastfall. 33
Tabell 3: Totala effektförlusten. 36
Tabell 4: Totala oljeflöde. 37
Tabell 5: Totala lastkapaciteten. 38

Symbollista

λ = Slankhetsförhållandet

L = Segmentets axiella längd [m]

D =Axelns diameter [m]

m = Förspänningen i lagret

C_b = Lagerspelet mellan lagret och axeln [m]

C_p = Avståndet mellan axelns mittpunkt och lagrets mittpunkt [m]

R_b = Radien för lagret [m]

R_p = Radien för segmentet [m]

ϕ = Längden till pivotpunkten [m]

B = Segmentets längd [m]

α = Segmentstödsförhållandet

e = Lagrets excentricitet [m]

C = Lagrets lagerspel [m]

ε = Den relativa excentriciteten

h = Oljefilmtjockleken [m]

θ = Lagrets cirkulära koordinatsystem [°]

h_{min} = Den minsta oljefilmtjockleken [m]

H_{min} = Den minsta dimensionslösa oljefilmtjockleken

t_m = Medeltemperaturen i lagret [°C]

t_{mi} = Medeltemperaturen vid inflödet [°C]

Δt_m = Medeltemperaturökningen mellan inflödet och utflödet [°C]

W_r = Den radiella lasten [MPa]

μ = Glidfriktionskoefficienten

Q = Dimensionslösa flödeshastigheten

q_s = Sidoflödeshastigheten [l/min]

q = Flödeshastigheten vid inflödet [l/min]

v = Kinematiska viskositen [mm^2/s]

η = Absoluta viskositeten [Ns/m^2]

ρ = Vätskans densitet [Kg/m^3]

VI = Viskositetindex

L = Viskositet vid 40 °C olja med VI = 0 [mm^2/s]

U = Viskositet vid 40 °C olja med okänd VI [mm^2/s]

H = Viskositet vid 40 °C olja med VI = 100 [mm^2/s]

Y = Viskositet vid 100 °C olja [mm^2/s]

T = Absoluta temperaturen [K]

$B_{Segment}$ = Segmentets bredd [m]

$L_{Segment}$ = Segmentets längd [m]

$\lambda_{Diagram}$ = Förhållandet mellan segmentets längd och bredd

$h_{Pivotpunkt}$ = Dimensionslös oljefilmtjocklek vid pivotpunkten

$h_{Inflödet}$ =Hur mycket större inflödet är än utflödet

$L_{Relativ}$ = Relativ längd där pivotpunkten placeras på segmentet

ε_1 = Den relativa excentriciteten för lastfall 1

ε_2 = Den relativa excentriciteten för lastfall 2

ε_3 = Den relativa excentriciteten för lastfall 3

h_{Konst} = Används för att göra den relativa excentriciteten dimensionslös

$\alpha_{Segment}$ = Graderna där segmenten placeras [°]

I_{Loop} = Antal vara som loopen har gjort [st]

$N_{Segment}$ = Antalet segment [st]

h_{Lager} = Oljefilmtjockleken i mitten av segmentet [m]

$\delta_{Lagerspel}$ = Lagrets radiella lagerspel [m]

$h_{Minimal}$ = Lagrets minsta oljefilmtjocklek [m]

$Q_{Inflöde}$ = Oljeflödet vid inflödet av segmentet [l/min]

$Q_{Diagram}$ = Dimensionslöst oljeflöde från diagram

$Q_{Utflödet}$ = Oljeflödet vid utflödet av segmentet [l/min]

U = Lagrets rotationshastighet [m/s]

Q_{Total} = Lagrets totala oljeflöde [l/min]

$Q_{Koefficient}$ = Flödeskoefficient

T_{Olja} = Oljans temperatur [°C]

$T_{Behållare}$ = Oljans temperatur vid start [°C]

$T_{Inflöde}$ = Oljans temperatur vid inflödet av segmentet [°C]

$T_{Stigning}$ = Oljans temperaturstigning [°C]

$F_{Segment}$ = Lasten på segmentet [kN]

$F_{Diagram}$ = Dimensionslös last från diagram

L_{Aktiv} = Segmentets längd [m]

F_2 = Lasten i x-led [kN]

F_3 = Lasten i y-led [kN]

$E_{Segment}$ = Effektförlusten [kW]

$E_{Diagram}$ = Dimensionslös effektförlust från diagram

T_{Temp} = Temperaturstigningen mellan segmentets inflöde och utflöde [°C]

$A_{Absolut}$ = Absolutvärde för temperaturstignings skillnaden [°C]

F_1 = Den totala lasten [kN]

$\delta_{Böjning}$ = Segmentets böjning [m]

$F_{Maximum}$ = Största lasten på segmentet [kN]

E_{Modul} = Elasticitetsmodulen [GPa]

I_{TM} = Segmentets tröghetsmoment [Kgm^2]

H_0 = Dimensionslös oljefilmtjocklek från diagram

B_t = Dimensionslös lagernummer från diagram

E_0 = Dimensionslös effektförlust från diagram

s_h = Oljefilmtjockleks skillnaden mellan inflödet och utflödet [m]

Q_0 = Dimensionslös oljeflöde från diagram

q_0 = Dimensionslös sidoflöde från diagram

1 Inledning

1.1 Bakgrund

Projektet utförs hos företaget Rainpower AB i kristinehamn som ägs av rainpower som förser marknaden med allt från turbiner till löphjul på den globala vattenkraftsmarknaden. Företaget erbjuder även reservdelar och utför renoveringar, uppgraderingar och service.

Företaget har fått i uppdrag att renovera vattenkraftverket Trängslet i Älvdalens kommun i Dalarna vilket visas i Figur 1. Trängslet är Sveriges högsta jorddamm med en höjd på 125 m vilken syns i Figur 2 och har ett vattenmagasin som är 70 km långt. Byggandet av Trängslet började år 1955 och det första aggregatet sattes i drift år 1960 och vattenkraftverket är fortfarande i drift idag (Fortum, 2023).

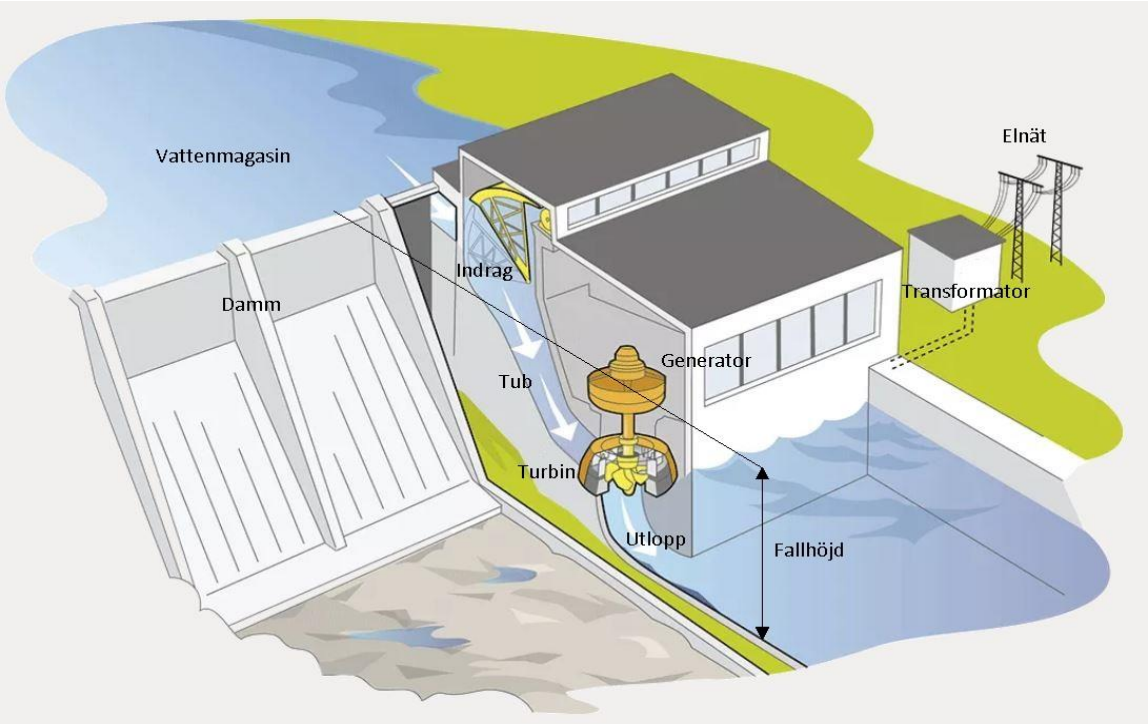
Figur 1: Karta över Trängslet (Fortum AB, 2023).

Figur 2: Trängslets jorddamm (Fortum AB, 2023).

I vattenkraftverket är det den tredje och största turbinen som ska renoveras. Vattenkraftverket ska renoveras med ett nytt löphjul, nya ledskovlar, nytt HPU (High Pressure Unit), nytt blockstyrlager och underhåll av befintliga turbindelar ska utföras. Företaget kommer även utföra demontage och återmontage av hela projektet. Anläggningsarbetet för projektet kommer att utföras under mars-november 2025. För projektet kommer en lösning på blockstyrlager tas fram med hjälp av ett äldre beräkningsprogram. Programmet behöver därför uppdateras och tydliga instruktioner för hur programmet används behöver sammanställas. Beräkningsprogrammet kommer att användas för att få fram dimensionerna till lagret i Trängslet och även framtida lager.

1.1.1 Vattenkraft

För att bättre förstå uppgiften är det bra att veta hur vattnet flödar igenom ett vattenkraftverk och hur strömmen genereras. Detta visas i Figur 3 där vatten samlas i en damm som brukar kallas för ett vattenmagasin. Vattnet samlas i vattenmagasinet innan det släpps igenom ett intag och ner för en tub till turbinen. Här används lägesenergin som uppstår när vatten tar sig från en högre nivå till en lägre nivå. När vattnet flödar igenom turbinen omvandlas lägesenergin till rörelseenergi och turbinen börjar rotera. Rörelseenergin som skapas omvandlas till ström med hjälp av generatorn. Det som avgör hur mycket ström som genereras är fallhöjden som är höjden mellan vattenytan i vattenmagasinet och vattenytan i utloppet (Skellefteå Kraft, 2023). Trängslet har en fallhöjd på 142 m och årligen genereras normalt 651 GWh ström (Fortum, 2023). Strömmen som genereras skickas sedan vidare till en transformator som ökar spänningen innan strömmen skickas ut i elnätet. Vattnet har under tiden flödat igenom turbinen och ut genom utloppet där vattnet återigen rinner vidare (Skellefteå Kraft, 2023).

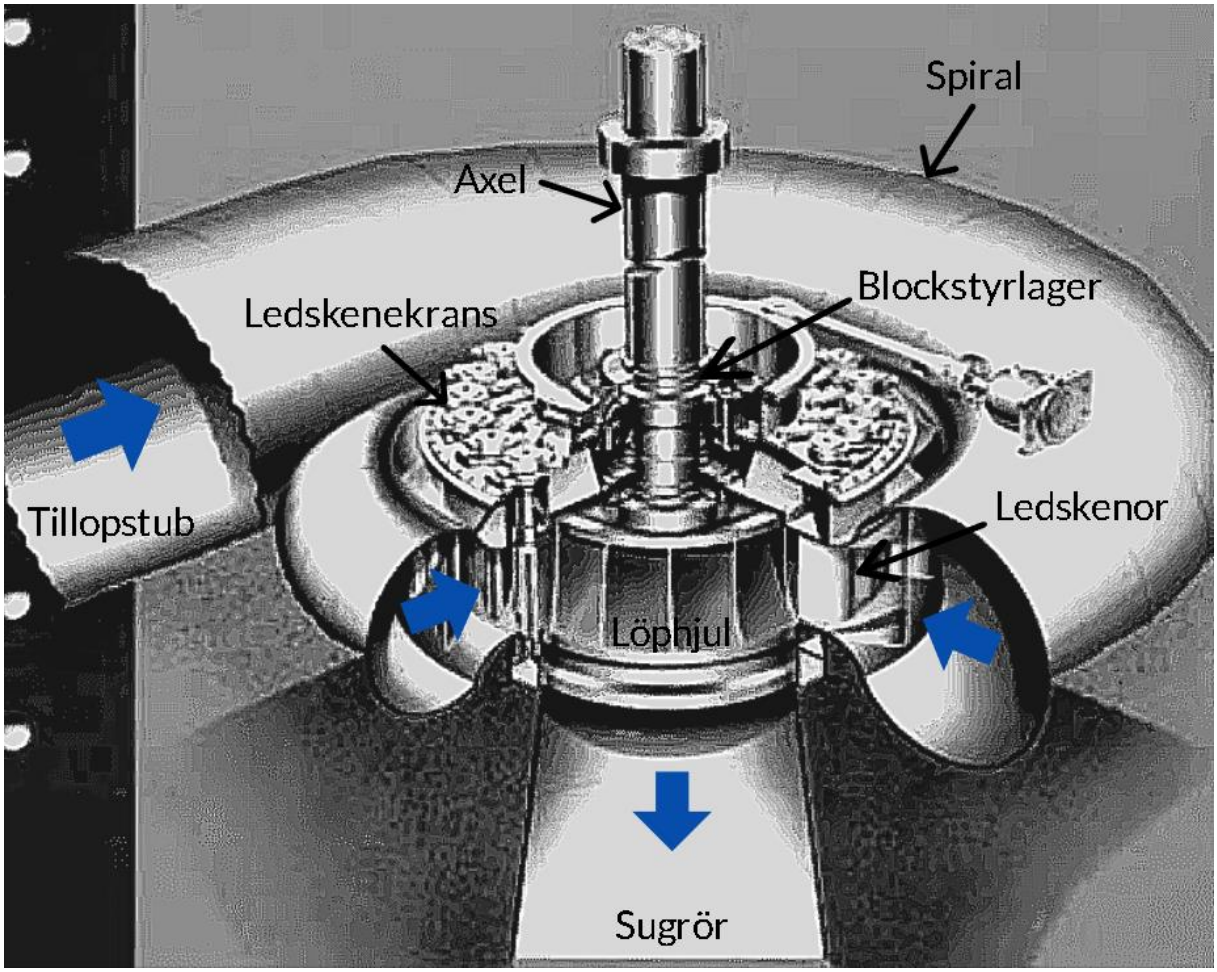


Figur 3: Principskiss över ett vattenkraftverk (Skelefteå Kraft AB, 2023).

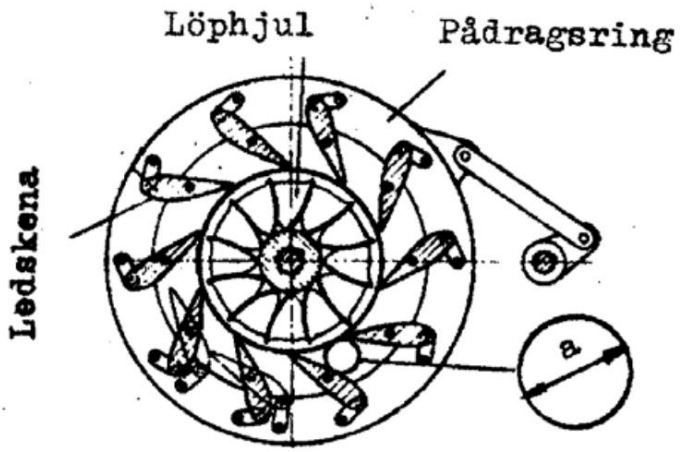
.

1.1.2 Turbinen

Några av de vanligaste turbinerna inom vattenkraft är Peltonturbinen, Francisturbinen och Kaplanturbinen. Turbinen som används i trängslet är en Francisturbin vilken visas i Figur 4 som används vid vatten fallhöjder mellan 40–300 m där det inte sker stora variationer i vattenflödet. Vattnet flödar genom en tilloppstub som slutar i ett spiralhus. Därefter tar sig vattnet igenom ledskenekransen vilket ses i Figur 5 som omsluts av spiralhuset. I ledskenekransen finns vridbara ledskenor som leder vattnet i radiell-tangiell riktning till löphjulet. Ledskenorna används för att justera volymströmmningen av vattnet och vattnets infallsvinkel mot turbinskovlarna. Vattnet leds sedan bort genom ett sugrör som är formad för att diffusorverkan ska ske, vilket gör att rörelseenergin i turbinhjulets utlopp omvandlas till tryck (Hölcke, 2002).

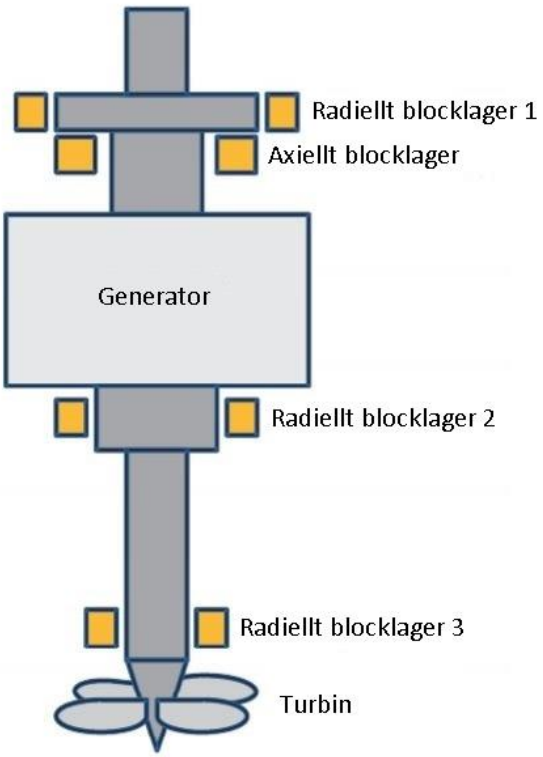


Figur 4: Francisturbinanläggning i genomskärning (Hölcke, 2002).



Figur 5: Francisturbinen uppifrån (Hölcke, 2002)

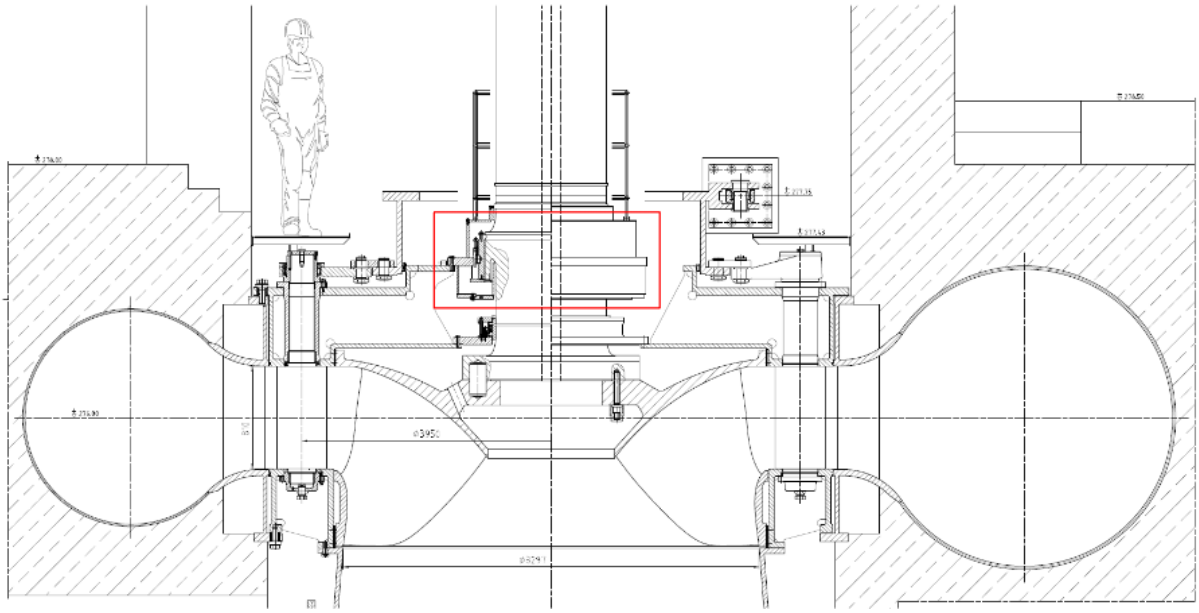
När vattnet flödar genom löphjulet börjar axeln till generatorn att rotera. För att undvika radiella svängningar och krafter används flera styrlager. Styrlagret används även för att hålla axeln i sin position för att undvika stora förflyttningar. Figur 6 visar var lagren brukar sitta och vilka typer av lager som används i en turbin. Inom turbiner är det vanligt att använda blocklager som både kan vara axiella blocklager eller radiella blocklager. Ett annat namn som används till radiella blocklager är blockstyrlager då de fungerar som ett styrlager fast med lagerblock. Ibland kan även dessa blocklager kombineras vilket nämns i en artikel publicerad i en tidning från ASEA (Gynt, 1947). En vanlig turbin brukar bestå av 3 st radiella blockstyrlager för att hålla axeln på plats och ett axiellt blocklager för att hålla uppe generatorn och turbinen. Blockstyrlagret som ska bytas ut i Trängslet är det radiella blocklagret 3 som sitter precis ovanför turbinen. Detta visas i Figur 6.



