



Institutionen för vattenbyggnad
Chalmers Tekniska Högskola

Department of Hydraulics
Chalmers University of Technology

ISSN 0348 1069

Manual för MODEX - MODIM

**Ett datorprogram för simulering av
dynamiska förlopp i förankringskablar**

Jan Lindahl

Report

Series B: 43

Göteborg 1983



Institutionen för Vattenbyggnad
Chalmers Tekniska Högskola

Department of Hydraulics
Chalmers University of Technology

Manual för MODEX - MODIM

Ett datorprogram för simulering av
dynamiska förlopp i förankringskablar

av

Jan Lindahl

Report
Series B:43

Göteborg 1983

Adress: Institutionen för Vattenbyggnad
Chalmers Tekniska Högskola
412 96 Göteborg

Telefon: 031/81 01 00

FÖRORD

Målsättningen med denna rapport är att ge en beskrivning av hur indata formuleras till ett beräkningsprogram som utvecklats vid institutionen för Vattenbyggnad. Till rapporten finns appendix som anger programflöde vid olika beräkningsfall samt en översiktlig beskrivning av huvudprogram och subrutiner. Datorprogrammet analyserar svängningar i förankringskablar. Programmet är en implementering av teorier som redovisas i [1], [2]. Dynamisk analys av förankringskablar ingår som ett delprojekt till projektet "Off-shore Structures - Wave Forces and Motions", vilket delvis finansieras av STU (Styrelsen för Teknisk Utveckling). Håkan Strandner skall ha ett tack för goda råd i samband med programmeringsarbetet.

Göteborg, Augusti 23, 1983.

Jan Lindahl

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

Sid.

	Förord	
	Innehållsförteckning	
1.	Inledning	1
2.	Indata till MODEX och MODIM	5
2.1	MODEX	5
2.2	MODIM	30
3.	Beräkningsexempel	38
3.1	Förskjutningsexciterad kabel i en ström	38
3.2	förskjutningsexciterad förankringskabel	49
	Referenser	59
Appendix	Programflöde och subrutiner	60

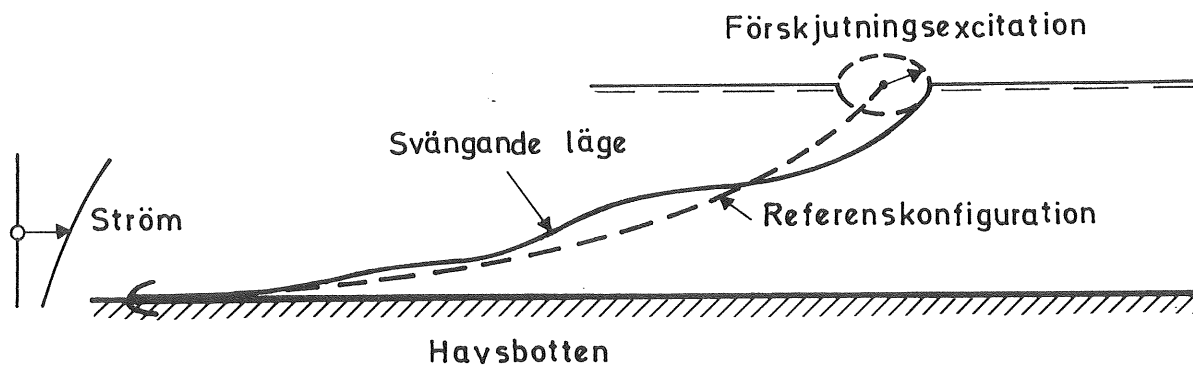
1. INLEDNING

Den teoretiska bakgrunden till beräkningsprogrammet finns redovisad i [1], [2].

Finita elementmetoden utnyttjas för att transformera de partiella differentialekvationer som beskriver förankringskabelns rörelse till ett system av ordinära differentialekvationer. De ordinära differentialekvationerna kan enligt [1] lösas med en explicit numerisk integration i tidsplanet, i [2] löses dessa med en implicit numerisk metod.

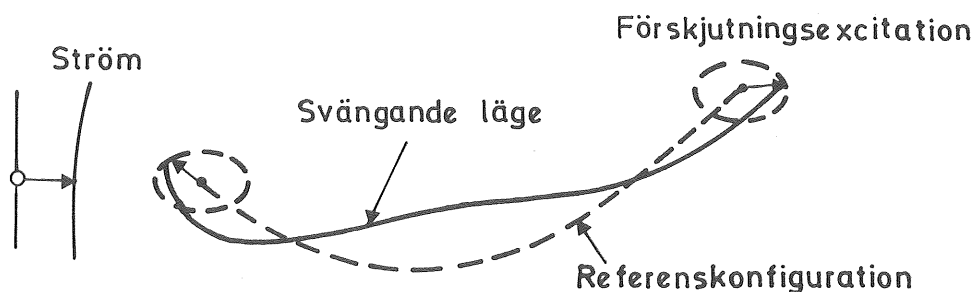
Det program som redovisas i denna rapport består därför egentligen av två: MODEX (Mooring Dynamics, Explicit Method) och MODIM (Mooring Dynamics, Implicit Method). MODEX är en implementering av teorierna i [1] med vissa modifieringar som redovisas genom appendix i [2]. MODIM är en implementering av teorier i [1], [2].

Vilka möjligheter har programmen? Figurerna 1.1 och 1.2 visar exempel på två möjliga fall som kan analyseras.



Figur 1.1

Förankringskabel.



Figur 1.2 Förskjutningsexciterad kabel i en ström.

Det första fallet som visas föreställer en "förskjutnings-exciterad förankringskabel". Kända rörelser (randvillkor) specificeras i övre fästpunkten och vid ankaret som ligger fast. Randvillkoret i övre punkten kan vara en tidsrealisation av den förväntade rörelse som en stor flytande konstruktion kan ha. Vidare beaktas verkan av havsbotten och stationära strömmar. I det andra fallet visas en kabel i en ström som är förskjutningsexciterad vid båda ändpunkterna.

I båda figurerna visas kabelns svängande läge samt en referenskonfiguration. Referenskonfigurationen är ett statiskt läge som kabeln kan ha under påverkan av tyngdkrafter, hydrostatiskt tryck och en havsbotten.

Detta läge utnyttjas som referens vid beräkning av tidsberoende förlopp vilket innebär att alla tidsberoende förskjutningar mätes relativt i detta läge.

En statisk beräkning genomföres alltså först, detta läge utnyttjas som begynnelsevillkor och referens i en dynamisk analys. Det statiska läget kan associeras till en medelposition som en flytande förankrad konstruktion kan ha under inflytande av krafter som normalt betraktas som konstanta dvs vind och ström (samt ofta driftkrafter).

Det finns vissa väsentliga skillnader mellan MODEX och MODIM vid tidsberoende analys. Angående MODEX kan följande nämnas:

- o Två eller tredimensionella beräkningar är möjliga.
- o Havsbotten simuleras som om den vore helt stel och fullkomligt energiabsorberande.
- o Modellen för friktion mellan kabel och havsbotten har varit föremål för modifikationer i jämförelse med [1] och beaktas nu enligt appendix i [2].
- o Kabelns inre dämpning beaktas enligt appendix i [2].
- o Randvillkor kan formuleras i form av föreskrivna krafter eller föreskrivna förskjutningar i kabelns ändpunkter.
- o Vid negativa töjningar i kabeln (kompression) finns två möjligheter. Antingen antages kabeln kunna ta upp tryckkrafter eller också antages att kraften i kabeln blir noll.

Angående MODIM kan följande nämnas:

- o Tredimensionella beräkningar är ej möjliga, enbart tvådimensionella.
- o Havsbotten simuleras med linjära fjädrar och linjära viskösa dämpare.
- o Friktion mellan kabel och havsbotten beaktas ej.
- o Randvillkor kan enbart ges i form av föreskrivna förskjutningar i kabelns ändpunkter.
- o Kabeln antages kunna ta upp tryckkrafter. (efter kompression kan kabeln knäcka).

Som tidigare nämnts utnyttjas vid tidsberoende analys en explicit numerisk integration i MODEX samt en implicit i MODIM. Den explicita metoden är villkorligt stabil, vilket innebär att tidsstegen ej får vara för stora för att ge en lösning. Vid implicit integration kan större tidssteg väljas men beräkningsarbetet per tidssteg är också mycket större. Vid implicit integration kan man naturligtvis inte välja hur stora tidssteg som helst. Väljes för stora tidssteg kan divergenta lösningar erhållas, i många fall

märks detta genom att de iterationer som är förknippade med lösningsproceduren divergerar.

Som råd till brukaren till denna manual kan följande nämnas: Läs hela manualen översiktligt först, därefter bör man koncentrera sig på varje kortgrupp i sänder. Dessutom är det lämpligt att känna till bakomliggande teorier.

2. INDATA TILL MODEX OCH MODIM

2.1 Modex

Sammanfattningsvis kan sägas: kortgrupp 1-5 erfordras för att genomföra en statisk beräkning. Kortgrupp 1-6 erfordras för att genomföra en beräkning av kabelns egenmoder och egenperioder. Kortgrupp 1-33 erfordras för att studera tidsberoende förlopp. SI-enheter (kg - m - s) utnyttjas överallt i programmet.

Kortgrupp 1, antal kort = 1.