Figur 6: Typisk axelsträngturbin (Simmons, 2013)

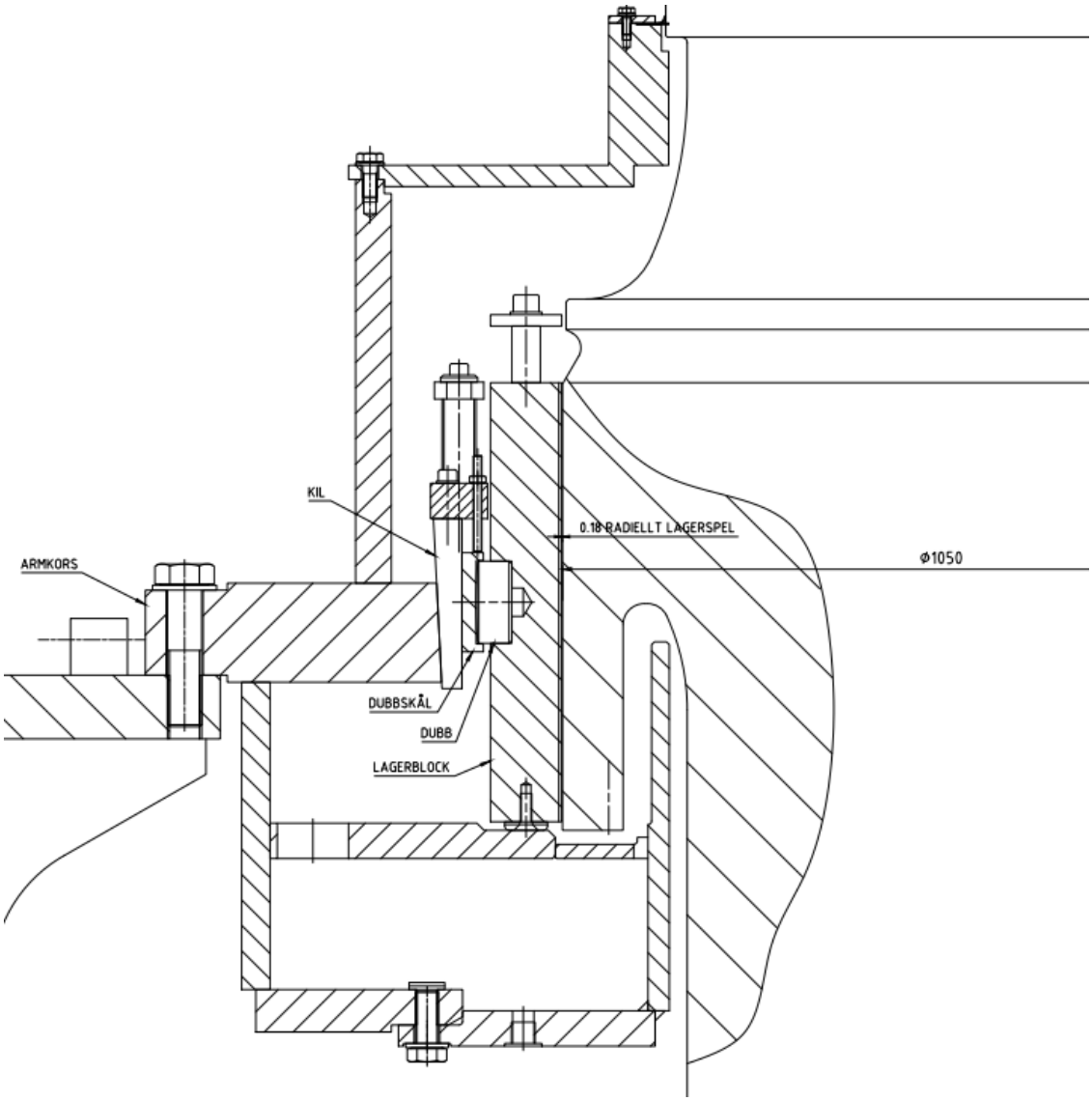
1.1.3 Blockstyrlager

Blockstyrlagret i Trängslet ovanför turbinen visas mer detaljerat i Figur 7 som har tagits fram av företaget. För att lättare se vart blockstyrlagret sitter används en röd rektangel för att rama in lagret.



Figur 7: Genomskärning av turbinen i Trängslet.

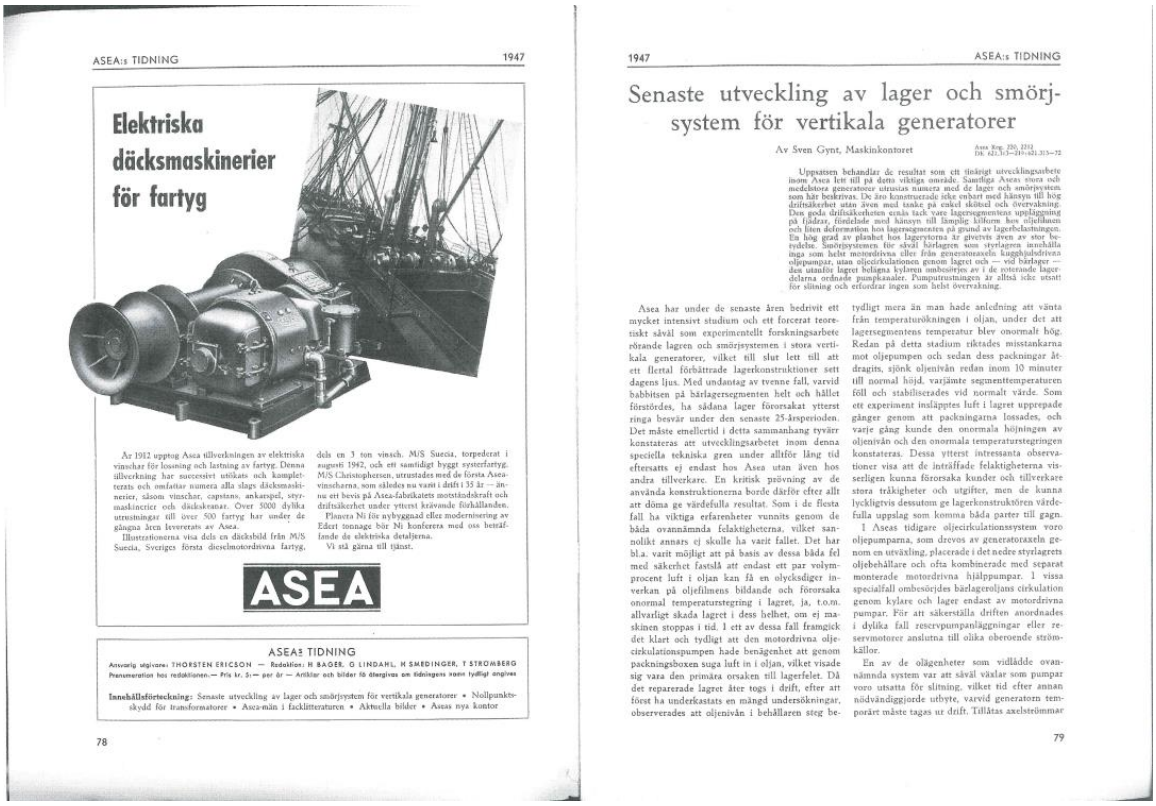
För att skapa hela blockstyrlagret används flera olika komponenter och några av dessa visas i Figur 8. Några av komponenterna som används till blockstyrlagret är lagerblock, dubbar, dubbskålar, kilar och ett armkors. För konstruktionen av blockstyrlagret är några dimensioner redan bestämda för att lagret ska fungera med övriga delar i turbinen. Dessa är att innerdiametern av lagret behöver vara 1050 mm med ett radiellt lagerspel på 0.18 mm. Från uppdragsgivaren Fortum finns det även vissa krav som ställs för blockstyrlagret. Ett av dessa krav är att lagret ska vara tillverkad av vit metall som även kallas för babbitts. Babbitts är en typ av legeringar som är tennbaserade eller blybaserade och är ett av de mest använda materialen inom smörjlager (Schmid et al., 2014). Två andra krav är att lagret ska använda sig av ett självförsörjande smörjsystem och att lagerspelet ska kunna justeras individuellt för varje lagerblock. Det sista är att pivotpunkterna ska använda sig av sfärisk mot sfärisk pivotpunkt.



Figur 8: Blockstyrlagret och grundkomponenterna.

1.1.4 Beräkningsprogrammet

Tidigare har företaget använt ett beräkningsprogram för att få fram dimensionerna till blockstyrlagret. Programmet programmerades år 1984 och några ändringar utfördes i koden år 1986 och efter det har inga ändringar skett. Programmet har omprogrammerats i andra programmeringsspråk tidigare men det senaste programmeringsspråket är Fortran. Fortran är ett parallellt programmeringsspråk och har designats för intensiva beräkningar inom forskning och ingenjörsvetenskap (Fortran-lang, 2023). På grund av att det är ett parallellt programmeringsspråk är det även möjligt att köra flera beräkningar samtidigt (Palach, 2014). Beräkningarna i programmet använder sig av två källor där den första är en tidning som publicerades år 1947 av företaget ASEA (Allmänna Svenska Elektriska Aktiebolaget). Artikeln i tidningen var skriven av Sven Gynt och hade rubriken “Senaste utvecklingen av lager och smörjsystem för vertikala generatorer”. Denna artikel syns i Figur 9 .



ASEA:s TIDNING 1947

Elektriska däcksmaskinerier för fartyg

ASEA:s TIDNING

Ansvarig utgivare: THORSTEN ERICSON — Redaktion: H BAGER, G LINDAHL, H SMEDINGER, T STRÖMBERG

Innehållsförteckning: Senaste utveckling av lager och smörjsystem för vertikala generatorer • Nollpunktsskydd för transformatorer • Asea-män i facklitteraturen • Aktuella bilder • Aseas nya kontor

78

1947 ASEA:s TIDNING

Senaste utveckling av lager och smörjsystem för vertikala generatorer

Av Sven Gynt, Maskinkontoret

79

Figur 9: ASEA tidningen. (ASEA, 1947)

Den andra källan är en bok skriven av Leif Floberg med titeln “Maskinelement” som publicerades år 1971. Från boken är det teorier från kapitlet med lager som användes i beräkningsprogrammet. Till sist utnyttjas även två standarder i beräkningsprogrammet vid beräkningar av viskositeten i oljan som används i lagret. Standarderna är ASTM D341 och ASTM D2270. För tillfället startas beräkningsprogrammet och öppnas i kommandotolken där parametrar som redan är kända matas in. Inmatningen kan ses i Figur 10. När alla parametrar är inmatade beräknar programmet de parametrarna som är viktiga och skriver ut dem i kommandotolken vilka ses i Figur 11. Parametrarna som matas in och skrivs ut är för lagret i Trängslet.

```
 Bearing diameter [mm]?
1050
 Segment height [mm]?
310
 Number of segments?
10
 Segment thickness [mm]?
50
 Diametrical clearance [mm]?
0.36
 Shaft speed [o/min]?
230.77
 Reservoir temperature [deg C]?
45
 ISO VG class for oil [cSt]?
46
 ASME viscosity index? (default=100)
100
```

Figur 10: Indata gamla beräkningsprogrammet.

```
            Segment length =     325.87 mm
Segment height/length ratio =      0.951
          Bearing velocity =      12.69 m/s
                Power loss =      22.27 kW
             Total oil flow =     103.32 l/min
        Hot oil temperature =      52.43 deg C

LOW LOAD
      Min oilfilm thickness =      0.112 mm
              Load capasity =      34.61 kN
      Relative displacement =      0.100
        Radial displacement =      0.018 mm
            Spring constant =  0.120E+07 N/mm
    Max segment temperature =      52.80 deg C
 Segment bending deflection =     0.0108 mm

NORMAL LOAD
      Min oilfilm thickness =      0.040 mm
              Load capasity =     360.04 kN
      Relative displacement =      0.680
        Radial displacement =      0.122 mm
            Spring constant =  0.221E+07 N/mm
    Max segment temperature =      74.10 deg C
 Segment bending deflection =     0.0407 mm

TRANSIENT EXTREME LOAD
      Min oilfilm thickness =      0.020 mm
              Load capasity =     642.23 kN
      Relative displacement =      0.840
        Radial displacement =      0.151 mm
            Spring constant =  0.280E+07 N/mm
    Max segment temperature =     103.31 deg C
 Segment bending deflection =     0.0781 mm
```

Figur 11: Utdata gamla beräkningsprogrammet.

1.2 Problem & Frågeställning

När axeln från löphjulet till generatorn börjar rotera kan radiella svängningar och krafter uppstå. För att minska de radiella svängningarna och krafterna används ett blockstyrlager som håller axeln på plats. Vid utformning av ett blockstyrlager använder Aker Solution ett beräkningsprogram. Ur beräkningsprogrammet beräknas parametrar som används för att dimensionera blockstyrlagret. Beräkningsprogrammet är dock gammalt och behöver analyseras för att se om beräkningarna fortfarande gäller. Till sist vill även företaget att beräkningsprogrammet genererar en rapport med parametrarna som används för att bestämma blockstyrlagret dimensioner.

Frågeställningar som ställs är:

- **Skiljer sig resultatet från programmets beräkningar och data mot litteraturens beräkningar och data?**
- **Finns det alternativa beräkningar från litteraturen som skulle ge bättre resultat?** (Med bättre resultat menas att lagret har liknande lastkapacitet men mindre effektförluster).

1.3 Syfte och mål

Syftet är att analysera beräkningsprogrammet och beräkningarna i det. Detta för att se om programmet behöver skrivas om eller om alternativa program ska användas istället. Beräkningarna analyseras också för att se om nuvarande data och ekvationer gäller eller om alternativa data och ekvationer behöver användas istället.

Målet med projektet är att tillverka ett beräkningsprogram som används för att bestämma dimensionerna till blockstyrlager. Tillsammans med detta ska även utdata visas i en rapport som genereras automatiskt.

1.4 Avgränsningar

Avgränsningar i projektet är följande:

- Projekt utförs inom en viss tid med begränsade resurser.
- Inga tester för val av programmeringsprogram kommer utföras.
- Beräkningar utförs bara för blockstyrlager.
- Bara enkla beräkningar och diagram kommer att utföras och framställas av programmet.
- Bara vertikala turbiner analyseras.
- Tittar inte på olika material i blockstyrlager.

1.5 Översikt

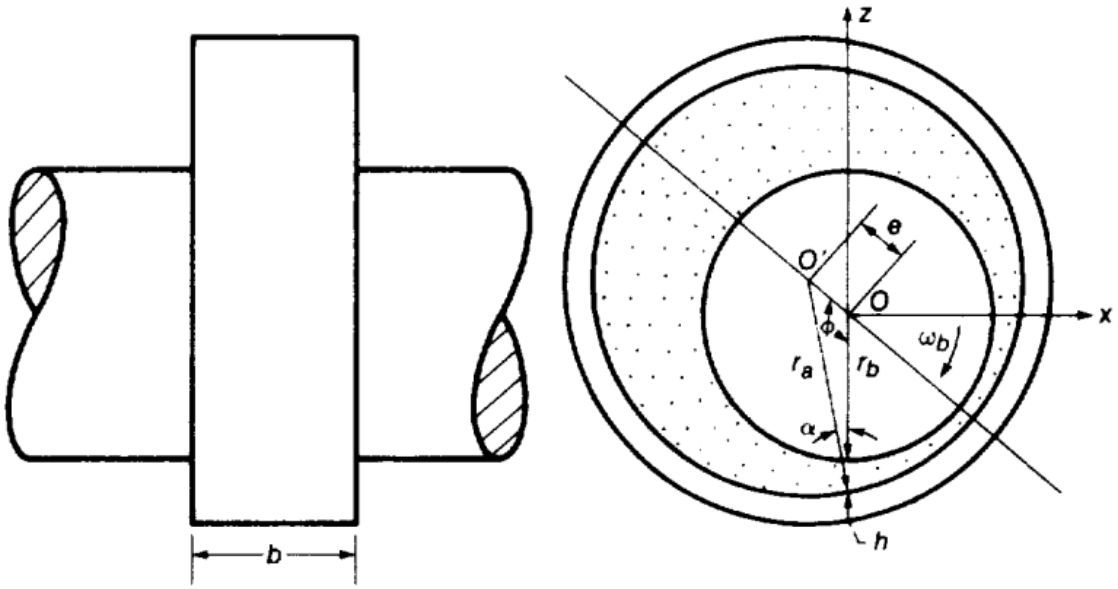
I kapitel 1 introduceras problemet översiktligt och en enkel beskrivning på bakgrunden ges. I kapitel 2 beskrivs de teoretiska referensramarna som används för att förstå metoderna, resultatet och diskussionerna. I kapitel 3 presenteras metoderna som har använts och i kapitel 4 hur de utfördes för att få fram resultatet. Resultatet från metoden/metoderna kommer att redovisas i kapitel 5 och i kapitel 6 kommer diskussionen av projektet och resultatet ske. Till sist kommer en slutsats att tas i kapitel 7 och framtida arbeten tas upp i kapitel 8.

2 Teoretisk referensram

För att kunna besvara frågeställningarna som ställs i tidigare avsnitt behövs kunskap inom området. Kunskapen ska förklara hur ett blockstyrlager ska utformas, vilka parametrar som är viktiga vid utformningen och vad som är viktigast vid designen. Även smörjning är viktigt när hydrodynamiska lager används och därför kommer även kunskap inom detta förklaras. Frågeställningarna som ska besvaras är de som nämndes i kapitel 1.2.

2.1 Hydrodynamiska glidlager

Ett vanligt glidlager brukar bestå av en axeltapp som kan rotera inuti en bussning ett exempel ses i Figur 12. Glidlagret kan var fullfilms-, blandfilms- eller tunnfilmssmorda och ibland helt osmorda. När lagret är fullfilmssmorda är ytorna helt separerade ifrån varandra av smörjfilmen. När de är helt separerade från varandra av smörjfilmen under drift kallas glidlagret för ett hydrodynamiskt glidlager. För att hålla ytorna separerade hela tiden behövs därför en kontinuerlig tillförsel av smörjmedel. Ett hydrodynamiskt glidlager kan inte hålla ytorna fullfilmssmorda vid start- och stoppförlopp utan är då tunnfilms- och blandfilmssmorda. För den hydrodynamiska lagerteorin är det Reynolds ekvation som lägger grunden. Ekvationen är en andra ordningens partiella differentialekvation för trycket mellan lagerytor som har eller bildar en kilformad spalt och rör sig i förhållande till varandra. För att bygga upp det bärande trycket och övervinna oljans viskösa motstånd förbrukar hydrodynamiska glidlager energi. Vid konstruktion av hydrodynamiska glidlager brukade bara bärigheten vara viktig men idag ska även låga effektförluster uppnås (Björklund et al., 2015).



Figur 12: Hydrodynamiskt glidlager (Khonsari, 2017).

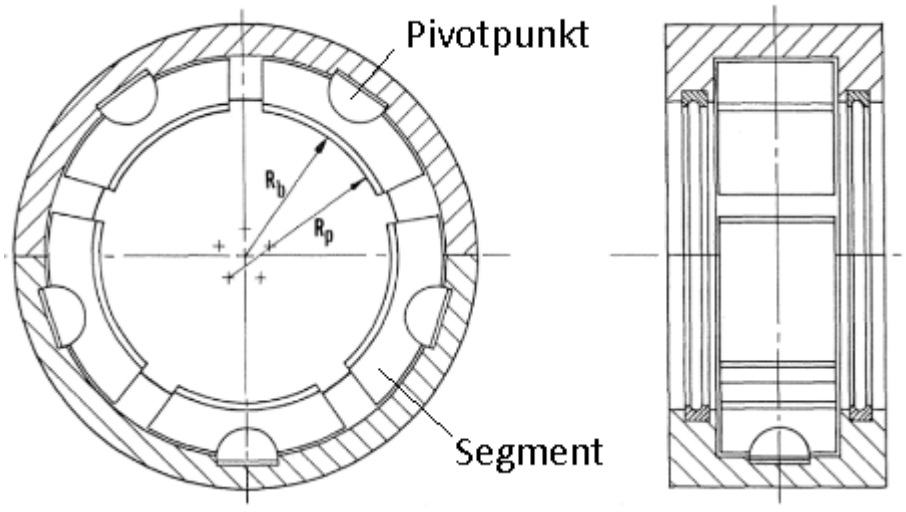
2.1.1 Laster, flöden och energiförluster

Inom hydrodynamiska glidlager finns det många viktiga parametrar som är viktiga när designen av lagret utförs. En av dem är lastkapaciteten för lagret som avgör hur stora krafter som lagret klarar av innan

oljefilmtjockleken blir för tunn. Detta kan leda till att lagret långsamt slits ut vilket i sin tur kan leda till att lagret havererar. Den andra viktiga parametern är flödeshastigheten i lagret som visar hur snabbt lagret pumpar runt oljan. Om hastigheten inte är tillräckligt hög kyls inte oljan ner vilket kan leda till att oljefilmtjockleken minskar på grund av viskositet-temperaturförhållandet. Till slut kan det leda till att lagret havererar när materialet börjar deformeras och inte klarar temperaturen längre. Den sista viktiga parametern som nämns här är energiförlusten på lagret som har blivit allt viktigare. Vid större effektförluster ökar energiomvandlingen till värme vilket gör att lagret blir varmare snabbare. Det gör även att axeln roterar långsammare än vad den hade kunnat göra vilket kan vara avgörande i vissa fall. Dessa parametrar beräknades förr med Reynold's ekvation men kan idag tas fram med diagram som har tagits fram och kan därför beräknas snabbare (Schmid et al., 2014). Idag finns många olika diagram att använda men vid användning av dessa diagram beräknas alltid diameter-tjocklek förhållandet. Sedan används antingen oljefilmtjockleken, Sommerfelds tal eller den relativa excentriciteten för att få fram ett resultat.

2.2 Design av Blockstyrlager

Inom området hydrodynamiska glidlager finns det många olika designvarianter som har sina unika egenskaper. En av dessa design varianter är blockstyrlagret. Blockstyrlagret består utav segment som sitter runt insidan av lagerhuset. Segmenten sitter fast i lagerhuset med hjälp av en pivotpunkt på varje segment. Designen av blockstyrlagret brukar användas för att stabilisera de roterande maskindelarna i maskiner med höga hastigheter (Jones & Martin, 1979). Figur 13 nedan visar ett blockstyrlager med 5 st segment där även pivotpunkterna är synliga.



Figur 13: Genomskärning av blockstyrlagret uppifrån och från sidan. Där R_b är radien för lagret och R_p är radien för segmentet (Salamone, 1984).

2.2.1 Segment

Slankhetsförhållandet

Antalet segment som sitter i lagerhuset kan variera beroende på vad lagret ska utföra och hur stora krafterna är som påverkar lagret. Inom större hydrauliska strömmningsmaskiner brukar 10 eller flera

segment användas (Simmons, 2013). Ett viktigt förhållande vid utformning av segmenten är mellan den axiella längden L på segmentet och axelns diameter D som formuleras följande:

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

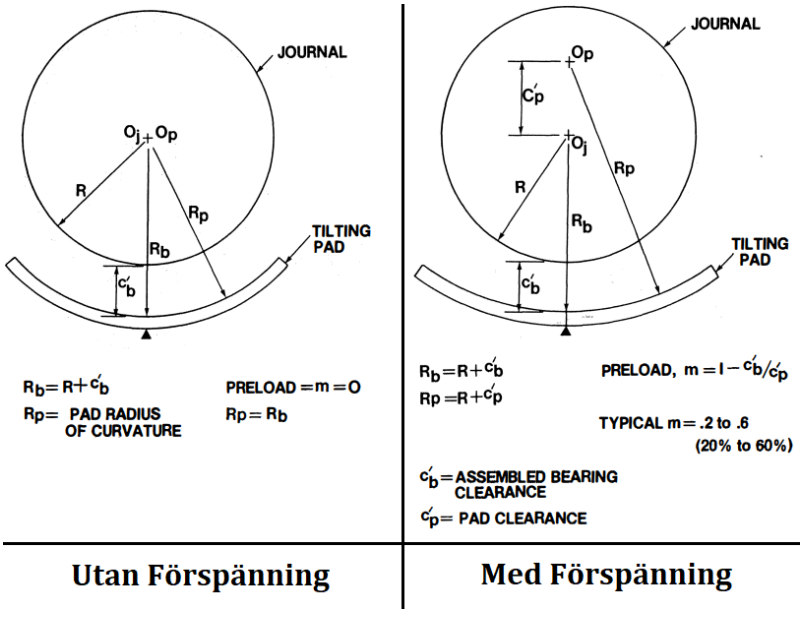
Genom att öka slankhetsförhållandet λ ökar lagrets dämpning och lagrets styvhet minskar och tvärtom när förhållandet minskar. Ett rimligt värde på slankhetsförhållandet brukar vara 0,75 men vid extrema fall brukar värdet 1.0 användas (Nicholas, 1994).