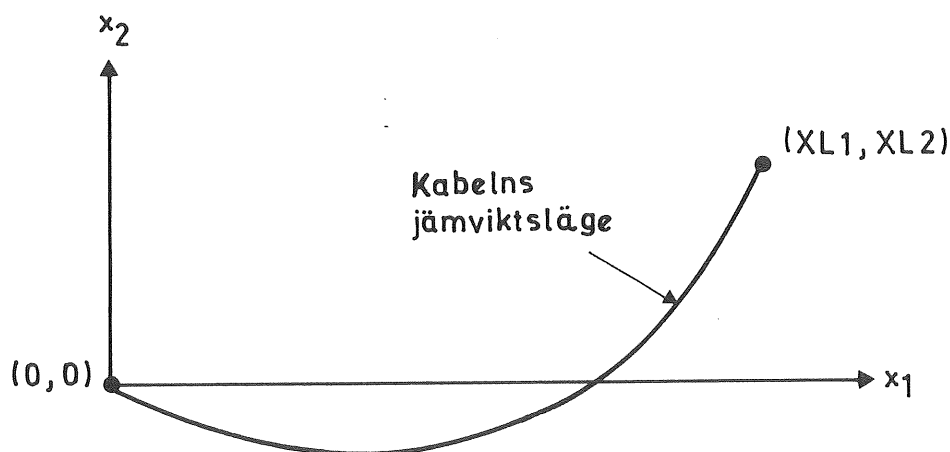
XL1, XL2, ND, NS, ICASE, IEIG

FORMAT (2F10.4, 4I5)

XL1 = Lägeskoordinat (m) för kabelns ändpunkt vid jämvikt.

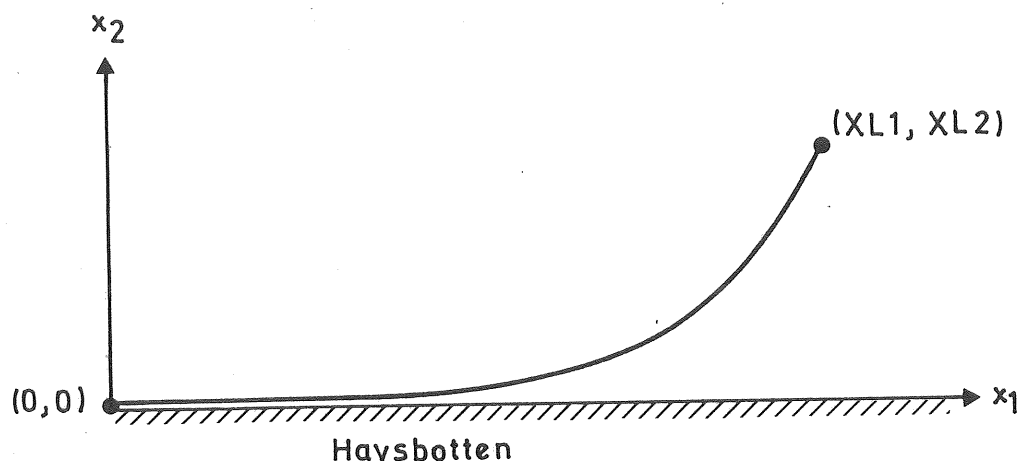
XL2 = Lägeskoordinat (m) för kabelns ändpunkt vid jämvikt.

Se figur 2.1, 2.2.



Figur 2.1 Kabelns jämviktsläge i fallen
ICASE=1,3 för koordinaterna XL1, XL2.

I fallet enligt figur 2.1 så måste åtminstone $XL1 > 0$. Kabeln hänger i ett plan som bildas av koordinataxlarna x_1 och x_2 .

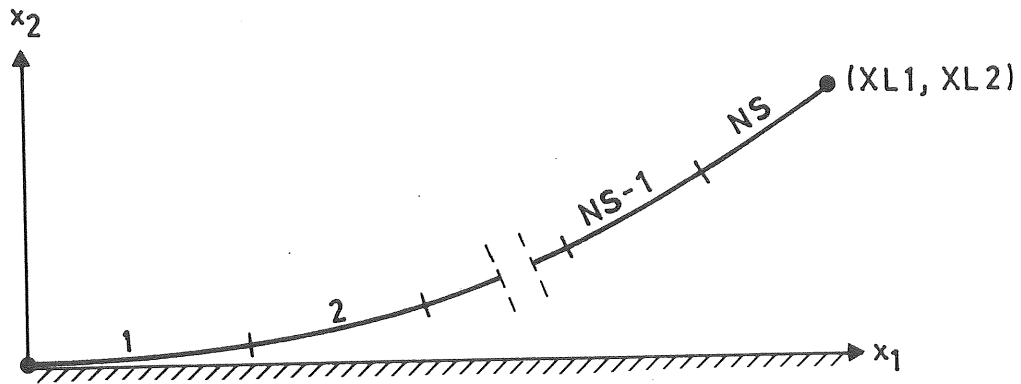


Figur 2.2 Kabelns jämviktsläge i fallen ICASE=2,4 för koordinaterna $XL1$, $XL2$.

I fallet enligt figur 2.2 så måste åtminstone $XL1 + XL2 >$ kabelns osträckta längd TL samt $XL1 > 0$. Kabeln hänger i planet som bildas av koordinataxlarna x_1 och x_2 samt vilar delvis på havsbotten.

ND = 2 Tvådimensionell beräkning . $x_3 = 0$.
 = 3 Tredimensionell beräkning. Kabeln skall kunna svänga ut ur sitt eget jämviktsplan, $x_3 \neq 0$.
 Vid statisk analys genomföres beräkningen tvådimensionellt även i fall ND = 3.

NS = Antal kabelsegment. Kabeln indelas i segment med olika egenskaper. Numrering av segmenten anges i figur 2.3.



Figur 2.3 Numrering av segment.

ICASE = 1	Ingen verkan av havsbotten, statisk analys (se figur 2.1)
ICASE = 2	Havsbotten, statisk analys (se figur 2.2)
ICASE = 3	Ingen verkan av havsbotten, dynamisk beräkning. Kabelns jämviktsläge (se figur 2.1) utnyttjas som referenskonfiguration.
ICASE = 4	Havsbotten, dynamisk beräkning. Kabelns jämviktsläge (se figur 2.2) utnyttjas som referenskonfiguration.
IEIG = 0	om ICASE = 3, 4
= k	om ICASE = 1, 2 ($0 \leq k \leq$ systemets frihetsgrader). Då beräknas de k stycken högsta egenperioderna med tillhörande egenmoder under förutsättning av små svängningar kring kabelns jämviktsläge. Verkan av alla typer av dämpande krafter (ex. släpkrafter) beaktas ej.

I fallet ICASE = 2 simuleras havsbotten med linjära fjädrar. Fjädrarnas styvhet beräknas genom att tillåta en viss nedsjunkning under havsbotten ($x_2 = 0$), se kortgrupp 4. I ett tredimensionellt fall utnyttjas även denna fjäderstyvhet så att svängning utefter havsbotten undertryckes (egensvängning ut ur kabelns jämviktsplan).

Beräkning av "egenmoder och egenperioder" baseras alltså på en rad antaganden. De hydrodynamiska släpkrafterna har visat sig ha stor inverkan på systemets egenskaper. Man bör sålunda inte dra alltför långtgående slutsatser utifrån de beräknade egenmoderna och egenperioderna, så som man ibland gör när man studerar svagt dämpade linjära system.

Kortgrupp 2, antal kort = NS:

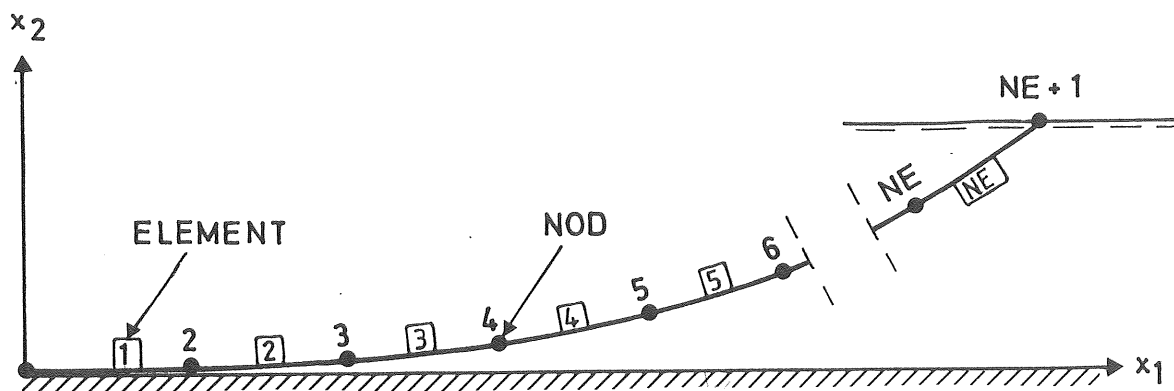
För $I = 1$, NS ge:

DM, DENSC, EK, CCV, TLS, NES
 FORMAT (2F10.4, 2E15.5, F10.4, I5)

Kabelsegmentens numrering och inbördes ordning framgår av figur 2.3. Varje segment indelas i NES stycken element. Kabelns data ges för varje segment I genom:

DM = Kabelns massa per längdenhet osträckt längd (kg/m).
 DENSC = Kabelns densitet (kg/m^3). (DENSC > DENS, där DENS är vattnets densitet).
 EK = Kabelns styvhet (N). Angående materialmodell se [1] ekv. (2.6).
 CCV = Kabelns dämpkonstant (NS). Se appendix i [2].
 TLS = Kabelsegmentets osträckta längd (m).
 NES = Antalet element i segmentet I .
 Jämmt heltal NES ≥ 2
 Elementlängden blir TLS/NES (m).