Förspänning

Vid utformning av blockstyrlagret beräknas även skillnaden mellan radien till segmentets mittpunkt och radien till segmentets yttre punkt kan ses i Figur 14. Skillnaden mellan radierna kallas förspänningen och beräknas på följande sätt:

$$m = 1 - \frac{C_b}{C_p}$$

där C_b är lagerspelet mellan lagret och axeln. C_p är avståndet mellan axelns mittpunkt när den är förskjuten och lagrets mittpunkt. Detta kan ses i Figur 14. Värdet på m visar hur stor förspänningen är och brukar vanligen hållas mellan 0,2 - 0,6 men kan vara högre vid extremfall. När blockstyrlagret utformas med förspänningar bildas en konvergerande filmsektion vilket gör att hydrodynamiska krafter bildas även om lager lasten närmar sig noll. Förspänningen på ett blockstyrlager kan även vara noll och vid detta tillfälle är R_b = R_p och C_b = C_p (Nicholas, 1994). Skillnaden på ett blockstyrlager med förspänningar och utan visas nedan i Figur 14. I figuren visas även axelns radie R, O_J som är axelns mittpunkt och O_P som är segmentets radiemittpunkt.



Figur 14: Blockstyrlager med förspänning och utan förspänning (Nicholas, 1994).

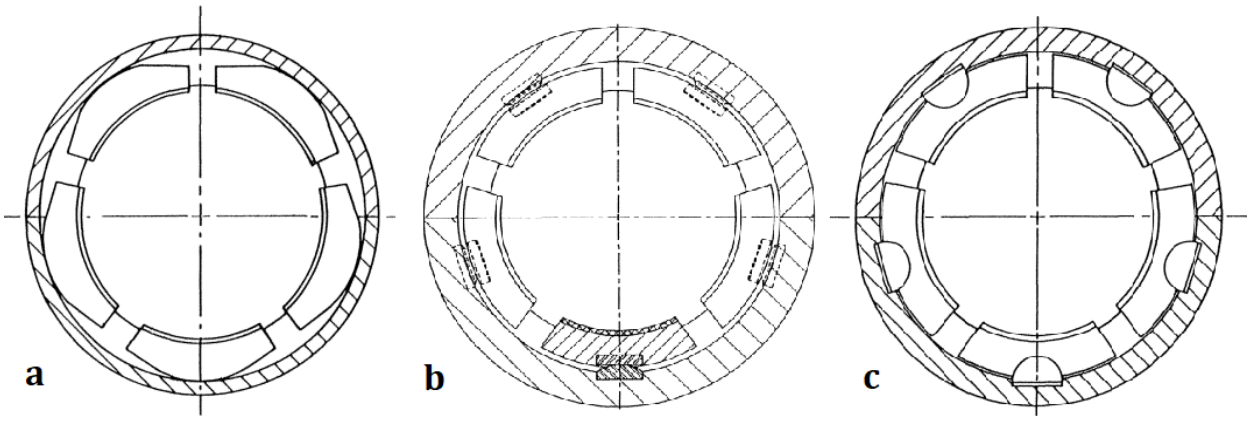
2.2.2 Pivotpunkter

Pivotpunkterna används för att sätta samman segmentet med lagerhuset men de kan även vrida sig för att skapa en egen håldesign. Fördelen med pivotpunkterna är att varje segment kan vrida sig själv och

skapa en egen tryckprofil. Det är denna funktion som gör att blockstyrlagret kan reducera och undvika självinducerade vibrationer om förhållandena är rätt (Salamone, 1984). Pivotpunkterna brukar oftast placeras mellan 55 - 60% av segmentets längd där följande formel används:

$$\alpha = \frac{\phi}{B}$$

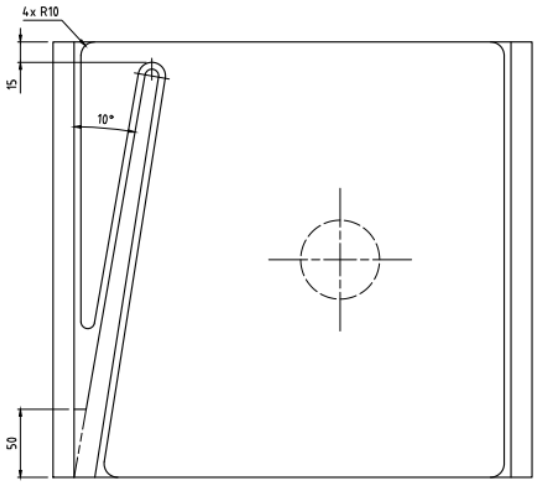
Där ϕ är längden till pivotpunkten och B är segmentets längd. Den grekiska bokstaven α är segmentstödsförhållandet och är dimensionslöst. Pivotpunkterna placeras mellan intervallet 55 - 60% eftersom att det ökar lagrets lastkapacitet (Khonsari & Booser, 2017). Designen på hur pivotpunkterna sitter fast med lagerhuset kan variera men de vanligaste är de tre typerna i Figur 15.



Figur 15: a) Gungande pivotpunkt b) Sfärisk punkt pivotpunkt c) Sfärisk yt pivotpunkt (Zeidan & Herbage, 1991).

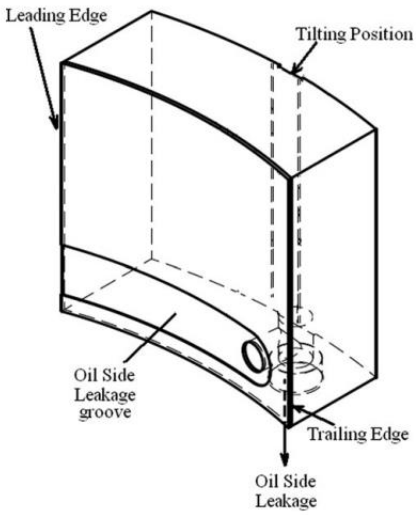
2.2.3 Uppfodringsspår

I vattenkraftverk skapar man blockstyrlagren så att de är självsmörjande, detta kan ske på olika sätt (Akbarzadeh 2015). Med skisserna från företaget ligger segmenten i ett oljebad där oljenivån går upp till cirka ⅓ av segmentets höjd. För att fördela oljan jämt över segmenten så används ett uppfodringsspår som visas i Figur 16 . När axeln roterar så gör uppfodringsspåret att oljan följer med axeln och driver upp oljan vilket fördelar oljan över hela lagret och skapar oljefilmen.



Figur 16: Uppfodringsspår i segment.

Spår kan även göras för att skapa en pump för extern kylning av oljan. Då gör man ett längsgående spår och hål. Detta visas i Figur 17. För att ansluta varje segment med rör till en extern oljekylare och därmed skapas en pumpeffekt och därför behöver man ingen extern pump för att skapa kylning via oljekylare.



Figur 17: Uppfodringsspår för pumpeffekt (Akbarzadeh 2015).

2.2.4 Excentricitet

Excentricitet är avståndet mellan förskjutningen av axelns mittpunkt och lagrets mittpunkt. Detta kan ses i Figur 12. Den betecknas oftast med ett e och används tillsammans med lagerspelet som i detta fall betecknas som C. Tillsammans kan excentricitetförhållandet beräknas vilket är en viktig parameter för att utforma blockstyrlagret. Excentricitet förhållandet betecknas oftast med den grekiska bokstaven ε och brukar kallas den relativa excentriciteten. För att beräkna ε brukar följande formel användas:

$$\varepsilon = \frac{e}{C}$$

För att inte få stora effektförluster brukar excentricitetförhållandet hållas mellan 0,5 - 0,85. För att bestämma viktiga parametrar för lagret behöver excentricitet förhållandet oftast beräknas först (Khonsari & Booser, 2017).

2.2.5 Oljefilmtjockleken

Oljefilmtjockleken är en viktig parameter när designen av blockstyrlagret bestäms. För att beräkna oljefilmtjockleken vid varje segment används följande formel:

$$h = C + e\cos\theta$$

Där C är lagerspelet, e är excentriciteten och θ är ett cirkulärt koordinatsystem som visar vart oljefilmtjockleken beräknas. För att beräkna den minsta oljefilmtjockleken används följande formel i stället:

$$h_{min} = C(1-\varepsilon)$$

Där den relativa excentriciteten ε används. Den minsta oljefilmtjockleken h_{min} används för att se om lagret kan fungera ordentligt. Detta utförs genom att se om den minsta oljefilmtjockleken är större än den minsta tillåtna oljefilmtjockleken som får användas beroende på ytjämnheten på axeln och segmenten. Den minsta oljefilm tjockleken bör beräknas efter att temperaturökningen har beräknats på grund av viskositet-temperaturförhållandet. Detta utförs för att se till så att det inte sker materialslitage eller termiska fel i lagret. Problem kan även ske om oljefilmtjockleken är för stor. Detta kan leda till sämre vibrationsstabilitet eller att lagret blir onödigt stort vilket leder till onödiga energiförluster. I stora turbingeneratorer rekommenderas därför en tjocklek mellan 0,075 - 0,125 mm för den minsta oljefilmtjockleken (Khonsari & Booser, 2017).

Inom tabellerna som kan användas inom lagerteorin för att snabbt få ut ett svar kan den minsta dimensionslösa oljefilmtjockleken H_{min} användas. Denna beräknas med följande formel (Schmid et al., 2014):

$$H_{min} = \frac{h_{min}}{C} = 1 - \varepsilon$$

2.3 Smörjning

2.3.1 Temperatur

På grund av viskositet-temperaturförhållandet i oljor är det även viktigt att beräkna medeltemperaturen i lagret. Temperaturen av oljan i lagret ökar när skjuvningar sker i oljan vilket gör att temperaturen är lägre där oljan kommer in och högre där den kommer ut. För att beräkna medeltemperaturen t_m nämner Schmid et al. (2014) att följande formler ska användas:

$$t_m = t_{mi} + \frac{\Delta t_m}{2}$$

Där t_{mi} är medeltemperaturen vid inflödet av oljan och Δt_m är medeltemperaturökningen mellan inflödet och utflödet av oljan. För att beräkna medeltemperaturökningen används följande formel:

$$\Delta t_m = \frac{8.3 W_r \left(\frac{R_b}{C_b}\right) \mu}{Q\left(1 - \frac{0.5 q_s}{q}\right)}$$

Där W_r är den radiella lasten i MPa, R_b är lagrets radie, C_b är lagerspelet, μ är glidfriktionskoefficienten, Q är det dimensionslösa flödeshastigheten, q_s är sidoflödet och q är flödeshastigheten (Schmid et al., 2014).

2.3.2 Viskositet

Många vätskor flödar i olika hastigheter och hur snabbt de flödar beror på vätskans viskositet. Vid mätningar av viskositet i vätskor observeras det hur mycket motstånd vätskan gör vid rörelse. Vad viskositeten visar är hur seg vätskan är och hur stora de interna friktionskrafterna är. Denna mätning av viskositeten kallas för absolut viskositet och kan användas för att få fram den kinematiska viskositet med följande formel:

$$\nu = \frac{\eta}{\rho}$$

Där ν är den kinematiska viskositeten, η den absoluta viskositeten och ρ vätskans densitet. Den kinematiska viskositeten skrivs i enheten mm^2/s men brukar även skrivas med enheten centistokes som förkortas som cSt (Khonsari & Booser, 2017).

Viskositetindex

VI (Viskositetindex) används för att visa den relativa minskningen i viskositeten vid stigande temperaturer. I oljor med större *VI* minskar viskositet mindre mellan 40°C och 100°C när temperaturen stiger (Khonsari & Booser, 2017). När *VI* är mindre än 100 används följande formel:

$$VI = \frac{L - U}{L - H} \cdot 100$$

där L är viskositeten för 40°C olja med *VI* = 0. H är viskositeten för 40°C olja med *VI* = 100 och *U* är viskositeten för 40°C olja där *U* är okänd. För att använda 100°C i stället ersätts den med 40°C och samma formel används. För att få reda på värdena till *L* och *H* används tabeller från standarden ASTM D2270 som är framtagna av ASTM (American Society for Testing and Materials). Om *VI* skulle vara större än 100 används följande formel istället:

$$VI = \left(\frac{antilog\ N - 1}{0.00715}\right) + 100$$

där *N* är följande:

$$N = \frac{log\ (\log(H)) - log\ (\log(U))}{log\ (\log(Y))}$$

där *Y* också hämtas i tabellerna från standarden ASTM D2270. *Y* är den kinematiska viskositeten vid 100°C för oljan som ska beräknas (American Society for Testing and Materials [ASTM], 2016).

Viskositet-Temperaturförhållande

Viskositeten i oljor påverkas av temperaturen där viskositeten minskar när temperaturen ökar. Med detta förhållande och standarden ASTM D341 kan den kinematiska viskositeten beräknas i en annan punkt. För att kunna utföra beräkningarna måste temperaturen vara känd i två kinematiska viskositetpunkter. För att beräkna den kinematiska viskositeten i en annan punkt används följande formel:

$$log\ (\log(\nu + 0.7)) = A - B\ log\ (T)$$

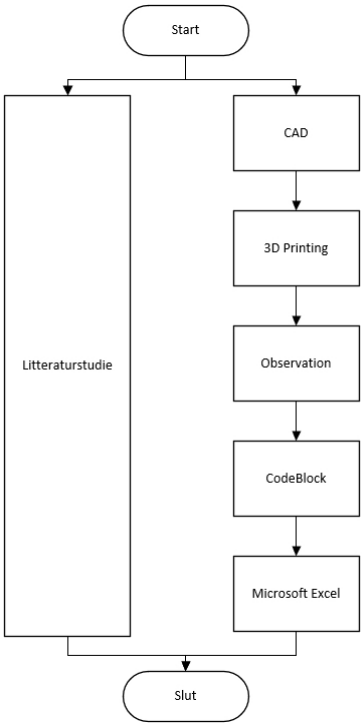
Där ν är den kinematisk viskositeten i enheten cSt och T är den absoluta temperaturen i enheten kelvin. För att beräkna den kinematisk viskositeten i en annan punkt måste konstanterna A och B beräknas för given olja (American Society for Testing and Materials [ASTM], 2020).

3 Metod

För att få svar på frågeställningarna som ställdes i början har flera olika metoder använts. För att göra det lättare att förstå i vilken ordning som metoderna utfördes har ett flödesschema vilket visas i Figur 18 använts för att beskriva processens gång. Under arbetet har litteraturstudien utförts parallellt med de andra metoderna från början till slut. Detta på grund av alla områden som har behövts undersökas. Vid sidan av litteraturstudien används CAD för att ta fram en 3D modell av blockstyrlagret. Modellen användes för att förstå hur blockstyrlagret var konstruerat och hur det fungerade. För att förstå konstruktionen ännu bättre användes 3D Printing där en mindre modell togs fram i plast.

Blockstyrlagret är dock bara en del av turbinen och för att verkligen förstå hur det fungerar och konstrueras utfördes en observation på ett studiebesök i Gullspångs vattenkraftverk. Detta för att förstå hur alla delar hänger ihop och hur de kan påverka varandra. Det är även bra att se hur ett vattenkraftverk ser ut i verkligheten eftersom många små delar kan lätt försummas.

Beräkningsprogrammet som används av företaget är skriven med programmeringsspråket Fortran. För att kunna utföra ändringar i programmet behövde en IDE (Integrerad utvecklingsmiljö) användas. En open-source IDE som var lätt att använda och kunde öppna Fortran-filer var CodeBlock. Eftersom beräkningsprogrammet skulle uppdateras ville företaget att det skulle skrivas i ett program som de redan använder och det ska vara enkelt att använda. Därför hade det redan från början bestämts att Microsoft Excel skulle användas. Microsoft Excel användes även för att jämföra beräkningarna i beräkningsprogrammet mot beräkningarna i litteraturen.



Figur 18: Utförandeordning av metoderna.

3.1 Litteraturstudie

En litteraturstudie utförs ofta för att få en översikt inom ett nytt ämnesområde som ska undersökas. Här kan litteraturstudien hjälpa till att se vad som finns och vilken forskning som utförs. Detta kan göra det lättare att få fram frågeställningar inom området som skulle vara värda att studera (Säfsten & Gustavsson, 2019). För att få mer kunskap inom området vattenkraftverk, turbiner, programmering och blockstyrlager utfördes en litteraturstudie. För att få mer kunskap inom områdena vattenkraftverk, turbiner, programmering och blockstyrlager utfördes en litteraturstudie. Litteraturstudie skulle hjälpa till att hitta frågeställningar som kan vara intressanta och värda att studera. Studien utfördes även för att förstå hur allting fungerade.

3.2 CAD

CAD är en förkortning av Computer Aided Design och är ett samlingsnamn för datorprogram för att kunna skapa 2D och 3D modeller. Från början var CAD bara en ren ersättning för ritbordet för att göra enkla ritningar. Ju mer datorkraften ökat så kan man numera göra avancerade 3D modeller och göra konstruktionsberäkningar direkt i CAD programmet Hallberg (2015). Att använda en 3D modell för att kunna visa en produkt har flera fördelar bland annat genom att man kan vrida och visa objektet från många vinklar.

Autodesk Inventor 2023 användas som modelleringsverktyg för en ökad förståelse för hur lagret ser ut och fungerar. 3D modellen används även för att 3D printa en modell.

3.3 3D Printing

3D Printing är en Additiv tillverkningsmetod som har fördelen att man kan göra komplexa geometrier och fortsatt hålla ställtider nere. Nackdelen är att det blir lång tillverkningstid med denna metod. den totala tiden för att få fram en produkt är kort och inte arbetskrävande under större del av tiden (Kalpakjian et al., 2014). Detta gör metoden lämplig till prototyptillverkning och tillverkning i små serier. Materialet PLA/polylaktid användes för att printa ut 3D-modellen som är en plast gjord på majsstärkelse eller rörsocker och vid högre temperaturer är denna plast komposterbar (Kale et al., 2007).

3.4 Observation

En metod för att lära sig mer om hur något fungerar kan vara att titta på det i sin naturliga miljö och ett annat ord för denna metod är observation. Inom forskning är observation en vanlig teknik för att samla in data för det som ska undersökas (Säfsten & Gustavsson, 2019). För att få mer kunskap om hur ett vattenkraftverk fungerar och hur det ser ut utfördes en observation med ett studiebesök i ett vattenkraftverk. Studiebesöket anordnades av företaget Aker Solution och besöket var i vattenkraftverket i Gullspång som ägs av företaget Fortum.

3.5 CodeBlock

Beräkningsprogrammet som skulle uppdateras hade en exekverbar fil som används för att köra programmet. Programmet hade även en FOR-fil vilket innehåller kod som är skriven med

programmeringsspråket Fortran. Detta är koden som används för att kunna köra programmet med den exekverbara filen. För att förstå beräkningsprogrammet i grunden var det viktigt att kunna lägga till rader i koden för att se i vilken ordning som delar av koden beräknades. Det var även viktigt att kunna stoppa koden när det behövdes för att se vad programmet gjorde. För att göra detta behövde filen öppnas som programmet var skrivet i. Därför användes CodeBlocks för att öppna filen och för att kunna lägga till delar i filen. CodeBlocks är en C/C++/Fortran IDE som innehåller en texteditor, kompilator, länkare, m.m. (Code::Block, 2023). Versionen av CodeBlock som användes var version 20.03. Kompilatorn som användes för att kunna köra filen i CodeBlocks är MinGW som var version 0.6.2.

3.6 Microsoft Excel

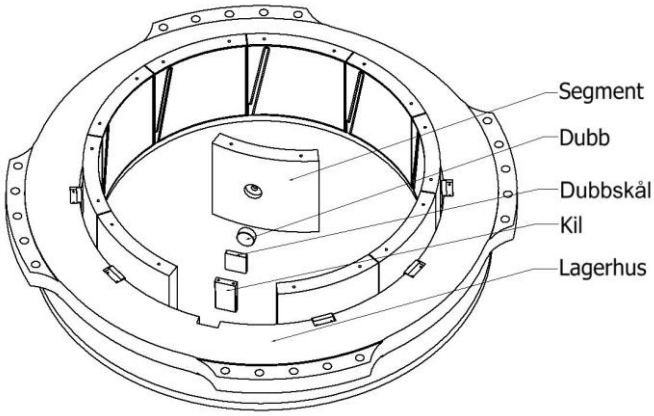
Microsoft Excel är ett kalkylprogram som är skapad av Microsoft och är det mest använda i världen. Programmet skapades för att kunna utföra matematiska beräkningar i tabeller men kan idag utföra uppgifter som att skapa ett diagram eller organisera listor (Alexander & Kusleika, 2022). Microsoft Excel är programmet som användes för att skriva det nya beräkningsprogrammet. Här användes även VBA (Visual Basic for Applications) för att kunna använda for-loopar och arrayer. VBA är ett programmeringsspråk som är skrivet av Microsoft och används inom Excel för att göra uppgifter automatiskt (Microsoft, 2023). Microsoft Excel kommer även användas för att jämföra beräkningarna mot varandra i diagram. Excel används även för att företaget ansåg att programmet var bra för att de redan använde det och var erfarna med programmet.

4 Genomförandet

I genomförandedelen kommer hela processen av arbetet att presenteras mer i detalj för hur det gick till. Den första delen i genomförandet visar processen för skapandet av 3D modellen i CAD tillsammans med 3D printing processen. Därefter presenteras observationen som utfördes på ett vattenkraftverk i Gullspång. I de två sista delarna av genomförandet analyseras först hela beräkningsprogrammet block för block för att förstå hur programmet utför beräkningarna. Till sist jämförs beräkningarna från programmet med de beräkningarna som fanns i litteraturen som användes.