Totala antalet element blir $NE = \sum_{I=1}^{NS} NES$ och antalet noder $NE+1$. Numrering av noder och element framgår av figur 2.4. (Nuvarande fältstorlek tillåter upp till 96 element, vid beräkning av egenperioder och egenmoder dock bara hälften dvs $NE = 48$).



Figur 2.4 Numrering av noder och element.

Kortgrupp 3, antal kort = 1

DELL, EFAC, IPRI
FORMAT (2F10.4, I5)

Detta är ett särskilt kort för att erhålla en statisk lösning. IPRI anger olika typer av utdata från den statiska beräkningen.

DELL = Anger antalet "laststeg", $0.0 < \text{DELL} < 1.0$. Totala verkan av tyngdkrafter kommer att uppdelas i $1/\text{DELL}$ st laststeg. Varje lastnivå associeras till en bestämd referenskonfiguration. I sista laststeget så har tyngd och hydrostatiska krafter nått sin fulla styrka. För en kabel med lika fördelad massa och styvhet är det normalt tillräckligt med 10-20 st laststeg. För en kabel med segment som har skilda egenskaper erfordras fler.

I det senare fallet lägges tyngd och hydrostatiska krafter på i lika steg över hela kabeln till dess något segments yttre krafter har nått sin fulla styrka. Detta segment får därefter inte något bidrag utan enbart de andra segmenten ända tills någon av dessa segments yttre krafter har nått sin fulla styrka osv. Proceduren fortgår ända tills kabeln har nått sitt slutgiltiga jämviktsläge.

EFAC = Numerisk faktor. Vid första laststeget är om $XL1^2 + XL2^2 < TL^2$ den första referenskonfigurationen etablerad ur den s.k. "oelastiska kedjelinjen". För att nå nästa referenskonfiguration erfordras att kabeln ges en extra styvhet, denna erhålles med linjära fjädrar i noderna. EFAC ger styvheten hos dessa fjädrar relativt kabelelementens medelstyvhet. Fjädrarnas styvhet blir alla

$EFAC \cdot \frac{1}{NE} \sum_{i=1}^{NE} k_i / l_i$, där l_i elementens längd och k_i är kabelelementens styvhet, NE = antalet element. För en kabel med lika elementlängd, lika fördelad massa och styvhet har storleksordningen EFAC = 0.01 givit bra resultat (konvergerande lösning). Fjädrarnas styvhet reduceras för varje laststeg och är noll då kabeln når jämviktsläget. Om $XL1^2 + XL2^2 > TL^2$ kan EFAC anges som noll.

IPRI = 0 utskrift av inre krafter och töjningar samt av kabelns jämviktsläge.
 = 1 Samma som ovan (IPRI = 0) men med extra utskrift av resultat från iterationer i varje laststeg m.m.

Om ICASE = 1 eller 3 fortsätt vid kortgrupp 5.

Kortgrupp 4 , antal kort = 1.

BDIS

FORMAT (F10.4)

BDIS = kabelns nedsjunkning under havsbotten ($x_2 = 0$) vid jämvikt. BDIS > 0.0 (m).
 Genom BDIS beräknas havsbottens styvhet, antagen som linjärt elastiska fjädrar.
 Dessa utnyttjas i den statiska analysen eller vid beräkning av egenperioder och egenmoder.

Kortgrupp 5, antal kort = 1

DENS

FORMAT (F10.4)

DENS = Vattnets densitet (kg/m^3).

Om $\text{ICASE} \leq 2$ och $\text{IEIG} = 0$ kan en statisk beräkning genomföras.

Översiktligt programflöde med erforderliga subrutiner framgår av appendix figur A.1

Kortgrupp 6, antal kort = NS.

För $I = 1, \text{NS}$ ge

CDN, CDT, CNM, DIAM

FORMAT (4 F10.4)

Dessa kort ger kabelns diameter och hydrodynamiska koefficienter för varje kabelsegment. Segmentindelning och segmentlängd är fastställda genom kortgrupp 2. För segment I ges:

CDN = Släpkraftskoefficient för strömning i kabelns normalriktning.

CDT = Släpkraftskoefficient för strömning i kabelns tangentiella riktning.

CNM = Koefficienten för den adderade hydrodynamiska massan i kabelns normalriktning.

DIAM= Kabelns diameter (m).

Om $\text{IEIG} > 0$ och $\text{ICASE} \leq 2$ kan egenmoder och egenperioder beräknas. Översiktligt programflöde med erforderliga subrutiner framgår av appendix figur A.2.