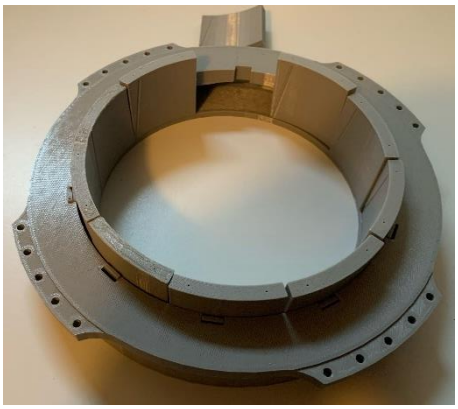
4.1 CAD & 3D Printing

För att lättare kunna förstå parametrar som påverkar lagret och hur ett blockstyrlager fungerar och för att kunna diskuteras bättre så togs det fram en 3D modell av ett blockstyrlager med hjälp av olika ritningar som erhållits från Aker Solution. 3D modellen som skapades i CAD visas i Figur 19. I 3D modellen är det endast lagret som har modellerats och därför har delarna runt omkring inte tagits med.



Figur 19: 3D modell av blockstyrlagret.

Med 3D modellen som togs fram printades lagret ut i en 3D printer och visas i Figur 20. Detta utfördes för att ytterligare öka förståelsen för grunddesignen i ett blockstyrlager inom vattenkraft. Vissa delar sattes ihop innan de printades ut för att få ett lager som hänger ihop bättre. Lagret gjordes i skala 1:8 eftersom det var det största formatet printern klarade.



Figur 20: 3D printad modell av lagret.

4.2 Observationen

Ett besök på Gullspångs Kraftstation som ägs av Fortum gjordes för att skapa en förståelse för hur ett kraftverk fungerar och se vart lagret som programmet ska beräkna sitter. Gullspångs Kraftstation byggdes år 1908 och var då på 20 MW. År 1972 genomfördes en större ombyggnad av kraftstationen och den blev då på 40 MW. Besöket utfördes även för att få en allmän bild av hur ett kraftverk ser ut. Under besöket observerades den större delen av turbinen från toppen och ner. Högst upp satt ett lager för att hålla uppe alltihop och en våning ner fanns generatorn som skapade el. Ytterligare två våningar ner fanns turbinlocket med ett till lager precis ovanför som användes för att hålla axeln på plats. Lagret som satt här visas i Figur 21 och just i detta kraftverk var lagret av typen halslager som också faller under kategorin hydrodynamiska lager. I Figur 21 är även armkorset synligt som är infäst i turbinlocket. Tyvärr var det inte möjligt att ta sig längre ner för att se hur löphjulet i turbinen såg ut men det nämndes att ett kaplanlöphjul användes för denna turbin.

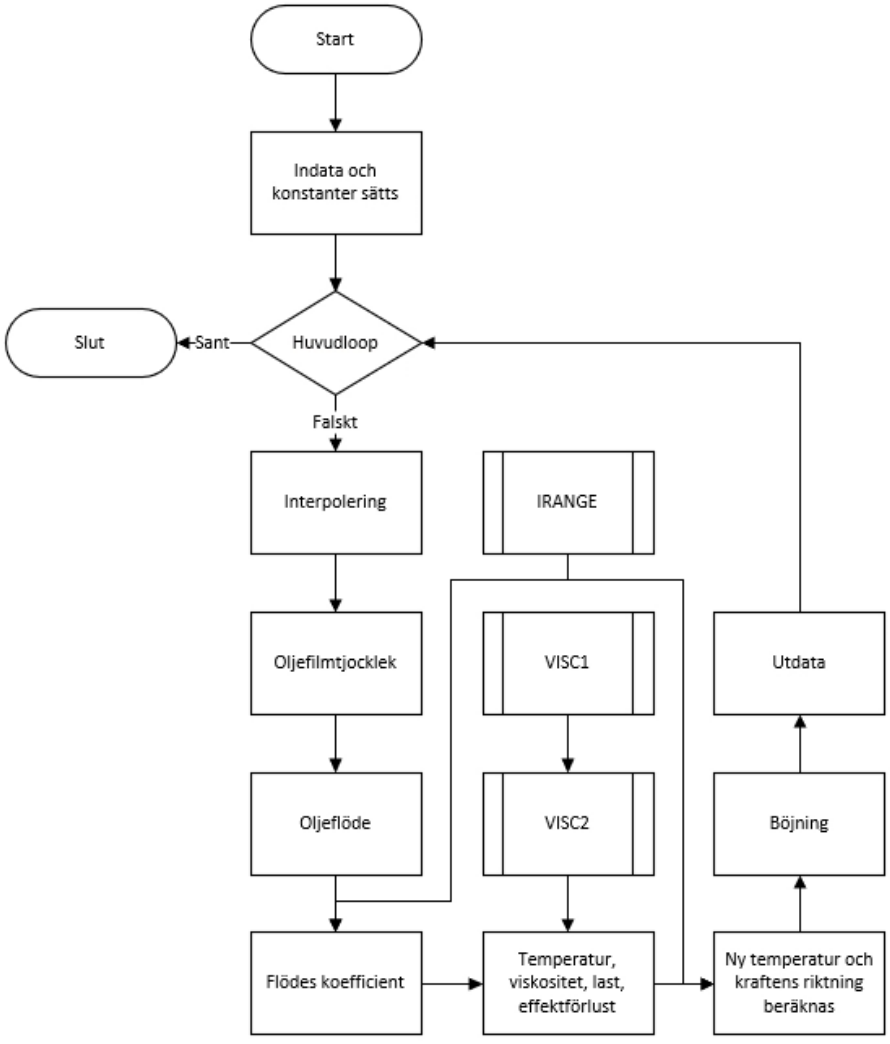
Figur 21: Halslagret i Gullspångs Kraftverk.

4.3 Analys av beräkningsprogram

För att besvara frågan behövde först det gamla beräkningsprogrammet analyseras för att undersöka vad de olika delarna beräknade. Det var även viktigt att undersöka vilken data det var som användes och vart data hade hämtats från. I koden fanns det dokumenterade stycken som beskrev hur funktioner i programmet fungerade och även vad de olika variablerna var. Några av funktionerna och variablerna saknade kommentarer helt eller var minimalt beskrivna. Det fanns även inga kommentarer som nämnde vilka formler som hade används eller vilken data som hade används från litteraturen. För att kunna analysera koden användes IDE:n CodeBlocks tillsammans med kompilatorn MinGW. Detta gjorde det

möjligt att bryta ner koden i delar för att se vad varje del beräknade och vilka variabler som användes. CodeBlocks gjorde det även möjligt att kunna lägga till kod i programmet vilket gjorde det möjligt att få fram data som beräknades i bakgrunden. Vissa formler i beräkningsprogrammet gick att identifiera utan litteraturen som nämndes i koden och andra kunde identifieras med hjälp av den. Några av formlerna saknar beskrivning, dokumentationer och fanns inte med i litteraturen. Dessa fick istället lösas med annan litteratur eller med hjälp av matematiska modeller. Hur koden var strukturerad visas med en enkel illustration i Figur 22.

För analysen användes förbestämda indata som matades in av användaren i förväg. Indata som användes var de som stämde med blockstyrlagret som skulle användas i Trängslet vilka ses i Tabell 1.



Figur 22: beräkningsprogrammets struktur.

Tabell 1: Indata program

Indata		**Enhet**
Lagrets diameter	1050	mm
Segmenthöjd	310	mm
Antal segment	10	st
Segmenttjocklek	50	mm
Lagrets diametriska lagerspel	0,36	mm
Axelns rotationshastighet	230,77	rpm
Behållarens temperatur	45	ºC
ISO VG Class för oljan	46	cSt
ASME Viskositetindex	100	Enhetslös

4.3.1 Indata och konstanter sätts

Den första delen av koden innehöll kommentarer om vilka ändringar som hade gjorts i programmet och vilken litteratur som hade används. Därefter bestämdes två konstanter i koden som bestämde det maximala antalet segment som kunde användas och hur många lastfall som skulle testas. Lastfall är vad de kallas i koden men egentligen är det en relativ excentricitet mellan 0 och 1. I koden var det maximala antalet segment 60 st och antalet lastfall 3 st. I koden fanns även matriser som var (1 x 60) och var beroende av konstanten för det maximala antalet segment. Tre matriser innehöll data från tre diagram från litteraturen Maskinelement (Floberg, 1970). Dessa diagram används i programmet för att få fram lasten, effektförlusten och oljeflödet senare i programmet. Matriserna här var istället (1 x 5) och var beroende av konstanten med lastfallen. I kommentaren nämndes det att värdena från diagrammen kunde hämtas med hjälp av följande formel som är från litteraturen Maskinelement:

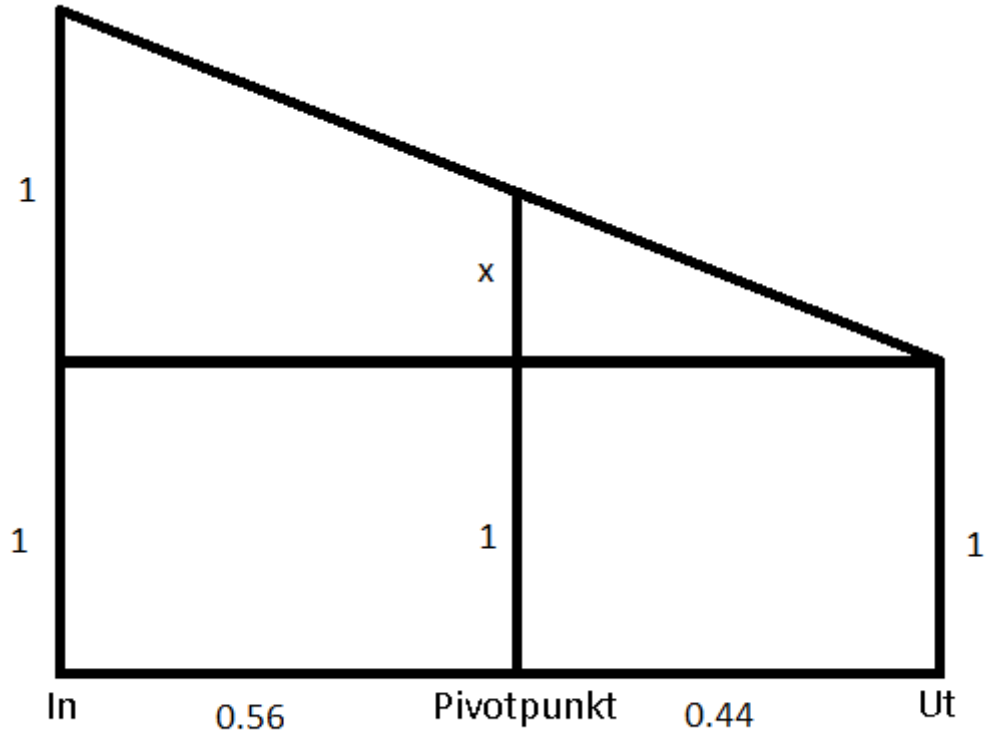
$$\lambda_{Diagram} = \frac{B_{Segment}}{L_{Segment}} \quad (1)$$

Eftersom det var blocklager som analyserades antogs det att formel (1) är bredd/längd förhållandet för segmenten i lagret. Här är då $B_{Segment}$ segmentets bredd, $L_{Segment}$ är segmentets längd och $\lambda_{Diagram}$ är förhållandet mellan bredden och längden. Detta förhållande används ofta vid användning av diagram för att bestämma laster, effektförluster och flöden. Diagrammen från (Floberg, 1970) visas i figur X och användes tillsammans med $\lambda_{Diagram}$ för att beräkna lasten, effektfölusten och oljeflödet. Kommentaren i koden nämner att $\lambda_{Diagram}$ mellan 0,5 och 1,5 användes i diagrammet där steg som var 0,25 stora användes.

Efter att värden har matats in i alla matriser matas värden in i programmet av användaren. Värdena som matas in var lagrets diameter, segmentets höjd, antalet segment, segmentets tjocklek, lagrets diametriska lagerspel, axelns rotationshastighet, behållarens temperatur, ISO VG klass för oljan och ASME viskositetindex som visas i Figur 22. När värdena har matats in används några av dem för att beräkna de andra värdena som behövs innan huvudloopen i koden börjar. Här omvandlas även värden från millimeter till meter istället och de sista värdena bestäms.

Tillsist innan huvudloopen börjar beräknas den relativa excentriciteten med värden i (ASEA, 1947). I kommentaren vid beräkningen nämns det att (ASEA, 1947) rekommenderar att inflödet ska vara två gånger större än utflödet. Kommentaren nämner även att en relativ position för pivotpunkten ska vara 0,56 av segmentets längd. Det sista kommentaren nämner är att en relativ excentricitet på 0,1 används

för att bestämma fjäderkonstanten och oljefilmtjocklekarna 0,04 mm och 0,02 mm för att bestämma lastkapaciteterna. Här är 0,04 mm för normal och 0,02 mm är för den högst tillåtna driften av turbinen. Hur den relativa excentriciteten beräknades från oljefilmtjockleken nämndes inte i kommentarerna i koden eller i (ASEA, 1947). Därför används formlerna i koden för att skapa en matematisk modell som visas i Figur 23 för att förstå beräkningen.



Figur 23:: Matematisk modell för hur relativa excentriciteten beräknas från oljefilmtjockleken.

Ingen av de formlerna (2-6) fanns i litteraturen Maskinelement eller ASEA Tidningen utan har använts av tidigare författare av koden. För den första formeln används det att utflödet var två gånger större än inflödet och pivotpunkten placerades där längden är 0,56 av segment längden. För att få fram det dimensionslösa talet $h_{Pivotpunkt}$ för oljefilmtjockleken vid pivotpunkten användes följande formel:

$$h_{Pivotpunkt} = 1 + \left(h_{Inflödet} - 1\right)(1 - L_{Relativ}) \quad (2)$$

Här är $h_{Inflödet}$ hur mycket större inflödet är en utflödet och $L_{Relativ}$ är den relativa längden där pivotpunkten sitter på segmentet. Det dimensionslösa talet används sedan för att få fram ε den relativa excentriciteten för de nämnda oljefilmtjocklekarna med följande formler:

$$\varepsilon_1 = 0.1 \quad (3)$$
$$\varepsilon_2 = 1 - (0{,}04 h_{Konst}) \quad (4)$$
$$\varepsilon_3 = 1 - (0{,}02 h_{Konst}) \quad (5)$$

Där h_{Konst} är följande:

$$h_{Konst} = \frac{h_{Pivotpunkt}}{\delta_{Lagerspel}} 10^{-3} \quad (6)$$

Där $h_{Pivotpunkt}$ är det dimensionslösa talet för oljefilm tjockleken vid pivotpunkten och $\delta_{Lagerpspel}$ är lagerspelet. Det var oklart om vad h_{Konst} är men det troliga är att den används för att göra formlerna som beräknar den relativa excentriciteten dimensionslösa.

4.3.2 Huvudloop och Interpolering

Vid nästa del börjar huvudloopen i programmet som fungerar som en vanlig do-loop vilket upprepas tre gånger. Antalet upprepningar av huvudloopen bestäms av antalet lastfall som finns. Precis i början av huvudloopen utfördes även interpolering som användes på data i diagrammen för last, effektförlust och flödet. Interpoleringen som används är en vanlig linjär interpolering och utförs för att bredd/längd förhållandet kan variera mellan alla beräkningar som utförs.

4.3.3 Oljefilmtjockleken

Efter interpoleringen var en kommentar som nämnde att beräkningarna nedan användes för att beräkna oljefilmtjockleken. Här fanns en annan do-loop i huvudloopen som upprepades tio gånger och var beroende av hur många segment som lagret hade. Denna typ av loop upprepas flera gånger i koden eftersom att värden för de flesta variablerna beräknas vid varje segment. Bland formlerna nedan (7-9) fanns (7-8) med i litteraturen Maskinelement, formel (9) fanns inte med i Maskinelement eller ASEA Tidning utan har använts av tidigare författare av koden. Det första som beräknas är graderna som används för att bestämma vart segmenten är placerade i en 360 graders cirkel. Formeln är följande:

$$\alpha_{Segment} = \frac{2\pi(I_{Loop}-1)}{N_{Segment}} \tag{7}$$

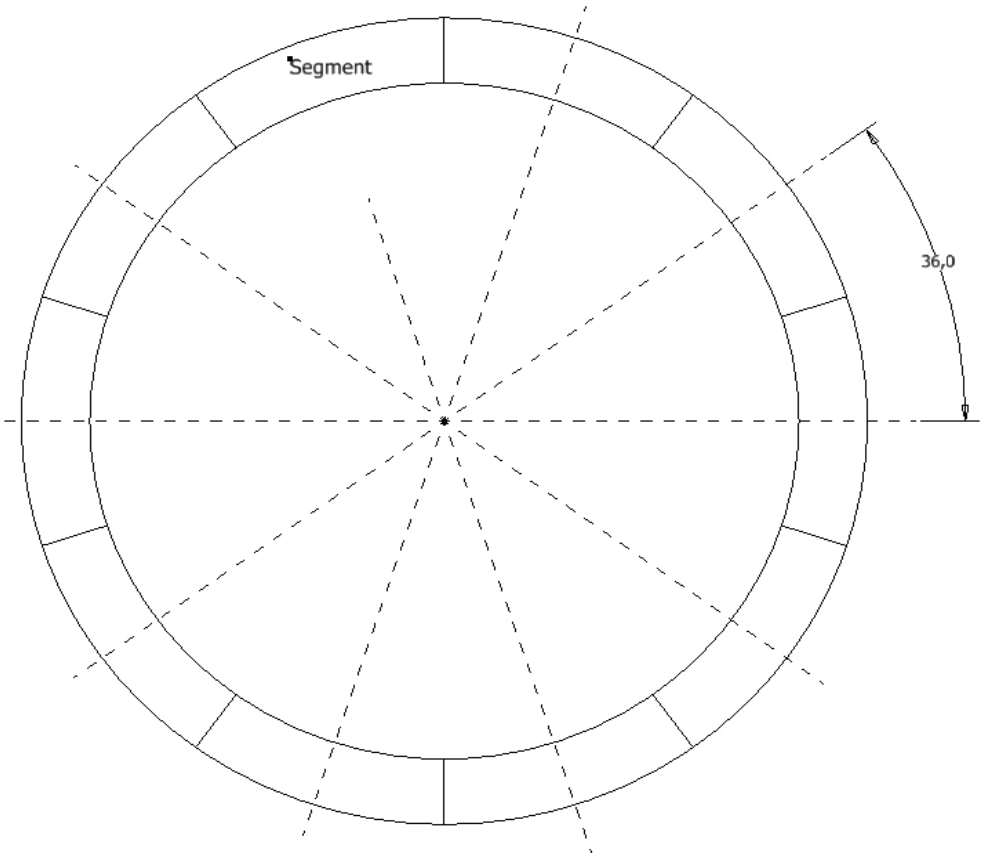
Där $\alpha_{Segment}$ är graderna som segmentet placeras, I_{Loop} är antalet varv som loopen har gjort och $N_{Segment}$ är antalet segment som lagret har. I detta fall placeras tio segment runt längst med cirkelns kant 36 grader ifrån varandra. Detta kan ses i Figur 24. För att sedan beräkna oljefilmtjockleken används formeln för radiella blocklager vilket är följande:

$$h_{Lager} = \delta_{Lagerspel}\left(1 - \left(\varepsilon_n \cos\left(\alpha_{Segment}\right)\right)\right) \tag{8}$$

Här används det radiella lagerspelet $\delta_{Lagerspel}$, den relativa excentriciteten ε_n för de tre lasfallen och graderna $\alpha_{Segment}$ där segmentet placeras för att beräkna oljefilmtjockleken h_{Lager}. För att sedan beräkna den minsta oljefilmtjockleken $h_{Miinimal}$ används följande formel:

$$h_{Minimal} = \frac{h_{Lager}}{h_{Pivotpunkt}} \tag{9}$$

Där divideras oljefilmtjockleken h_{Lager} från radiella blocklager med oljefilmtjockleken $h_{Pivotpunkt}$ som beräknas från den matematiska modellen som användes tidigare.



Figur 24: Hur segmenten placeras i cirkeln.

4.3.4 Oljeflöde

Vid beräkningen av oljeflödet används samma do-loop som tidigare vid oljefilmtjockleken. Innan do-loopen nollställs variabeln som håller data för det totala oljeflödet vid varje lastfall. Alla tre formlerna (10-12) är från litteraturen Maskinelement. Inuti loopen beräknas först inflödet $Q_{Inflödet}$ till segmentet med följande formel för oljeflödet i axiella blocklager:

$$Q_{Inflöde} = Q_{Diagram} U h_{Minimal} B_{Segment} \tag{10}$$

Där $Q_{Diagram}$ är dimensionslös data från diagrammet för flödet, U är lagrets rotationshastighet, $B_{Segment}$ är segmentets höjd och $h_{Minimal}$ är den minsta oljefilmtjockleken. Sedan beräknas utflödet ifrån segmentet $Q_{Utflöde}$ med följande formel:

$$Q_{Utflöde} = 0.5 U h_{Minimal} B_{Segment} \tag{11}$$

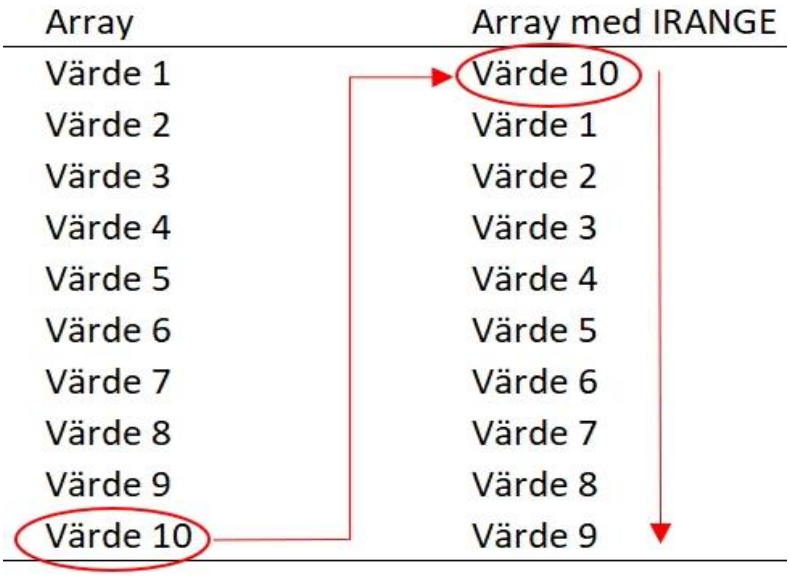
Fast istället för att använda $Q_{Diagram}$ används istället värdet 0,5. Varför just 0,5 används är okänt och inga kommentarer nämns i koden om det. Därefter beräknas det totala oljeflödet Q_{Total} för lagret med följande formel:

$$Q_{Total} = Q_{Inflöde} - Q_{Utflöde} \tag{12}$$

Där inflödet $Q_{Inflöde}$ och utflödet $Q_{Utflöde}$ används som beräknades innan. Här slås alla inflöden och utflöden ihop från varje segment

4.3.5 Subfunktion IRANGE och Flödeskoefficienten

Efter oljeflödet beräknas en variabel som i koden kallas för flödeskoefficient. Även den beräknas för varje segment och kör tio gånger. Innan flödeskoefficienten kommer en subfunktion beskrivas som används i beräkningen för flödeskoefficienten. Subfunktionen kallas för IRANGE och behöver två värden som matas in för att kunna användas. För att funka korrekt behöver först ett värde mellan ett och antalet segment som används matas in och det andra värdet ska vara antalet segment som används. Det funktionen gör är att börja med det sista värdet i matrisen och sedan används det första värdet och andra värdet och vidare. Detta kan ses i Figur 25. IRANGE funktion används för att hämta data på ett annat sätt från matrisen.