Kortgrupp 7, antal kort = 1

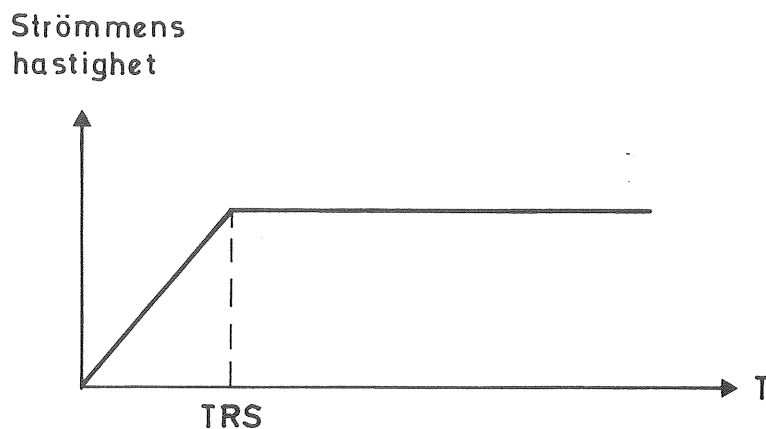
NST, TRS

FORMAT (I5, F10.4)

NST = 0 Ingen specificerad ström

≥ 2 Antal punkter där strömmen specificeras
(maximalt 10).

TRS = Reduktion av strömmens hastighet enligt figur 2.5
under en del av tiden (s).



Figur 2.5 Reduktion av strömmens hastighet.

Om NST = 0 fortsätt vid kortgrupp 9

Kortgrupp 8, antal kort = NST

För I = 1, NST ge:

YST, (VST (J), J = 1, ND-1)

FORMAT (3F10.4)

Genom denna kortgrupp kan en ström simuleras. Strömmen är parallell med havsbotten och specificeras utefter punkter på x_2 -axeln. Strömmen skall ges utefter hela x_2 -axeln där kabeln rör sig - strömmen måste alltid täcka kabeln hela tiden.

Mellan dessa punkter antages att strömmens hastighet varierar linjärt.

YST = Nivå på x_2 -axeln i(m) där strömmen specificeras.
Inges i ökande ordningsföljd (med början en bit under havsbotten i fallet ICASE = 4).

VST(J)= Strömmens hastighet i (m/s) vid nivån YST.
Om antalet dimensioner ND=2 angiv VST(1),
där VST(1) är komponenten i riktning x_1 .
Om ND=3 angiv VST(1) och VST(2) där VST(2)
är komponenten i x_3 -riktningen.

Kortgrupp 9, antal kort = 1

DELT, TMAX, TS, TR, IPOL, NUPM
FORMAT (4 F10.4, 2I5)

DELT = Tidssteg. En väsentlig gräns för att den numeriska lösningen skall vara stabil är $DELT < (l_j/c_1)$ min. där l_j är elementlängden och c_1 kabelns longitudinella våghastighet, min. anger den minsta kvoten. Uttrycket ovan skall tolkas som en tumregel och utgångspunkt.

TMAX = Realiseringstid (s). Tidsintegrationen startar vid tiden noll och slutar vid tiden TMAX.

TS = Tidpunkt då givna kraft- och/eller förskjutningsexcitationer skall starta (s). $TS > 0.0$. Se figur 2.6 samt studera detta vidare vid kortgrupp 11.

TR = Tid i (s) som anger hur lång tid förskjutnings-
excitationerna skall reduceras. Se figur 2.6
samt studera detta vidare vid kortgrupp 11.

IPOL = 0 Hydrodynamiska släpkrafter ges värdet noll i analysen (helt oberoende av vad som tidigare angivits vid kortgrupp 5).

När finita elementmetoden utnyttjas måste de integraler (se ekv. 3.18, 3.19 i [1]) som anger elementets släpkrafter måste lösas numeriskt. Dessa integraler löses med Newton-Cotes formel, se ekv.(10.1) samt tabell 10.1 i [3]. Värdet på $IPOL > 0$ anger med vilken ordnings noggrannhet integralerna skall lösas, 1;a ordningen motsvarar linjär interpolation mellan noderna:

IPOL = 1 1:a ordning (se [2] ekv. 10.1, tabell 10.1)

IPOL = 2 1:a ordning -"-

Om ICASE = 3 fortsätt vid kortgrupp 11

Kortgrupp 10, antal kort = 1

CFR, CVTOL

FORMAT (2F10.4)

CFR = Friktionskoefficient mellan kabel och havsbotten.

CVTOL = Tolerans (m/s) för att undvika numeriska problem när friktionsmodellen utnyttjas.
Se [2] appendix eller fig. 3.2 i [1] .

Friktionsmodellen har varit föremål för små modifieringar i jämförelse med vad som redovisats i [1] . Se appendix i [2]

Kortgrupp 11, antal kort = 1

NTF, NDF, NDP, NC, NSS

FORMAT(5 I5)

NTF = Antal tidpunkter där kraft- eller förskjutningsexcitationer specificeras.
(Dessa specificeras vid samma tidpunkter). Maximalt 50 punkter.

NDF = Antal specificerade yttre kraftfunktioner i kabelns noder. Maximalt 5 stycken.

NDP = Antal föreskrivna förskjutningsfunktioner i kabelns noder. Maximalt 5 stycken.