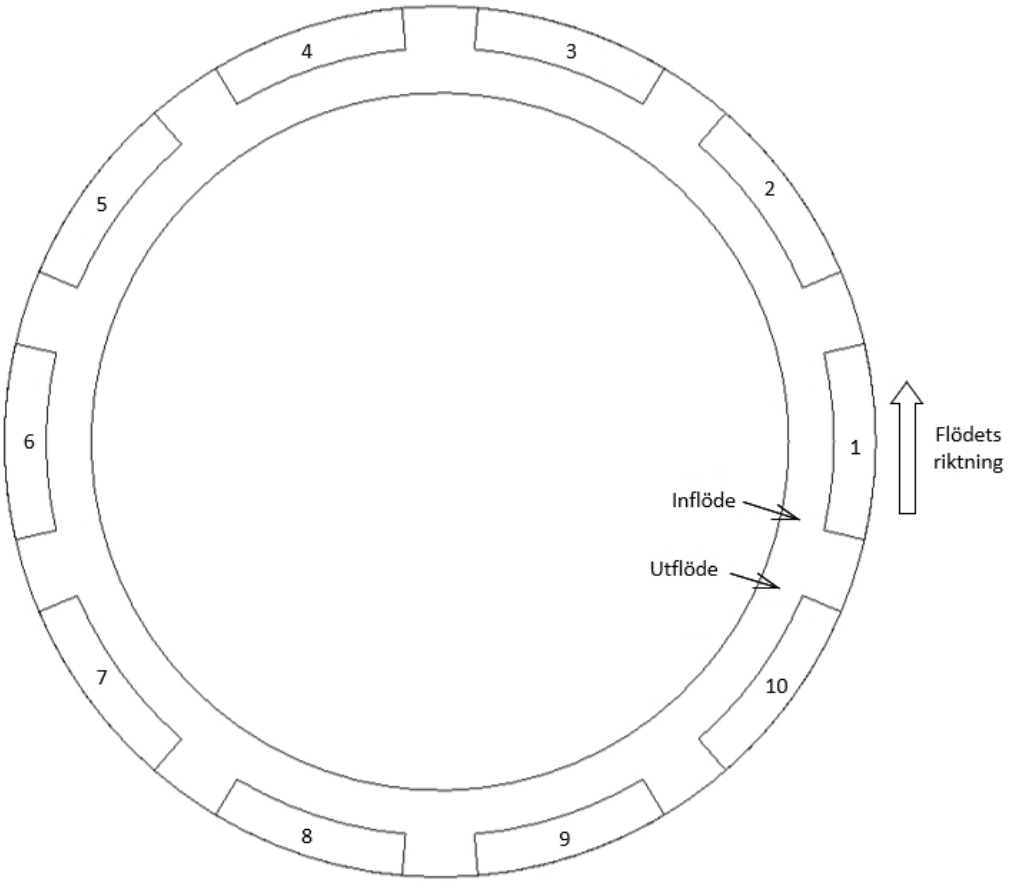


Figur 25: IRANGE princip.

För att sedan beräkna flödeskoefficienten $Q_{Koefficient}$ används följande formel:

$$Q_{Koefficient} = \frac{Q_{Utflöde}}{Q_{Inflöde}} \tag{13}$$

Där utflödet $Q_{Utflöde}$ divideras med inflödet $Q_{Inflöde}$ och utflödet använder IRANGE funktionen. Formel (13) fanns inte med i litteraturerna Maskinelement eller ASEA Tidning utan har använts av tidigare författare av koden. Ett antagande som togs är att flödeskoefficienten beräknas mellan varje segment och därför måste utflödet börja på segment tio och inflödet på segment ett. Detta kan man även se i Figur 26. Eftersom ingen kommentar fanns i programmet om det och att ingen litteratur nämner något om flödeskoefficienten eller formeln som används kan inget konfirmeras.



Figur 26: Oljeflödet i blockstyrlagret.

4.3.6 Temperatur, viskositet, last och effektförlust

Även delen som beräknar temperaturen, viskositeten, lasten och effektförlusten använder samma do-loop som kör igenom tio gånger. Här är formel (14, 16, 19 och 20) från litteraturen Maskinelement och formel (15, 17 och 18) har använts av tidigare författare av koden. Det första som beräknas är temperaturen T_{Olja} som ska användas för att beräkna viskositeten. Den beräknas med följande formel:

$$T_{Olja} = T_{Behållare} + T_{Inflöde} + T_{Stigning} \quad (14)$$

Där temperaturen som oljan startar med $T_{Behållare}$ används tillsammans med temperaturen vid inflödet $T_{Inflöde}$ och temperaturstigningen $T_{Stigning}$. Sedan används en subfunktion som kallas VISC2 för att beräkna viskositeten. Subfunktionen VISC2 kommer att beskrivas mer senare under en egen rubrik men för tillfället är det bra att veta att den beräknar viskositeten. Från VISC2 beräknas den kinematiska viskositeten v och med den beräknas den absoluta viskositeten η med följande formel:

$$\eta = \rho v 10^{-6} \quad (15)$$

Där ρ är oljans densitet. Detta behövs för formlerna till lasten, effektförlusten och oljeflödet. Därefter beräknas lasten $F_{Segment}$ som kommer påverka segmentet med följande formel:

$$F_{Segment} = \frac{F_{Diagram} B_{Segment} \eta U L_{Aktiv}^2}{h_{Minimal}^2} \quad (16)$$

Där $F_{Diagram}$ är det dimensionslösa data från diagrammet för last, $B_{Segment}$ är segmentets höjd, η är den absoluta viskositeten, U är lagrets rotationshastighet, L_{Aktiv} är segmentets längd och $h_{Minimal}$ är den minsta oljefilm tjockleken. Kraften delas sedan upp i två kraftvektorer med följande formler:

$$F_2 = F_{Segment}\cos(\alpha_{Segment}) \tag{17}$$

$$F_3 = F_{Segment}\sin(\alpha_{Segment}) \tag{18}$$

Där $F_{Segment}$ är lasten som påverkar segmentet och $\alpha_{Segment}$ är graderna där segmenten placerades. Här används F_2 och F_3 för att få rätt riktning på kraften påverkar segmentet senare i koden. Här används graderna $\alpha_{Segment}$ för att bestämma kraftvektorernas riktning för varje segment. Till sist beräknas effektförlusten E med följande formel:

$$E_{Segment} = \frac{E_{Diagram}B_{Segment}\eta U^2 L_{Aktiv}}{h_{Minimal}} \tag{19}$$

Där $E_{Diagram}$ är den dimensionslösa data från diagrammet för effektförlusten, $B_{Segment}$ är segmentets höjd, η är den absoluta viskositeten, U är lagrets rotationshastighet, L_{Aktiv} är segmentets längd och $h_{Minimal}$ är den minsta oljefilm tjockleken. Effektförlusten används sedan för att beräkna temperaturstigningen T_{Temp} med följande formel:

$$T_{Temp} = \frac{E_{Segment}}{Q_{Inflöde}O_{VK}O_{Densitet}} \tag{20}$$

Där E är effektförlusten, $Q_{Inflöde}$ är inflödet, O_{VK} är oljans värmekapacitet och ρ är oljans densitet.

4.3.7 Ny temperatur och kraftens riktning beräknas

Den nya temperaturen beräknas precis efter den tidigare delen och här används två do-loopar som är samma som de innan. Innan looparna sätts en variabel som bestämmer om programmet ska gå vidare som vanligt eller om programmet ska gå tillbaka till delen precis innan. Formlerna (21-25) som används i looparna fanns inte i någon av litteraturerna Maskinelement eller ASEA Tidning utan har använts av tidigare författare av koden. Den första loopen används för att titta om temperaturstignings skillnadens absolutvärde $A_{Absolut}$ är större än 0,2 eller inte. För det används följande formel:

$$A_{Absolut} = T_{Stigning} - T_{Temp} \tag{21}$$

Där T_{Temp} är den senaste temperaturstigningen och $T_{Stigning}$ temperaturstigningen innan. Detta utförs med en if-statement och om $A_{Absolut}$ är större än 0,2 sätts variabeln så programmet går tillbaka till delen precis innan. Här efter sparas temperaturen vid inflödet $T_{Inflöde}$ och temperaturstigningen $T_{Stigning}$ i varsin matris. Vid sparandet flyttas några värden runt och variablerna som ändras är följande:

$$T_{Stigning} = T_{Temp} \tag{22}$$

$$T_{Temp} = T_{Inflöde} \tag{23}$$

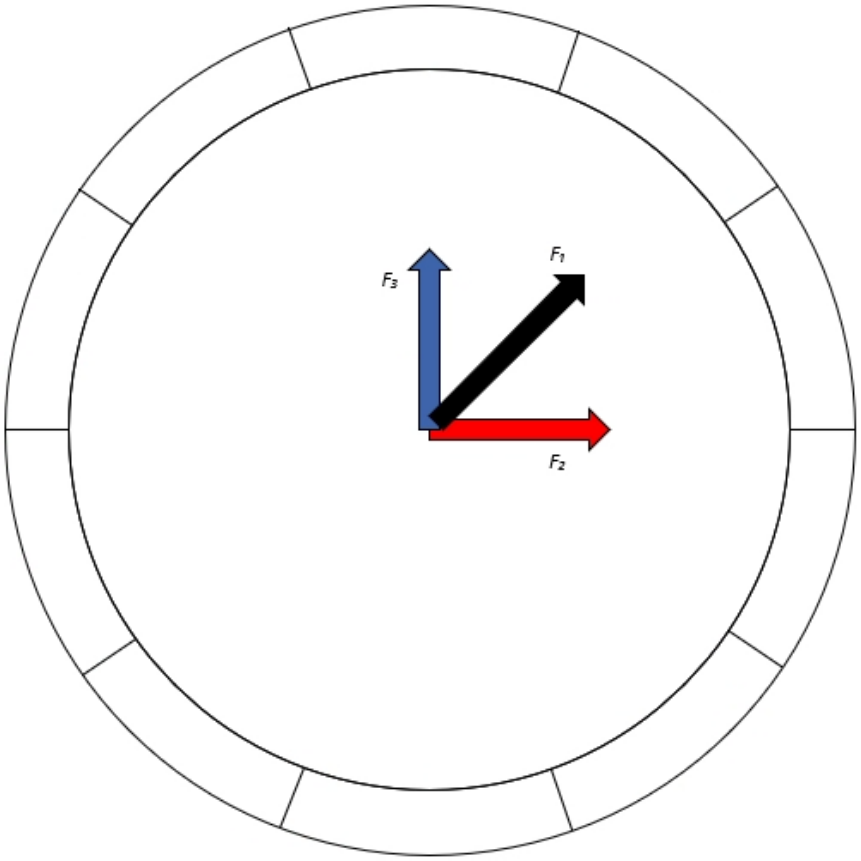
Dessa variabler som har ändrats används sedan vid nästa beräkning. Vid nästa do-loop beräknas temperaturen vid inflödet med flödeskoefficienten $Q_{Koefficient}$, som beräknades vid oljeflödet, tillsammans med den gamla temperaturen vid inflödet T_{Temp} och den senaste temperaturstigningen $T_{Stigning}$. Formeln som används är:

$$T_{Inflöde} = Q_{Koefficient}(T_{Temp} + T_{Stigning}) \tag{24}$$

I denna beräkning bör det nämnas att IRANGE funktionen används på den gamla temperaturen och den nya temperaturstigningen. Därför kommer det sista värdet i arrayen att användas först och sen kommer det börja i nummerordning igen. Tillsist beräknas den totala lasten F_1 genom att använda de två kraftvektorerna F_2 och F_3 från innan med pythagoras sats:

$$F_1 = \sqrt{F_2^2 + F_3^2} \tag{25}$$

För att illustrera detta används Figur 27. Därefter används en if-statement för att se om programmet ska gå tillbaka till delen innan eller fortsätta i koden.



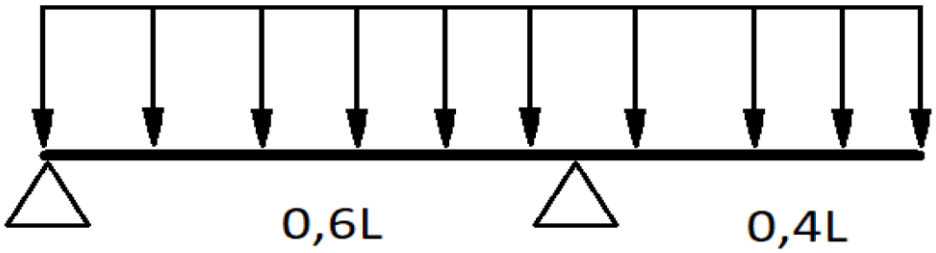
Figur 27: Kraften som påverkar blockstyrlagret.

4.3.8 Böjning

Vid böjning beräkningarna användes ingen do-loop utan beräkningen utfördes bara en gång. Formel (26) hittades inte häller i någon av litteraturerna Maskinelement eller ASEA Tidning utan har använts av tidigare författare av koden. Här användes balkteori för att beräkna böjningen av segmentet. Tröghetsmomentet I_{TM} som användes var det som används för fyrkantiga tvärsnitt där basen var segmentets höjd och höjden var segmentets tjocklek. Elasticitetsmodulen E_{Modul} som användes är 210 GPa vilket brukar användas när materialet är av stål. Som längd användes segmentets längd L_{Aktiv} och kraften $F_{Maximum}$ som användes var det första värdet i matrisen som innehöll lasten för varje segment. Varför just den första användes var för att det första värdet alltid var störst. Lastfallet som användes är följande:

$$\delta_{Böjning} = \frac{F_{Maximum} L_{Aktiv}^3}{202 E_{Modul} I_{TM}} \quad (26)$$

Där $\delta_{Böjning}$ är hur mycket som segmentet böjdes. Hur lastfallet såg ut var okänt och det fanns ingen kommentar i koden som nämnde något om det. Därför testades olika lastfall för att se om något av dem gav samma lastfall som i koden. Det lastfallet som gav det närmsta resultatet är det som visas i Figur 28.



Figur 28: Lastfall för ett segment.

4.3.9 Utdata

Tillsist matades data ut som hade beräknats i igenom hela programmet. Även här användes några beräkningar för att få ut rätt data och för att data skulle visas i rätt enhet. Det som matades ut vid första varvet av huvudloopen var generell data och data som var speciellt för lastfall 1. Sedan matades bara speciell data för lastfall 2 och lastfall 3. Den generella data som matades ut var segmentets längd, segmentets höjd/längd förhållande, lagrets rotationshastighet, den totala effektförlusten, det totala oljeflödet och till sist oljans temperatur. För den speciella data som matades för varje lastfall var den minsta oljefilm tjockleken, lastkapaciteten, den relativa förskjutningen, den radiella förskjutningen, fjäder konstanten, den maximala segment temperaturen och hur mycket segmentet böjdes. Data som beräknades med parametrarna som matades in visas i Tabell 2 nedan.

Tabell 2: Den generella data och speciell data för varje lastfall.

Utdata Generel		
Segment Längd	325,87	(mm)
Segment Höjd/Längd förhållande	0,951	(Enhetslös)
Lager Hastighet	12,69	(m/s)
Effektförlust	22,27	(kW)
Total Oljeflöde	103,32	(l/min)
Max. Oljetemperatur	52,43	(°C)

Utdata Lastfall 1		
Min. Oljefilm Tjockleken	0,112	(mm)
Last Kapacitet	34,61	(kN)
Rel. Excentricitet	0,100	(Enhetslös)
Radiell Förskjutning	0,018	(mm)
Fjäder Konstant	1,20E+06	(N/mm)
Max. Segment Temperatur	52,80	(°C)
Segment Böjning	0,0108	(mm)

Utdata Lastfall 2		
Min. Oljefilm Tjockleken	0,040	(mm)
Last Kapacitet	360,04	(kN)
Rel. Excentricitet	0,680	(Enhetslös)
Radiell Förskjutning	0,122	(mm)
Fjäder Konstant	2,21E+06	(N/mm)
Max. Segment Temperatur	74,10	(°C)
Segment Böjning	0,0407	(mm)

Utdata Lastfall 3		
Min. Oljefilm Tjockleken	0,020	(mm)
Last Kapacitet	642,23	(kN)
Rel. Excentricitet	0,840	(Enhetslös)
Radiell Förskjutning	0,151	(mm)
Fjäder Konstant	2,80E+06	(N/mm)
Max. Segment Temperatur	103,31	(°C)
Segment Böjning	0,0781	(mm)

4.3.10 Subfunktion VISC2 & Subfunktion VISC1

Subfunktionerna VISC2 och VISC1 är två ASME standarder som används för att beräkna viskositeten för oljan vid olika temperaturer. VISC2 använder formlerna och data från ASME standarden D2270 för att beräkna viskositeten vid 100°C. Det VISC2 behöver för att fungera är tre värden vilket är ISO VG klassen som oljan har vilket är den kinematiska viskositeten vid 40°C. Det andra värdet är viskositet indexet som oljan har och det sista är starttemperaturen som oljan har. I subfunktionen beräknas sedan *U* beroende på om viskositet indexet är mindre än 100 eller 100 och större. För att få fram rätt U används ett if-statement som utför beräkningarna för *U* tills *U* är lika med *VG* eller större. För varje gång som beräkningarna utförs igen ökar data som används i formlerna ett steg. När *U* sedan är större eller lika med VG utförs interpolering för att få rätt värde. Detta värde används sedan i VISC1 tillsammans med ISO VG klassen som oljan har och starttemperaturen som oljan har. Här använder VISC1 formler från ASME standarden D341 för att få fram viskositeten vid dåvarande temperatur.

4.4 Jämförande mellan formler

När analysen av koden var klar skulle beräkningsprogrammet överföras från programmeringsspråket Fortran till Microsoft Excel. Detta hade redan bestämts vid första mötet med företaget då Excel redan är ett beräkningsprogram och skulle vara lättare att programmera i om det behövdes. Excel var även ett program som företaget redan hade och behöver därför inte skaffa ett nytt program. Från början var det tänkt att använda Excels redan inbyggda funktioner för att göra alla beräkningar. Men detta blev för komplicerat att utföra utan do-looparna som fanns i koden. Därför fördes koden över till Excels programmeringsspråk VBA istället där några små ändringar fick utföras för att få samma utdata som i programmeringsspråket Fortran. Företaget ville även ha med fler lastfall i det nya beräkningsprogrammet och därför lades två lastfall till.

Efter att beräkningsprogrammet hade överförts till Excel behövde resultatet från beräkningsprogrammet och litteraturen jämföras. Litteraturen som användes hittades med hjälp av en litteraturstudie där de som var mest lämpliga att använda i beräkningsprogrammet valdes. De valdes även eftersom de använde sig av diagram för att få fram dimensionslösa parametrar som beräkningsprogrammet använde sig utav. Detta gjorde det lättare att byta ut formlerna i beräkningsprogrammet utan att ändra det för mycket. Litteraturer som valdes är följande:

Litteratur 1: Maskinelement (2017) som är utgiven av Mart Mägi et al.
Litteratur 2: Karlebo handbok (2015) som är utgiven av Stefan Björklund et al.
Litteratur 3: Fundamentals of machine elements: SI version Third edition (2014) utgiven av Steven R. Schmid et al.

Som nämndes tidigare så används diagram för att beräkna formlerna i litteraturen. I Litteratur 1 och Litteratur 2 fanns det ett diagram för varje formel som skulle användas ses i Figur 29. Formlerna som används från Litteratur 3 är följande, den första är för lasten:

$$F_{Segment} = \frac{H_0^2 {L_{Segment}}^2 \eta U B_{Segment}}{h_{Minimal} B_t}$$

Den andra är för effektförlusten:

$$E_{Segment} = \frac{1.5 E_0 L_{Segment}}{F_{Segment} U s_h}$$

För oljeflödet användes följande formler:

$$Q_{Inflöde} = Q_0 B_{Segment} U s_h$$

Utflödet:

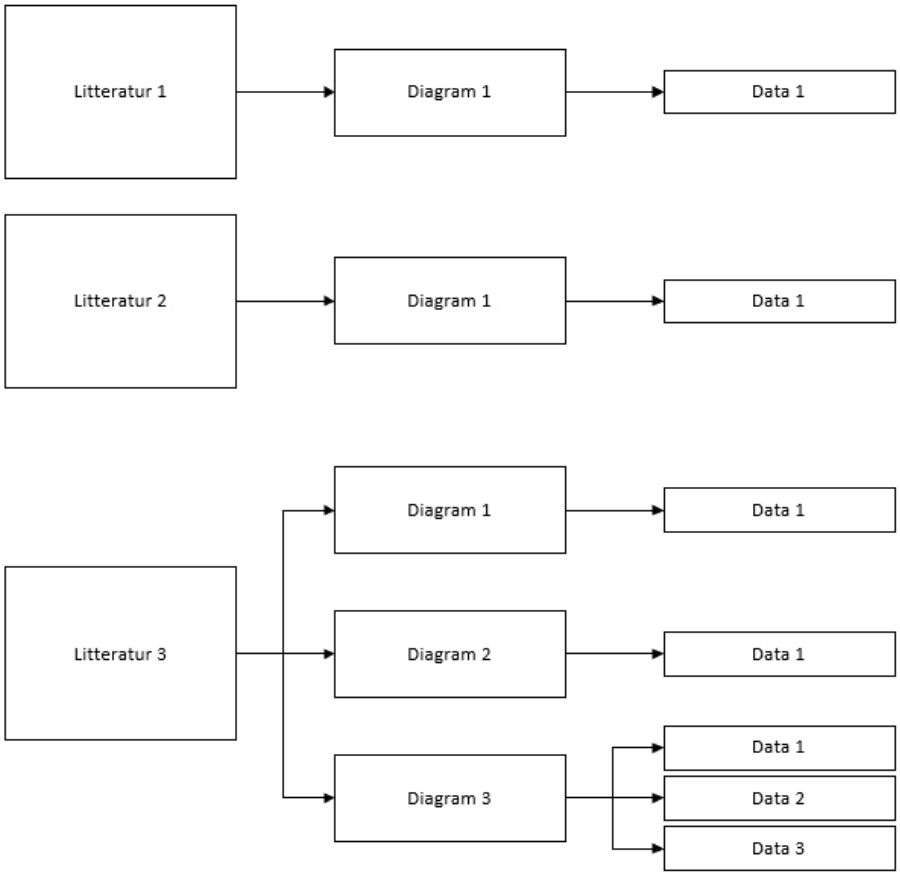
$$Q_{Utflöde} = Q_{Inflöde} - q_s$$

Där q_s är följande:

$$q_s = q_0 q$$

För Litteratur 3 var det lite annorlunda för här användes antingen två eller tre diagram för en formel som berodde på vilka parametrar som behövdes. Bland dessa diagram fanns det Diagram 3 där parametern som bestämdes kunde bestämmas för om lagret skulle klara högre laster eller ha mindre effektivförluster.

I Diagram 3 bestämdes därför parametern tre gånger, Data 1vilket är för högre last, Data 2 vilket är för mindre effektförluster och Data 3 vilket är mitt emellan. Därför fick Litteratur 3 tre olika resultat för varje formel som skulle jämföras.



Figur 29: Litteraturen och dess diagram och data som användes under jämförandet.

Vid jämförandet användes Excel istället för den gamla koden i Fortran eftersom Excel kan skapa diagram där data kan jämföras mot varandra. När jämförandet utfördes mellan beräkningsprogrammet och litteraturen byttes formeln från koden ut med formeln från litteraturen. Genom att göra detta kunde utdata från formlerna jämföras mot varandra och utdata från beräkningsprogrammet kunde undersökas för att se hur detta påverkade programmet. Formlerna som skulle jämföras var oljefilm tjockleken, lasten, oljeflödet, effektförlusten och temperaturen.

Vid jämförandet av oljefilm tjockleken och temperaturen upptäcktes det att liknande formler användes och gav därför samma resultat. När de andra formlerna jämfördes upptäcktes det även att den svenska litteraturen fortfarande använde sig av samma formler som i beräkningsprogrammet. Inga diagram togs därför med på dessa. Därefter utfördes jämförandet med den engelska litteraturen. I den engelska litteraturen fanns ett diagram som kunde användas vid design av lagret för att klara högre krafter, få mindre effektförluster eller lite av varje. Därför användes formeln från den engelska litteraturen tre gånger för att se hur de varierade med formeln från koden. Det bör nämnas att vid bytet av formler byttes bara en formel ut i taget aldrig flera och formlerna som användes var även för fasta-stigande axiella blocklager.

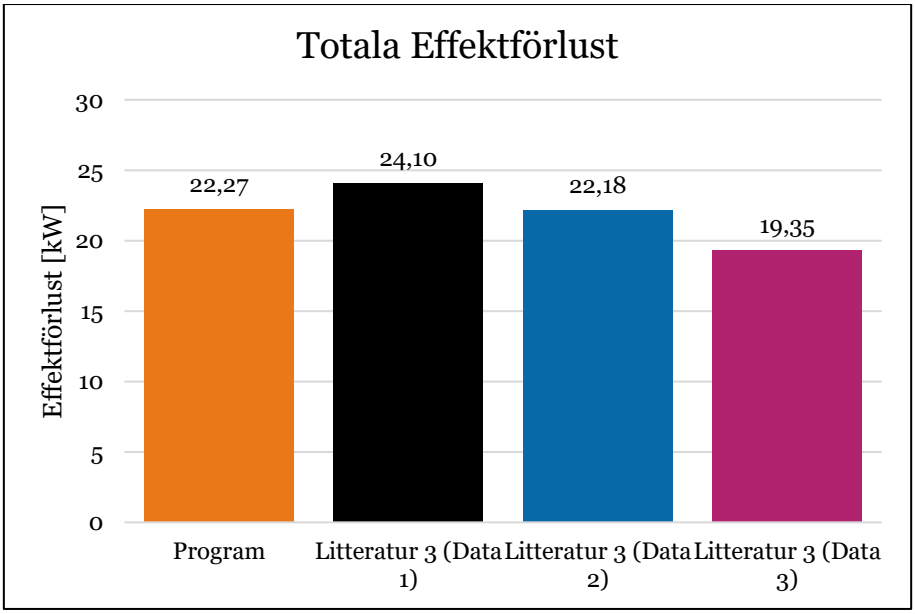
5 Analys och resultat

5.1 Jämförande mellan formler

5.1.1 Effektförlusten

Effektförlust jämfördes mellan fyra olika formler där en var från programmet och de tre andra från Litteratur 3. Resultatet från jämförandet visas i Tabell 3 Tabell *3*: Totala effektförlusten.där den störta och minsta totala effektförlusten beräknades med formlerna från Litteratur 3. Den totala effektförlusten som beräknades med formeln från programmet befinner sig emellan den största och minsta totala effektförlusterna. Med formeln från Litteratur 3 och med Data 1 är den totala effektförlusten 8,2 procent större än den totala effektförlusten som beräknas med formeln från programmet. Om istället Data 3 används till formeln från Litteratur 3 är den totala effektförlusten 13,5 procent mindre än den totala effektförlusten som programmet beräknar.

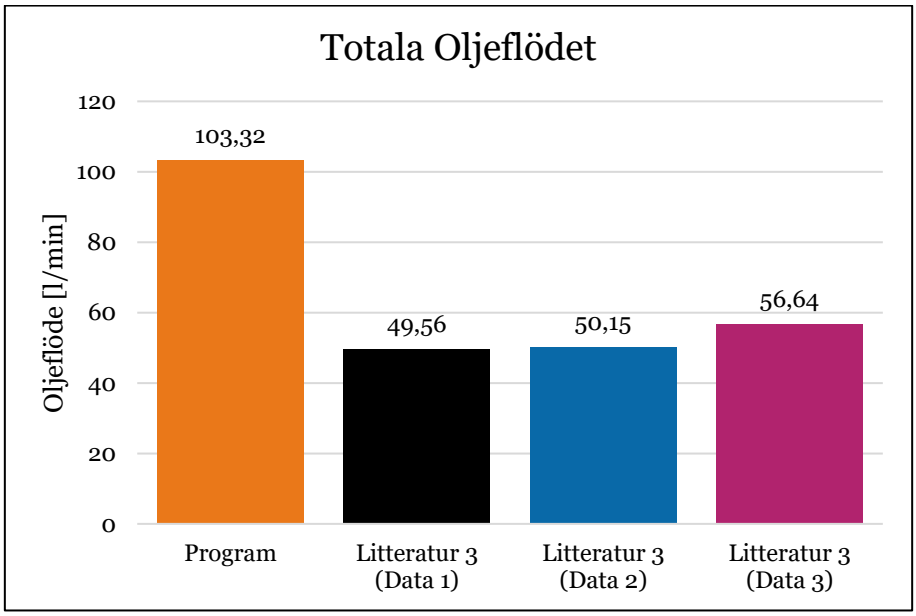
Tabell 3: Totala effektförlusten.



5.1.2 Oljeflödet

För jämförandet vid oljeflödet användes även här formlerna från programmet och Litteratur 3.Resultatet för jämförandet av oljeflödet visas i Tabell 4 där formeln från programmet beräknar det största totala oljeflödet. Därefter är formlerna från Litteratur 3 där beräkningen som använder Data 3 är störst som följs av beräkningen med Data 2 och Data 1 som är minst. Här är inte skillnaden mellan Data 1, Data 2 och Data 3 som använder formeln från Litteratur 3 så stor. Den stora skillnaden är mellan formlerna från programmet och Litteratur 3. Beräkningen med formeln från programmet är 82,4 procent större än beräkningen med formeln från Litteratur 3 och Data 3.

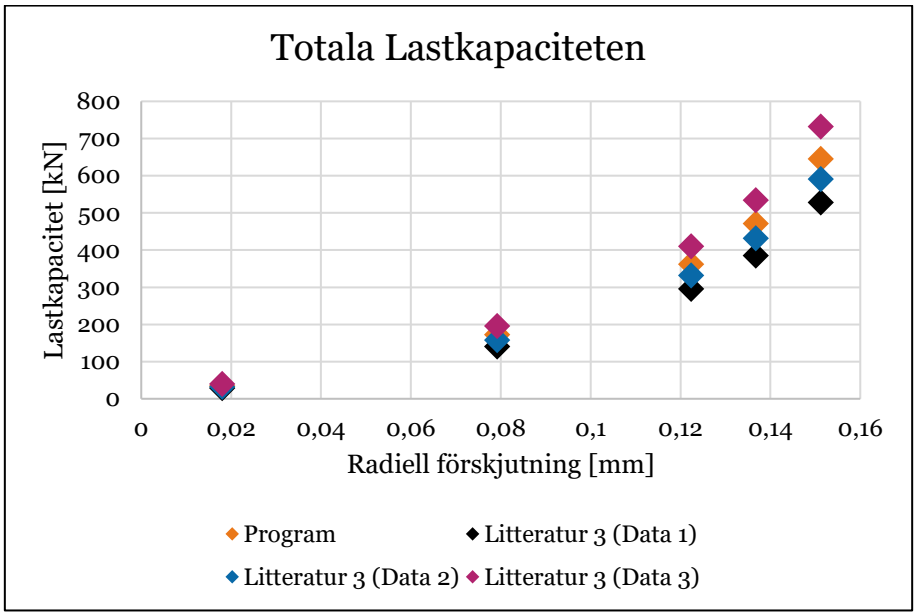
Tabell 4: Totala oljeflöde.



5.1.3 Lastkapaciteten

Även vid Lastkapaciteten utfördes jämförandet mellan fyra olika beräkningar där en var från programmet och de andra tre från Litteratur 3. Den enda skillnaden mellan resultatet för lastkapaciteten och de innan är att den totala lastkapaciteten beräknades vid varje lastfall. Resultatet för jämförandet mellan den totala lastkapaciteten visas i Tabell 5 och har liknande resultat som den totala effektförlusten. Här är den totala lastkapaciteten störst och minst för beräkningarna med formlerna från Litteratur 3 och beräkningen med formeln från programmet är där emellan. Detta gäller för alla fem lastfall och den enda skillnaden är att storleksskillnaden mellan beräkningarna ökar efter varje lastfall. Vid det sista lastfallet är beräkningen med formeln från programmet 13,4 procent mindre än det största värdet som beräknas med formeln från Litteratur 3. Skillnaden mellan programmet och det minsta värdet från Litteratur 3 i det sista lastfallet är programmet 18,2 procent större än det minsta värdet.

Tabell 5: Totala lastkapaciteten.



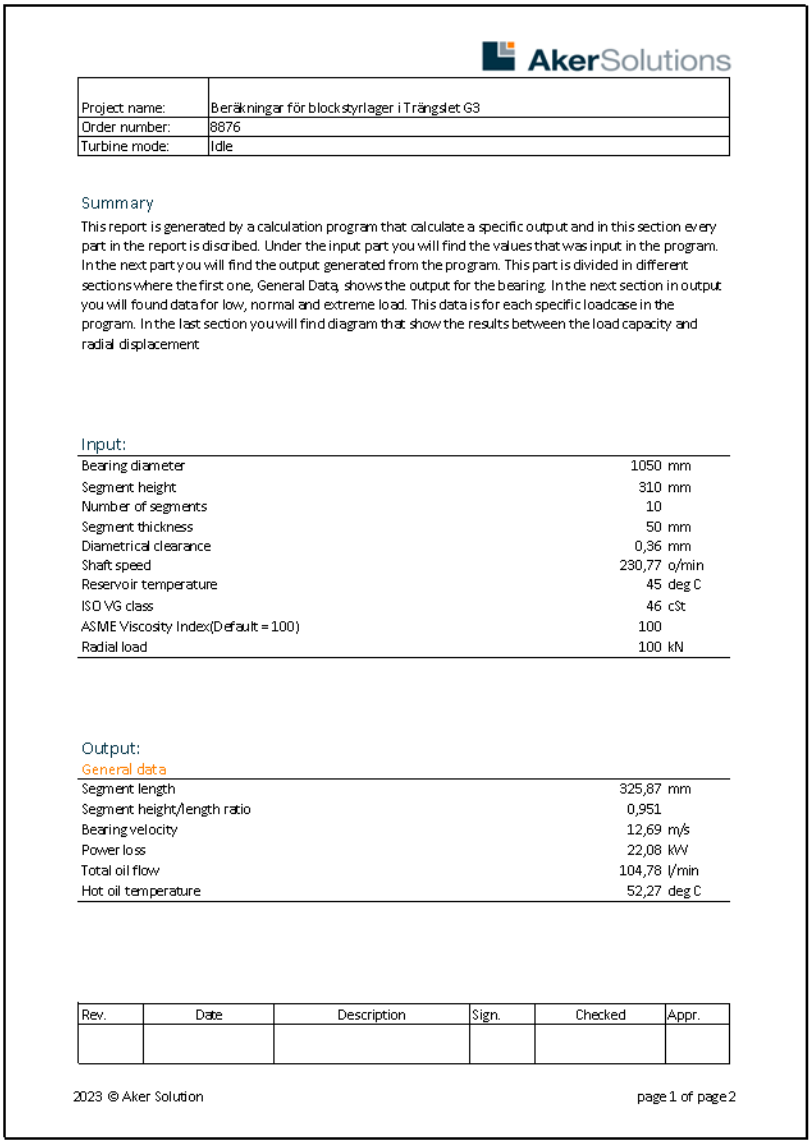
5.2 Resultat för nytt program

Resultatet av hur data matas in i programmet och hur det matas ut visas i Figur 30 nedan. Det finns även två figurer Figur 31 och Figur 32 som visar hur rapporten ser ut.

	INPUT:	
Project name	Trängslet G3	
Order number	88	
Turbine mode	Normal	
Bearing diameter	1050	mm
Segment height	310	mm
Number of segments	10	
Segment thickness	50	mm
Diametrical clearance	0,36	mm
Shaft speed	230,77	o/min
Reservoir temperature	45	deg C
ISO VG class for oil	46	cSt
ASME viscosity index(Default = 100)	100	
Radial Load	100	kN
	OUTPUT:	
Segment length	325,87	mm
Segment height/length ratio	0,951	
Bearing velocity	12,69	m/s
Power loss	22,08	kW
Total oil flow	104,78	l/min
Hot oil temperature	52,27	deg C
Low load		
Min. oilfilm thickness	0,11	mm
Load capacity	33,95	kN
Relative displacement	0,100	
Radial displacement	0,018	mm
Spring constant	1,19E+06	N/mm
Max segment temperature	52,63	deg C
Segment bending deflection	0,0106	mm
Normal load		
Min. oilfilm thickness	0,04	mm
Load capacity	361,54	kN
Relative displacement	0,684	
Radial displacement	0,123	mm
Spring constant	2,20E+06	N/mm
Max segment temperature	74,17	deg C
Segment bending deflection	0,0410	mm
Extreme load		
Min. oilfilm thickness	0,02	mm
Load capacity	643,75	kN
Relative displacement	0,842	
Radial displacement	0,152	mm
Spring constant	2,79E+06	N/mm
Max segment temperature	103,38	deg C
Segment bending deflection	0,0786	mm

RUN

Figur 30: Indata och utdata nya programmet.



AkerSolutions

Project name:	Beräkningar för blockstyrlager i Trängslet G3
Order number:	8876
Turbine mode:	Idle

Summary

This report is generated by a calculation program that calculate a specific output and in this section every part in the report is disc ribed. Under the input part you will find the values that was input in the program. In the next part you will find the output generated from the program. This part is divided in different sections where the first one, General Data, shows the output for the bearing. In the next section in output you will found data for low, normal and extreme load. This data is for each specific loadcase in the program. In the last section you will find diagram that show the results between the load capacity and radial displacement

Input:

Bearing diameter	1050	mm
Segment height	310	mm
Number of segments	10	
Segment thickness	50	mm
Diametrical clearance	0,36	mm
Shaft speed	230,77	o/min
Reservoir temperature	45	deg C
ISO VG class	46	cSt
ASME Viscosity Index(Default = 100)	100	
Radial load	100	kN

Output:

General data

Segment length	325,87	mm
Segment height/length ratio	0,951	
Bearing velocity	12,69	m/s
Power loss	22,08	kW
Total oil flow	104,78	l/min
Hot oil temperature	52,27	deg C

Rev.	Date	Description	Sign.	Checked	Appr.

2023 © Aker Solution

Figur 31: Första sidan av rapporten.

AkerSolutions

Project name:	Beräkningar för blockstyrlager i Trängslet G3
Order number:	8876
Turbine mode:	Idle

Data for Low, Normal & High load

Loadcase	Low load	Extreme load	
Min. oilfilm thickness	0,11	0,02	mm
Load capacity	33,95	643,75	kN
Realtive displacement	0,10	0,84	
Radial displacement	0,018	0,152	mm
Spring constant	1,19E+06	2,79E+06	N/mm
Max segment temperature	52,63	103,38	deg C
Segment bending deflection	0,0106	0,0786	mm

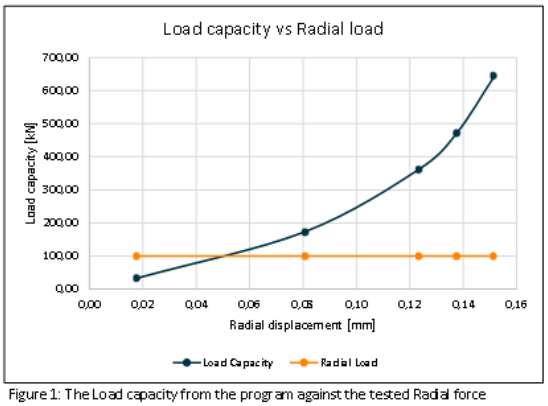


Figure 1: The Load capacity from the program against the tested Radial force

Data for Diagram

Loadcase	1	2	3	4	5	
Radial displacement	0,02	0,08	0,12	0,14	0,15	mm
Load capacity	33,95	173,32	361,54	470,17	643,75	kN
Radial load	100	100	100	100	100	kN

Rev.	Date	Description	Sign.	Checked	Appr.

2023 © Aker Solution

Figur 32: Andra sidan av rapporten.

6 Diskussion

6.1 Arbete

I början av arbetet utfördes en planering för att bestämma vad som skulle göras genom arbetet och för att se när viktiga inlämningsdatum var bestämda. Planering höll dock inte länge och fick därför planeras om ett antal gånger genom arbetet. Varför ändringar behövde göras i planering var oftast för att det arbetet behövde utföras i en annan ordning eller för att vissa arbetet behövde utföras samtidigt.

En av de svåraste delarna med arbetet var litteraturstudien eftersom det var svårt att hitta litteratur om hur beräkningarna utfördes för radiella blockstyrlager. Mycket av artiklarna var även svåra att få tag i eller gick inte att få tag i alls. Detta gjorde att litteraturstudien nästan gjordes under hela delen av examensarbetet. Analyseringen av koden i beräkningsprogrammet blev även svårare att utföra på grund av detta och det var även svårt att välja hur jämförandet skulle utföras för resultatdelen. Några gånger under analysen fick litteraturen bytas ut eftersom det upptäcktes att en annan formel användes istället.

6.2 Resultat

Det kan diskuteras om hur bra parametern effektförluster hanterats i rapporten, då det finns osäkerhet i beräkningen. Detta eftersom de beräkningarna som jämfördes med tidigare program visade betydligt lägre resultat. Det skulle behövas tester och/eller kontroll av flera alternativa beräkningar för att gå vidare med denna parameter. Företaget känner sig bekväma med att använda uträkningen från det tidigare programmet vilket också stärker behovet av att göra ytterligare arbete med parametern effektförluster.

Pivotpunkten är en parameter som vi funderat på då den i programmet var satt till 0,56 och ASEA tidning ansåg att 0,58 var det värde som är bäst och därför kan man fundera på om det bara är ett skrivfel. Företaget verkar använda 0,6 i sin design.

Varför resultatet mellan de totala oljeflöderna var så stor kan bero på många fel. Ett av dem kan vara att det är andra formler och data som används i litteraturen vilket kan ge ett annat resultat. Det kan även vara så att det är felberäknat eftersom vid en kontrollberäkning av effektförlusten för litteratur 3 visade det sig att boken hade fel printat en formel. Därför skulle även formlerna för oljeflödet i litteratur 3 också kunna vara felprintade vilket beräknar fel resultat.

Beräkningsprogrammet som har analyserats beräknar bara parametrar för modeller av radiella blockstyrlager och använder ingen data från tester i verkligheten. Därför bör ändringar i beräkningsprogrammet hanteras varsamt. Eftersom beräkningsprogrammet har använts innan för att konstruera blockstyrlager kan tidigare lager användas för att se om formlerna i beräkningsprogrammet faktiskt fungerar. Om de tidigare lagrerna fortfarande är i bruk idag och inte visa allvarliga defekter bör inga ändringar i beräkningsprogrammet utföras. Om en ändring skulle utföras bör detta göras efter att formeln som ska läggas till har testats eller om tester på blockstyrlager har utförts i verkligheten. Det bör även nämnas att det är bättre om lagret är konstruerat för att vara mindre effektivt och istället är mer tålig. Detta för att om lagret skulle haverera kan det få högre kostnader än om lagret var mer effektiv och mer el genererades. Ett annat problem är att när lagret havererar står turbinen stilla vilket leder till att ingen el genereras. Även människor skulle kunna skada sig om de befinner sig i

byggnaden när lagret havererar och påverkas när ingen el produceras. Därför bör ändringar i beräkningsprogrammet hanteras varsamt då de kan påverka både människor och kostnader.

Resultatet för oljefilmtjockleken, temperaturen, böjningen och viskositeten visade inte stora skillnader alls och de flesta använde sig nästan av samma formler som litteraturen. Det fanns självklart flera sätt att beräkna dessa variabler i litteraturen men de som testades gav samma resultat som i programmet. För oljefilmtjockleken användes formlerna för axiella blockstyrlager och radiella blockstyrlager. Vid beräkningen av temperaturen användes formler bara från axiella blockstyrlager. Vilket sätt som är rätt och fel nämns inte i litteraturen, dock verkar teorin för oljefilmtjockleken med den matematiska modellen ändå rimlig. För att få reda på om beräkningarna är rätt skulle tester behöva utföras för att säkerställa det.