NC = Antalet nollförskjutningar i kabelns noder.

NSS = 0 kabelns inre krafter antages följa antagna konstitutiva samband och kan ta upp tryckkrafter (kompression).

NSS = 1 Kabelns inre krafter antages bli noll vid negativa böjningar (kompression).

Kraft eller förskjutning kan föreskrivas i kabelns noder. Anges förskjutningsexcitation i någon nod skall förskjutningarna föreskrivas i alla riktningar (x_1, x_2 vid en tvådimensionell beräkning respektive x_1, x_2 och x_3 vid en tredimensionell beräkning).

Normalt föreskrives förskjutningarna för en ankarkabel vid ankaret dvs nod 1 samt vid infästningspunkten dvs nod NE + 1. (se figur 2.4). Ett fast ankare ger i ett tvådimensionellt fall att NC = 2, föreskrives två stycken förskjutningar i nod NE + 1 blir NDP = 2.

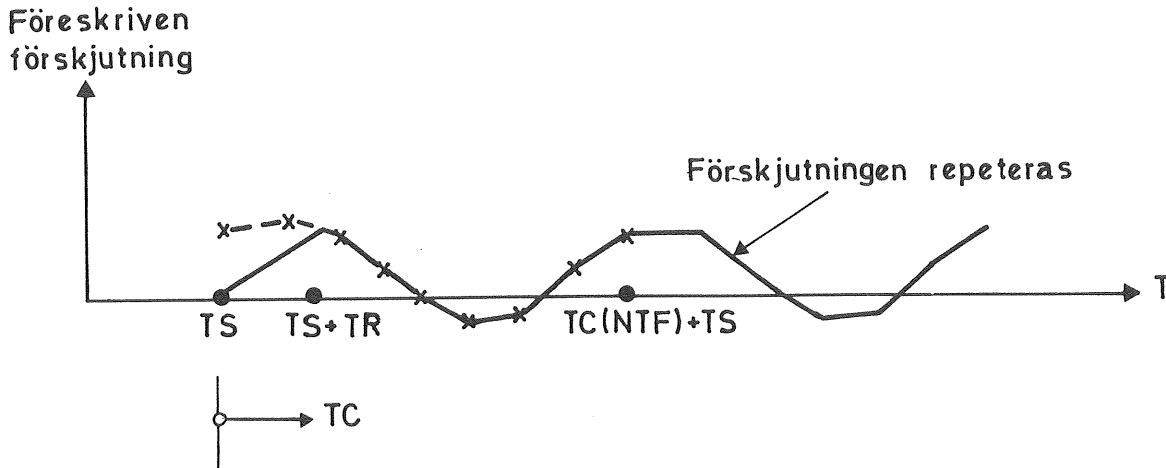
Det är relativt meningslöst att föreskriva förskjutningar i någon nod mitt på kabeln, detta förfarande ger konflikt om kabeln föreskrives att röra sig under havsbotten.

Med föreskriven kraft menas en extra kraft som är känd på förhand och som skall adderas till andra krafter som verkar i noderna (tyngdkrafter etc.). Att ange föreskriven kraft och föreskriven förskjutning i samma nod är ej tillåtet.

Föreskrivna krafter eller förskjutningar specificeras i NTF stycken tidpunkter TP(I), tidpunkterna kan därefter skalas till TC(I) = AMPT * TP(I) och antages variera linjärt mellan dessa (se figur 2.6). Krafter och förskjutningar specificeras genom kortgrupp 14-17.

Föreskrivna krafter eller förskjutningar startar vid tiden TS, om integrationstiden är längre än TS + TC(NTF) repeteras funktionerna. Vi erhåller i sådana fall periodiska randvillkor. I dessa fall är det lämpligt att föreskrivna förskjutningar har samma värde i tidpunkterna TC(1) och TC(NTF) annars erhålles förskjutningar som är diskontinuer-

liga. En föreskriven förskjutning behöver ej anges som noll vid tidpunkten $TC(1)$, förskjutningen PS (som bildas genom kortgrupp 16-17) kan reduceras till $PS * TC/TR$ genom att ange en reduceringstid TR så att abrupta förändringar undviks (se figur 2.6).



Figur 2.6 Föreskriven förskjutning bildad med $NTF = 9$ st punkter. Figuren visar 2 st perioder.

Om $NDF = 0$ och $NDP = 0$ fortsätt vid kortgrupp 19.

Kortgrupp 12. Antal kort = $[NTF/6]^* + 1$
eller $NTF/6$ om NTF är jämnt delbart med 6.

$TP(I)$, $I = 1, NTF$

FORMAT (6 F10.4)

$TP(I)$ = Tidpunkten vid tidsnivån I där kraft eller förskjutningsfunktioner specificeras. Inges i ökande följd.

* $[x]$ = anger heltalsdelen av x .