Programmet som analyserades var gammalt och använde sig därför av gammal litteratur som referens för beräkningarna. Delarna av litteraturen som användes nämndes inte alls och många av kommentarerna i koden beskrev inget alls eller bara kortfattat. Därför bör det påpekas att formler och diagram som antas har använts kanske inte stämmer. I programmet fanns det även vissa delar som inte blev lösta inom den tid som fanns och ingen litteratur eller kommentar i koden nämnde vad som faktiskt utfördes. Dessa delar skulle även bara kunna vara programmeringsfel eller att fel värde har använts. Framtida arbeten skulle därför kunna vara att utföra tester i koden och se hur de variablerna påverkar utdata. Om inte det utförs rekommenderas det att dessa delar skrivs om för att vara säker på vad som händer och hur det beräknas.

6.3 Hållbar utveckling och Etik

Inom vattenkraft finns många olika diskussionsämnen kopplat till hållbar utveckling och etik. Dock har dessa ämnen varit svåra att påverka i detta examensarbete då de berör exempelvis förnybar elproduktion och den stora påverkan vattenkraften har på naturen. Dock har detta funnits genom hela arbetet och vi har till viss mån påverkat den ekonomiska hållbarheten genom att effektivisera sättet att göra beräkningarna så att det går snabbare.

Vi har haft ett sekretessavtal att förhålla oss till som främst berört att inget får lämnas ut från tredje part. Arbetet har grundats i underlag från företagets kunder och är information som är känslig ur konkurrenssynpunkt. Detta är inget som har begränsat oss eftersom det vi velat visa, men känt osäkerhet i om vi får dela har vi frågat företaget om det är okej. På så vis har vi kunnat hantera informationen på ett bra sätt som känns bra från både vår och företagets sida.

7 Slutsats

Med informationen från resultatet och diskussionen dras slutsatsen att ingen av formlerna i beräkningsprogrammet ska ändras. Varför denna slutsats dras är först och främst för att beräkningarna i programmet inte skiljer sig från litteraturen. Det andra är att eftersom det bara är modeller som beräknas i programmet behöver det inte betyda resultatet från programmet stämmer. Därför för säkerhets skull rekommenderas det att inga ändringar utförs förrän tester har utförts på blockstyrlager i verkligheten. De förbättringar som skulle kunna utföras med alternativa formler får mindre värden än programmet vilket skulle vara bättre. Men för säkerhetens skull används istället de större värdena från formlerna i beräkningsprogrammet. Detta för att ett blockstyrlager som håller är bättre än ett blockstyrlager som är effektivt. Slutsatsen för beräkningsprogrammet är att det har blivit effektivare att använda och kan utföra flera uppgifter. Med flera lastfall i programmet används nu en större mängd utdata än förut och kan med dessa få fram diagram. Programmet kan även autogenerera en rapport med indata och utdata.

8 Framtida arbete

Detta skulle vara bra att undersöka mer på

- Effektförlust beräkningen skulle behöva jämföra dem i programmet med flera typer av beräkningar.
- Göra mätningar på befintliga lager för att verifiera att beräkningarna för temperatur i programmet stämmer
- Lägga till beräkningar för vad den faktiska kraften blir på lagret
- Lägga till beräkningar för styvhet och dämpning i Programmet

Referenser

Akbarzadeh, P. (2015). Numerical Study of Thermohydrodynamic Characteristics of Oil Tilting-Pad Journal Bearings with a Self-Pumping Fluid Flow Circulation. *Tribology Transaction,* 58(1), 18-30. DOI: 10.1080/10402004.2014.947664

Alexander, M & Kusleika, D. (2022). *Microsoft Excel 365 Bible*. John Wiley & Sons.

ASTM. (2016). *Standard Practise for Calculating Viscosity Index from Kinematic Viscosity at 40℃ and 100℃*(ASTM D2270-10R16). ASTM International. https://www.sis.se/produkter/externa-kategorier/petroleum-products-lubricants-and-fossil-fuels-astm-vol-05/petroleum-products-and-lubricants-i-c1234--d3710-astm-vol-0501/astmd2270/

ASTM. (2020). *Standard Practice for Viscosity-Temperature Equations and Charts for Liquid Petroleum or Hydrocarbon Products*(ASTM D341-20E1). ASTM International. https://www.sis.se/en/produkter/external-categories/petroleum-products-lubricants-and-fossil-fuels-astm-vol-05/petroleum-products-and-lubricants-i-c1234--d3710-astm-vol-0501/astm-d341-20e1/

Beer, F. P., Mazurek, D. F., Johnston, E. R., & DeWolf, J. T. (2015). *Mechanics of materials* (Seventh edition in SI Units). McGraw-Hill.

Björklund, S. (Red.)., Gustafsson, G. (Red.)., Hågeryd, L. (Red.)., & Rundqvist, B. (Red.). (2015). *Karlebo Handbok*(16 uppl.). Liber.

Brundtland, G. (1987). *Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future*(A/42/427). United Nations. https://digitallibrary.un.org/record/139811

Code::Blocks. (10 april 2023). *Code::Blocks*. https://www.codeblocks.org/

Floberg, L. (1971). *Maskinelement.* Stockholm: Almqvist & Wiksells Förlag AB.

Fortum. (23 mars 2023). *Trängslets kraftverk*. https://www.fortum.se/vara-vattenkraftverk/dalalven/trangslets-kraftverk

Fortum. (23 mars 2023). *Att renovera Sveriges högsta jorddamm*. https://www.fortum.se/om-oss/hallbarhet/investeringar-i-vattenkraft/renovering-trangslets-kraftverk

Fortran-lang. (10 april 2023). *Fortran High-performance parallel programming language*. https://fortran-lang.org/en/

Gynt, S. (1947). *Senaste utvecklingen av lager och smörjsystem för vertikala generatorer*. ASEA:s TIDNING, volym(5-6), 79-94.

Hallberg, P .(2015). Cad & produktutveckling Creo 3.0. Holmbergs

Hölcke, J. (2002). *Hydrauliska strömningsmaskiner*. KTH

Jones, G. J., & Martin, F. A. (1979). Geometry Effects in Tilting-Pad Journal Bearings. *A S L E Transaction, 22*(3), 227-244. DOI: 10.1080/05698197908982921

Kale, G., Kijchavengkul, T., Auras, R., Rubino, M., Selke, S. E., & Singh, S. P. (2007). Compostability of bioplastic packaging materials: An overview. *Macromolecular Bioscience, 7*(3), 255–277. https://doi.org/10.1002/mabi.200600168

Kalpakjian, S., Schmid, S. R., & Vijay, S. K. S. (2014). *Manufacturing Engineering and Technology*. Pearson Education South Asia.

Khonsari, M.M., & Booser, E.R. (2017). *Applied Tribology: Bearing Design and Lubrication*(3 uppl.). Wiley.

Kungliga Tekniska Högskolan. (11 Juni 2021). *Hållbar Utveckling*. KTH. https://www.kth.se/om/miljo-hallbar-utveckling/utbildning-miljo-hallbar-utveckling/verktygslada/sustainable-development/hallbar-utveckling-1.350579

Lunds universitet. (2020, 17 december). Vad är hållbarhet? Hämtad 27 februari, 2023, från https://www.hallbarhet.lu.se/forskning/vad-ar-hallbarhet

Microsoft. (3 Maj 2023). *Office VBA Reference*. https://learn.microsoft.com/en-us/office/vba/api/overview/

Nicholas, J. C. (1994). Tilting Pad Bearing Design. *Proceedings of the 23rd turbomachinery symposium. 179-194.* DOI: https://doi.org/10.21423/R11H2H

Palach, J. (2014). *Parallel Programming with Python*. Packt Publishing.

Salamone, D. J. (1984). Journal bearing design types and their applications to turbomachinery. *Proceedings of the 13th turbomachinery symposium.* 179-190. DOI: https://doi.org/10.21423/R13X0H

Schmid, S. R., Jacobson, B. O., & Hamrock, B. J. (2014). *Fundamentals of machine elements: SI version* (Third edition.). CRC Press, Taylor & Francis Group.

Simmons, G. F. (2013). *Journal Bearing Design, Lubrication and Operation for Enhanced Performance.* [Doktorsavhandling, Luleå Tekniska Universitet]. DiVA. https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:998958/FULLTEXT01.pdf

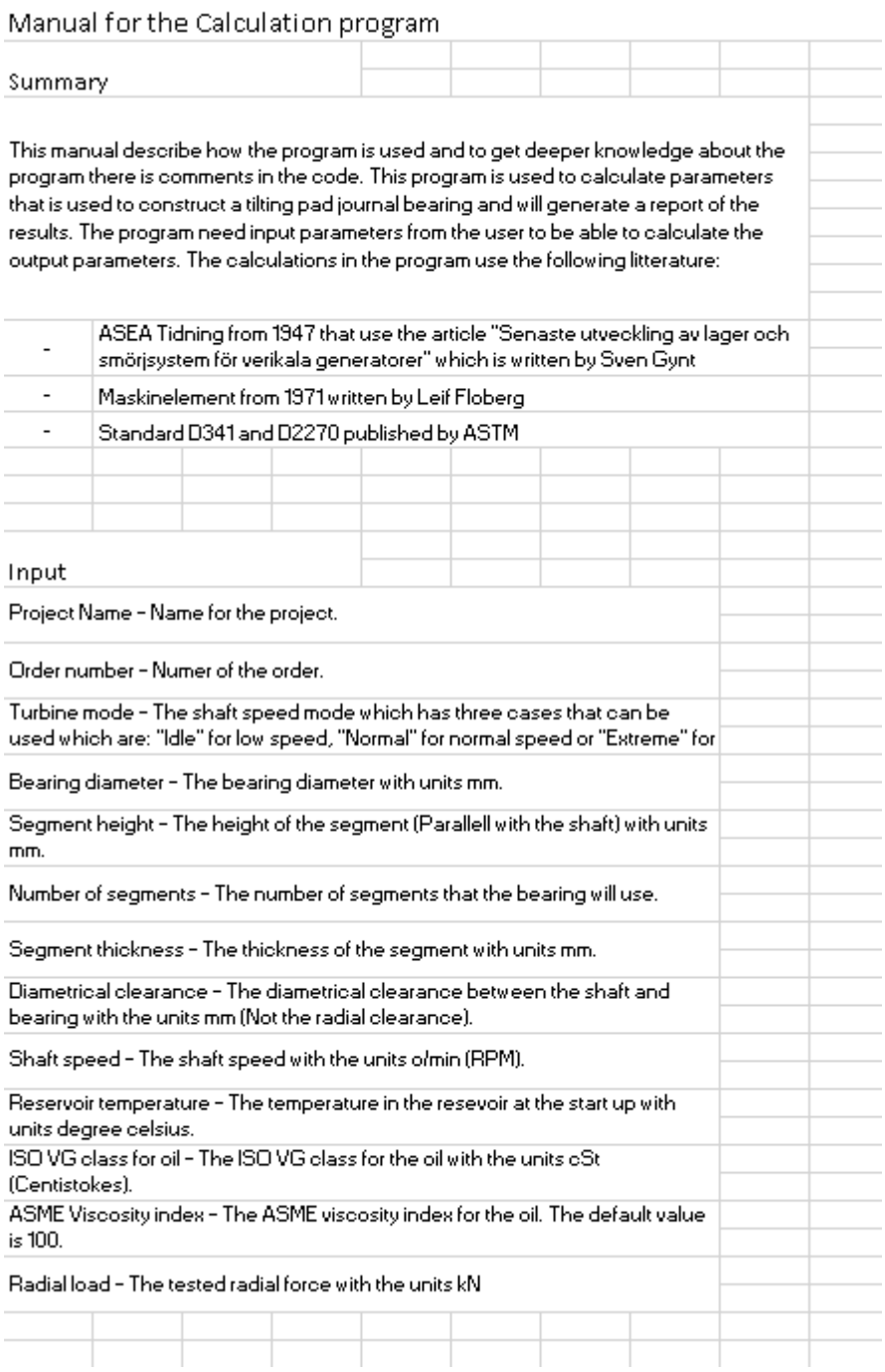
Skellefteå Kraft. (23 mars 2023). *Vattenkraft - en viktig del av framtidens energi*. https://www.skekraft.se/om-oss/verksamhet/vattenkraft/

Säfsten, K. & Gustavsson, M. (2019). Forskningsmetodik: för ingenjörer och andra problemlösare (Upplaga 1). Studentlitteratur.

Zeidan, F. Y., & Herbage, B. S. (1991). Fluid Film Bearing Fundamentals and Failure Analysis. *Proceedings of the 20th turbomachinery symposium.* 161-186. DOI: https://doi.org/10.21423/R1D950

Bilagor

Bilaga 1: Manualen till det nya programmet



Manual for the Calculation program

Summary

This manual describe how the program is used and to get deeper knowledge about the program there is comments in the code. This program is used to calculate parameters that is used to construct a tilting pad journal bearing and will generate a report of the results. The program need input parameters from the user to be able to calculate the output parameters. The calculations in the program use the following litterature:

- ASEA Tidning from 1947 that use the article "Senaste utveckling av lager och smörjsystem för verikala generatorer" which is written by Sven Gynt
- Maskinelement from 1971 written by Leif Floberg
- Standard D341 and D2270 published by ASTM

Input

Project Name – Name for the project.

Order number – Numer of the order.

Turbine mode – The shaft speed mode which has three cases that can be used which are: "Idle" for low speed, "Normal" for normal speed or "Extreme" for

Bearing diameter – The bearing diameter with units mm.

Segment height – The height of the segment (Parallell with the shaft) with units mm.

Number of segments – The number of segments that the bearing will use.

Segment thickness – The thickness of the segment with units mm.

Diametrical clearance – The diametrical clearance between the shaft and bearing with the units mm (Not the radial clearance).

Shaft speed – The shaft speed with the units o/min (RPM).

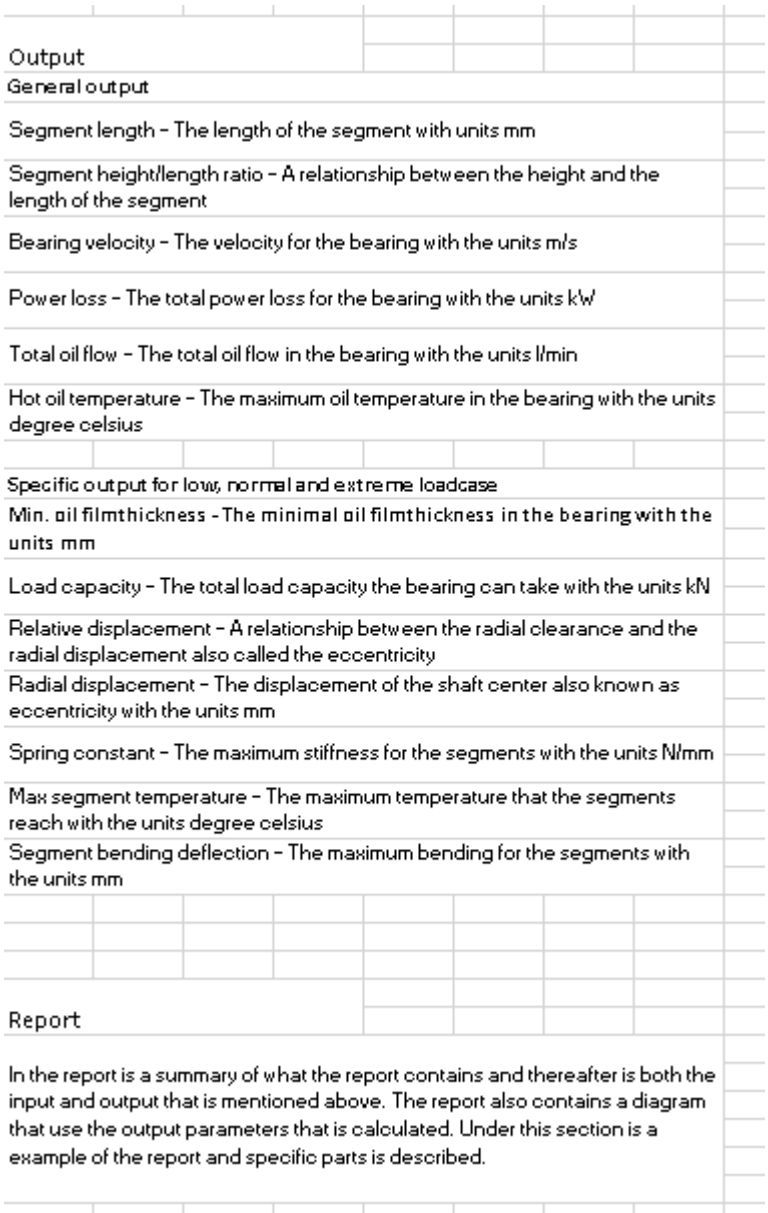
Reservoir temperature – The temperature in the resevoir at the start up with units degree celsius.

ISO VG class for oil – The ISO VG class for the oil with the units cSt (Centistokes).

ASME Viscosity index – The ASME viscosity index for the oil. The default value is 100.

Radial load – The tested radial force with the units kN

Figur 1: Första delen av manualen till det nya programmet.



Figur 2: Andra delen av manualen till det nya programmet.

Figur 3: Sista delen av manualen till det nya programmet.

	Project name:	Beräkningar för blockstyrlager i Trängslet G3						Input parameters that is explained earlier in the manual	Project name:	Beräkningar för blockstyrlager i Trängslet G3							
	Order number:	8876							Order number:	8876							
	Turbine mode:	Idle							Turbine mode:	Idle							
	Summary								Data for Low, Normal & High load								
Summary of what is in the report	This report is generated by a calculation program that calculate a specific output and in this section every part in the report is disclribed. Under the input part you will find the values that was input in the program. In the next part you will find the output generated from the program. This part is divided in different sections where the first one, General Data, shows the output for the bearing. In the next section in output you will found data for low, normal and extreme load. This data is for each specific loadcase in the program. In the last section you will find diagram that show the results between the load capacity and radial displacement							Output parameters that is explained earlier in the manual.	Loadcase		Low load		Normal load		Extreme load	
									Min. oilfilm thickness		0,11		0,04		0,02	mm
									Load capacity		34,61		361,45		644,93	kN
									Realtive displacement		0,10		0,68		0,84	
									Radial displacement		0,018		0,122		0,151	mm
									Spring constant		1,20E+06		2,21E+06		2,81E+06	N/mm
									Max segment temperature		52,80		74,21		103,44	deg C
									Segment bending deflection		0,0108		0,0410		0,0785	mm
	Input:							The diagram use the parameters for load capacity and radial displacement from the list under it from each loadcase.									
Input parameters that is explained earlier in the manual.	Bearing diameter					1050	mm										
	Segment height					310	mm										
	Number of segments					10											
	Segment thickness					50	mm										
	Diametrical clearance					0,36	mm										
	Shaft speed					230,77	o/min										
	Reservoir temperature					45	deg C										
	ISO VG class					46	cSt										
	ASME Viscosity Index(Default = 100)					100											
	Radial load					100	kN										
	Output:																
	General data																
Output parameters that is explained earlier in the manual.	Segment length					325,87	mm										
	Segment height/length ratio					0,951											
	Bearing velocity					12,69	m/s										
	Power loss					22,27	kW										
	Total oil flow					103,32	l/min										
	Hot oil temperature					52,43	deg C										
									Data for Diagram								
								Output parameters for the diagram were the loadcase is which loadcase it is and the rest is explained earlier in the manual.	Loadcase		1	2	3	4	5	
									Radial displacement		0,02	0,08	0,12	0,14	0,15	mm
									Load capacity		34,61	171,92	361,45	470,63	644,93	kN
									Radial load		100	100	100	100	100	kN
	Rev.	Date	Description	Sign.	Checked	Appr.		These boxes should be filled by the user which form left to right is: Revision, Date, Description, Signature, Checked and Approved	Rev.	Date	Description	Sign.	Checked	Appr.		

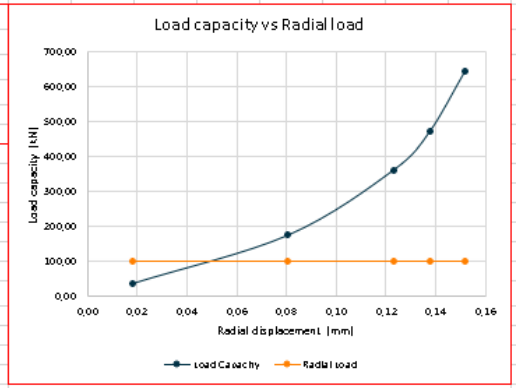
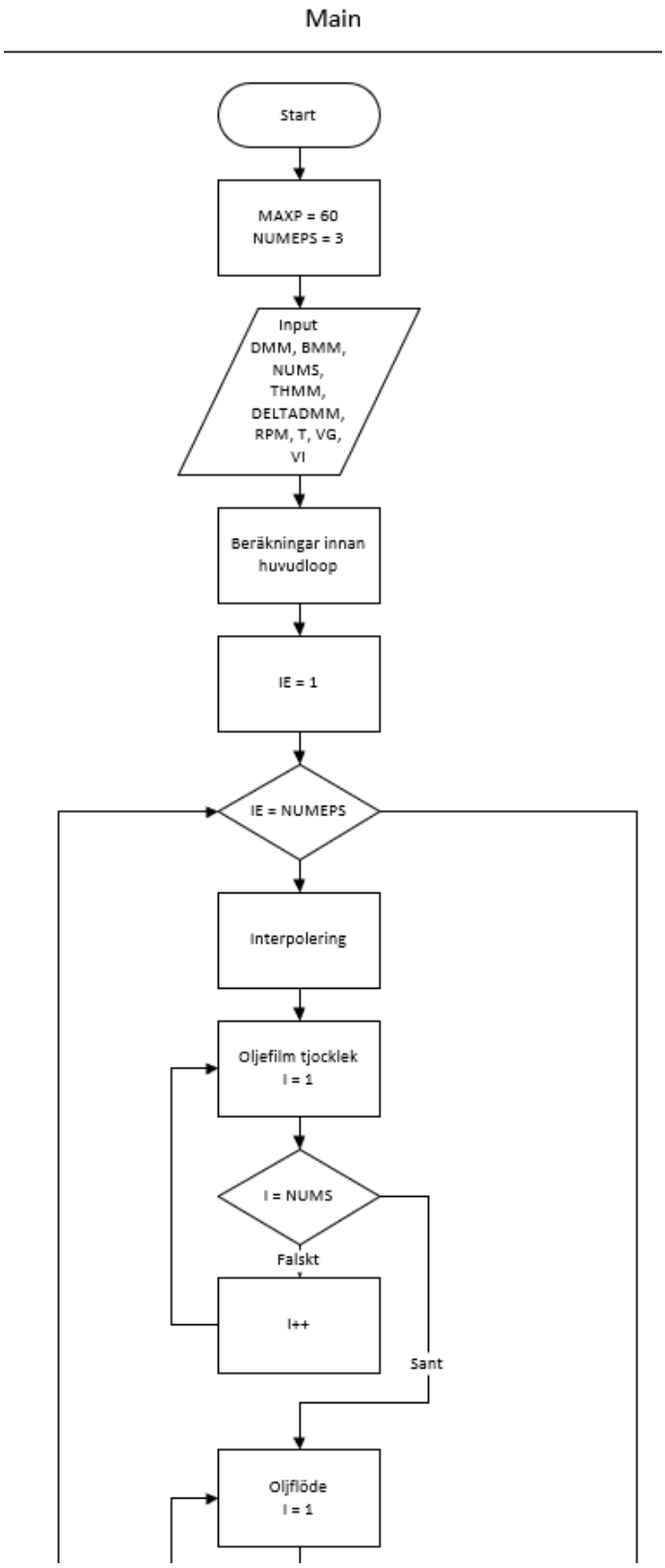
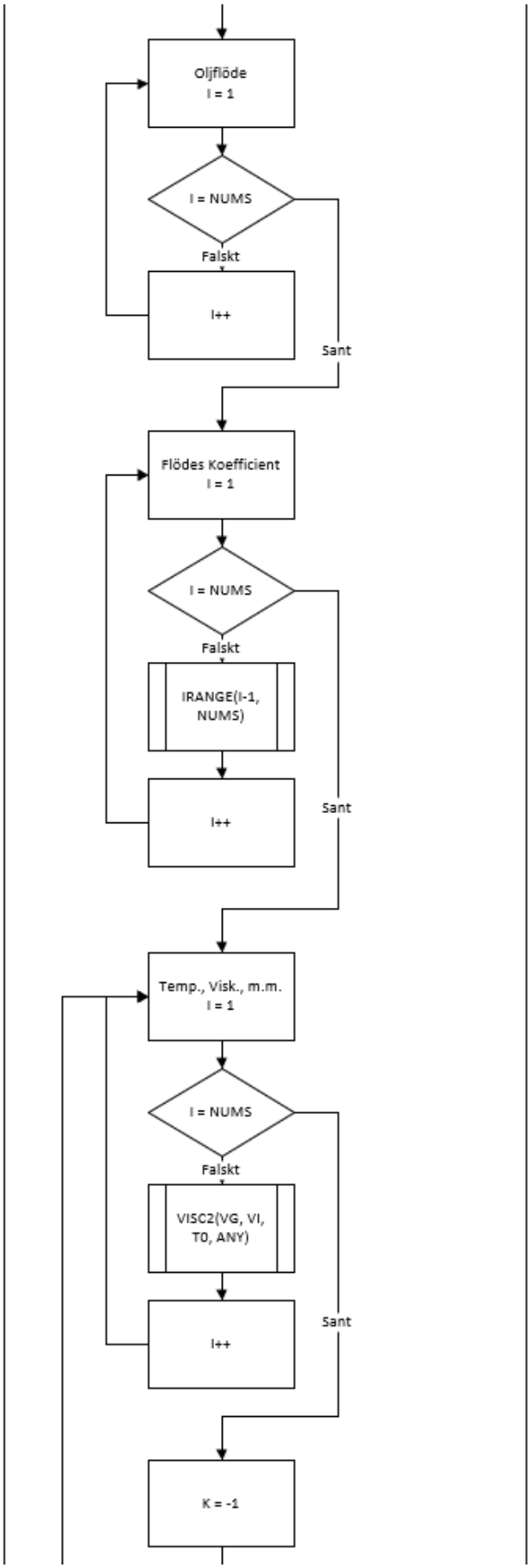


Figure 1: The Load capacity from the program against the tested Radial force

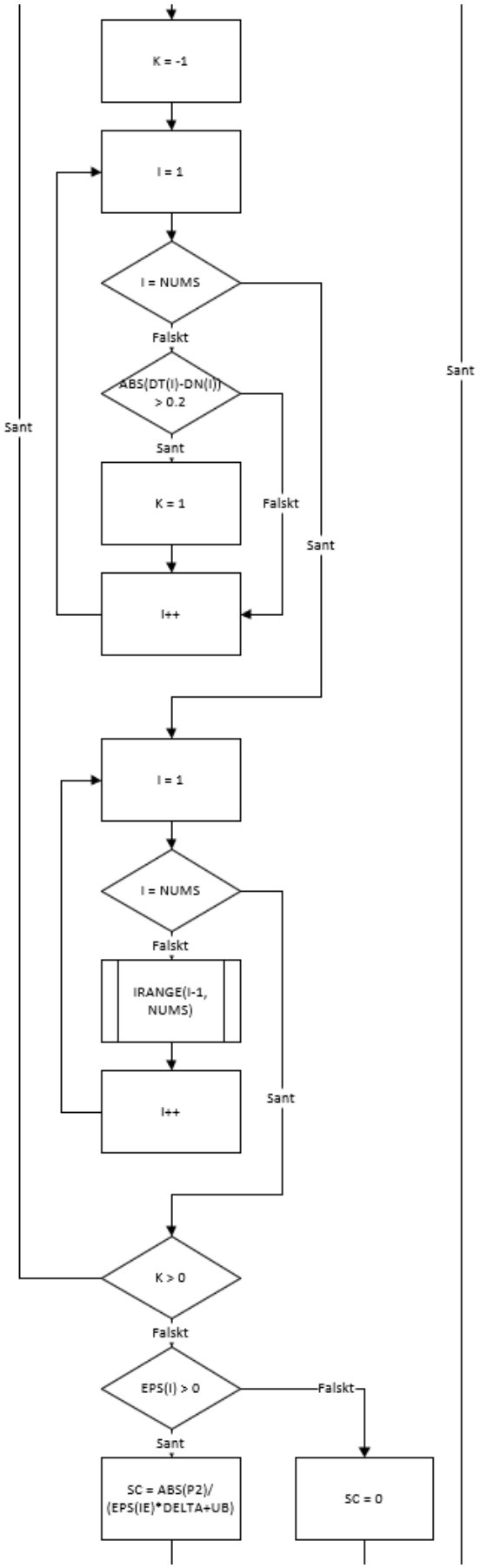
Bilaga 2: Programmets programmeringsstruktur



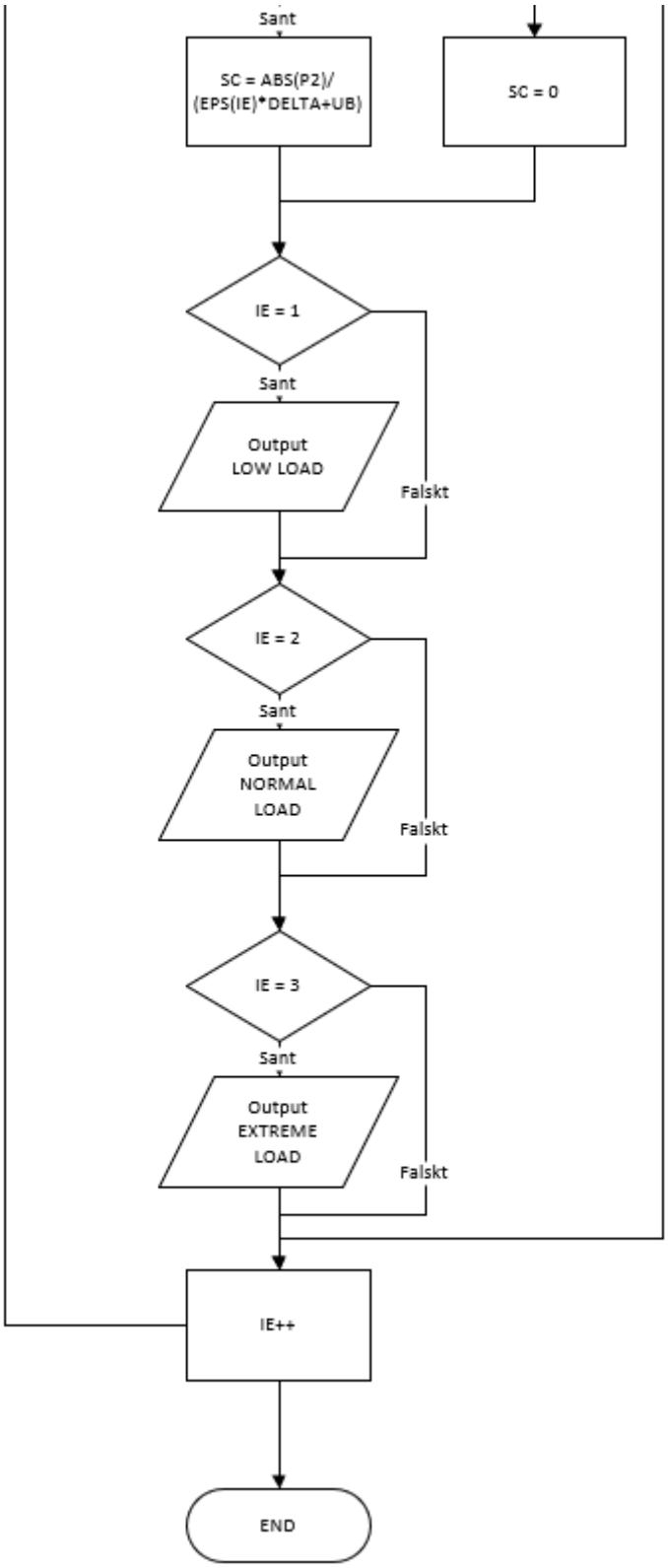
Figur 4: Första delen av Mainfunktionen.



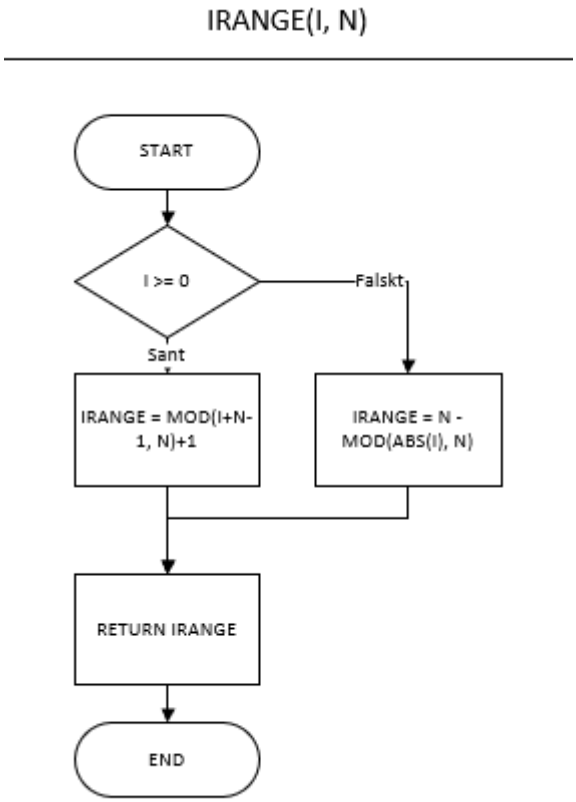
Figur 5: Andra delen av Mainfunktionen.



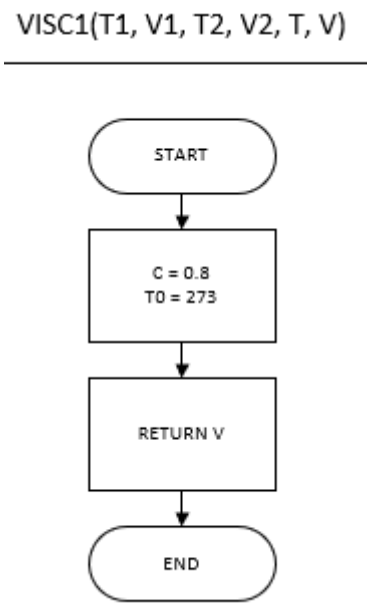
Figur 6: Tredje delen av Mainfunktionen.



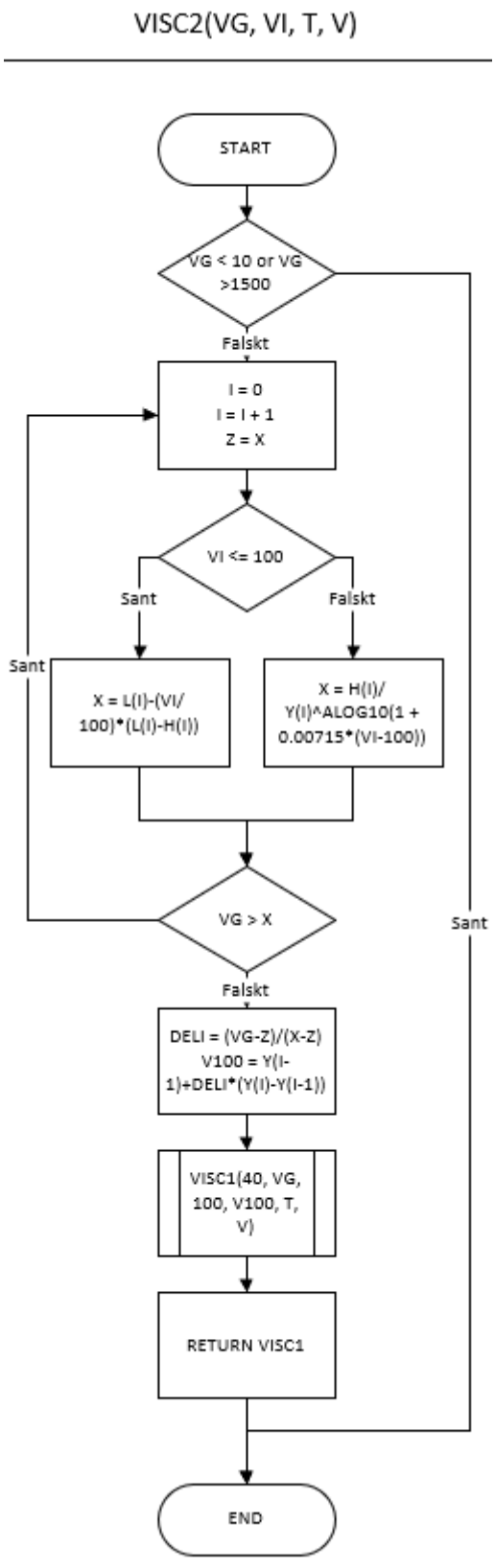
Figur 7: Fjärde delen av Mainfunktionen.



Figur 8: Subfunktion IRANGE.

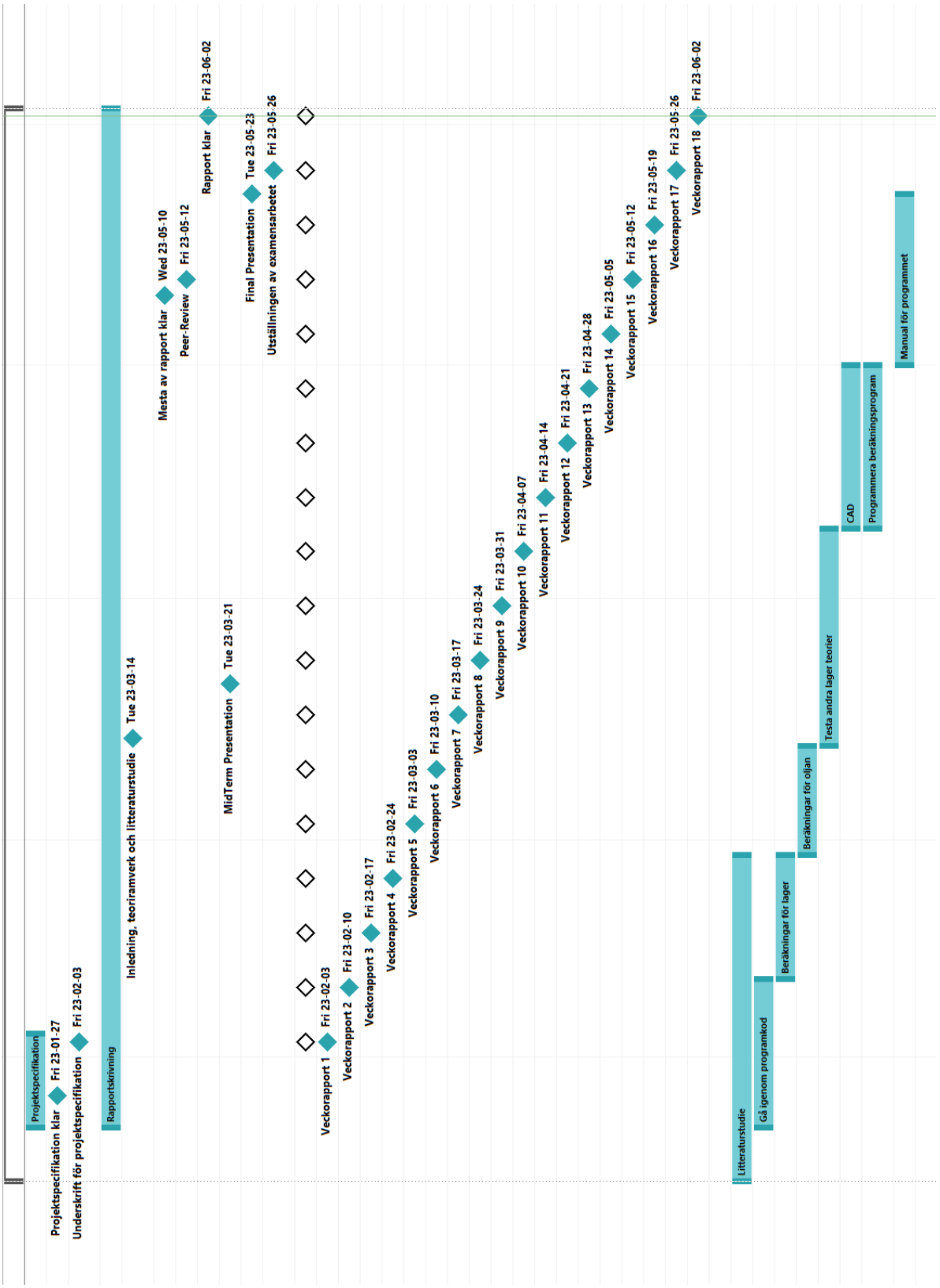


Figur 9: Subfunktionen VISC1.

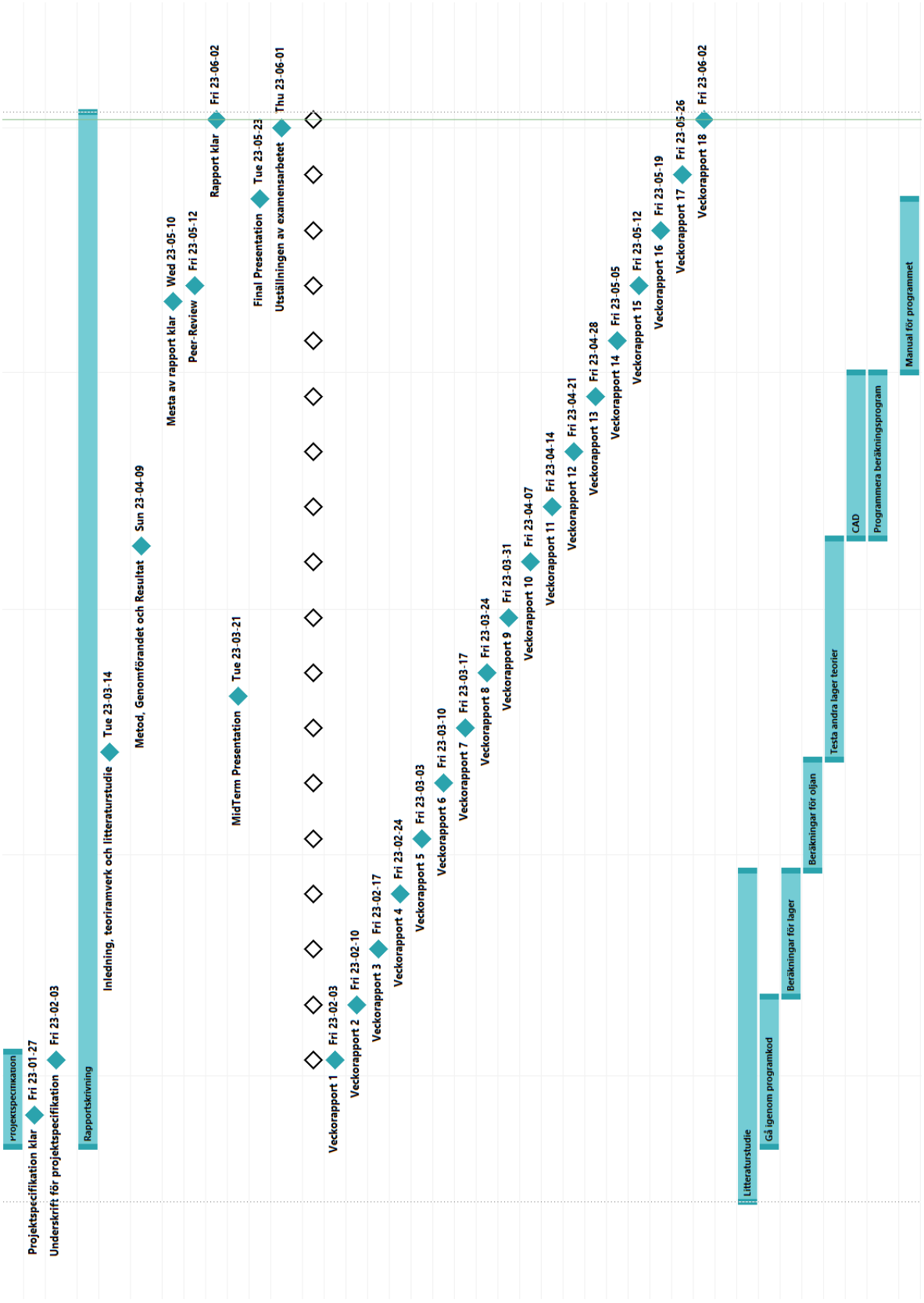


Figur 10: Subfunktionen VISC2.

Bilaga 3: Tidsplaneringen



Figur 11: Den första tidsplaneringen.



Figur 12: Uppdaterad tidsplanering.