Kortgrupp 13, antal kort = 1

AMPT

FORMAT (F10.4)

AMPT = Skalfaktor för tidpunkter som angivits genom kortgrupp 12 (Alla tidpunkter skalas till $AMPT * TP(I)$).

Om $NDF = 0$ fortsätt vid kortgrupp 16

Kortgrupp 14, antal kort = $([NTF/6]^* + 1) * NDF$

eller $NTF/6 * NDF$ om NTF är jämnt delbart med 6.

För $J = 1, NDF$ ge:

$F(I, J)$, $I = 1, NTF$

FORMAT (6F10.4)

$F(I, J)$ = Den J :te föreskrivna kraften vid tidsnivån I .
 NDF stycken kraftfunktioner föreskrives.
 Dessa identifieras med talen $J=1, NDF$ i den ordning som de angivits.

Kortgrupp 15, antal kort = NDF

För $J= 1, NDF$ ge:

AMPF (J)

FORMAT (F10.4)

AMPF (J) = Skalfaktor för den J -te kraften $F(I, J)$.
 Kraften skalas till $AMPF(J) * F(I, J)$.

* $[x]$ = heltalsdelen av x

Om NDP = 0 fortsätt vid kortgrupp 18

Kortgrupp 16, antal kort = ([NTF/6] * + 1) * NDP eller

NTF/6 * NDP om NTF är jämnt delbart med 6.

För J = 1, NDP ge:

PS(I,J), I = 1, NTF

FORMAT (6 F10.4)

PS(I,J) = Den J:te föreskrivna förskjutningen vid tidsnivå I. NDP stycken förskjutningar föreskrives. Dessa identifieras med talen J = 1, NDP i den ordning som de anges.

Kortgrupp 17, antal kort = NDP

För J = 1, NDP ge:

AMPP (J)

FORMAT (F10.4)

AMPP (J) = Skalfaktor för den J-te föreskrivna förskjutningen. Förskjutningen skalas till AMPP(J) * PS(I, J).

* [x] = anger heltalsdelen av x

Om $NDF = 0$ fortsätt vid kortgrupp 19

Kortgrupp 18, antal kort = NDF

För $K = 1$, NDF ge:

$I, J, ISF(I, J)$

FORMAT (3I5)

I = Nod nummer I

J = Riktning J , $J = 1, 2$ eller 3 . $J = 1, 2, 3$
motsvarar x_1, x_2, x_3 -riktningen.

$ISF(I, J) = L$, $1 \leq L \leq NDF$. Anger att den L :te föreskrivna kraften enligt kortgrupp 14, 15 skall verka i nod I riktning J . (Krafterna är numrerade i ordning i enlighet med kortgrupp 14).

Om $NDP + NC = 0$ fortsätt vid kortgrupp 20

Kortgrupp 19, antal kort = NDP + NC

För $K = 1$, $NDP + NC$ ge:

$I, J, ISP(I, J)$

FORMAT (3I5)

I = Nod nummer I

J = Riktning $J = 1, 2$ eller 3 .

$J = 1, 2, 3$ motsvarar x_1, x_2, x_3 riktningen.

ISP (I, J) = 0 Anger att förskjutningens komponent i
riktning J skall vara noll för nod I.

ISP(I, J) = L, $1 \leq L \leq NDP$. Anger att förskjutningens
komponent i riktningen J skall föreskrivas i
nod I med den L-te förskjutningsfunktionen som
angivits i kortgrupp 16, 17.
(Förskjutningsfunktionerna är numrerade i
ordning i enlighet med kortgrupp 16).

Kortgrupp 20, antal kort = 1

NPP, NPF, NWRITE
FORMAT (3I5)

NPP = Antal förskjutningar, hastigheter och accelerationer
som skall skrivas ut på radskrivaren.

NPF = Antal krafter och töjningar i kabelns element som
skall skrivas ut på radskrivaren under beräknings-
tiden.

NWRITE = n, anger att dessa skall skrivas var n:te
tidssteg.

Om	NPP + NPF = 0	fortsätt vid kortgrupp 23
----	---------------	---------------------------

Om	NPP = 0	fortsätt vid kortgrupp 22
----	---------	---------------------------

Kortgrupp 21, antal kort = NPP

För I = 1, NPP ge:

IPP (I, 1), IPP (I, 2)
FORMAT (2I5)

IPP(I, 1) och IPP (I, 2) definierar vilka förskjutningar, hastigheter och accelerationer som skall skrivas ut.

IPP(I, 1) = Nodnummer

IPP(I, 2) = Komponent nummer 1, 2 eller 3.

Om NPF = 0 fortsätt vid kortgrupp 23

Kortgrupp 22, antal kort = NPF

För I = 1, NPF ge:

IPR (I)

FORMAT (I5)

IPR(I) = Elementnummer. $1 \leq \text{IPR(I)} \leq \text{NE}$

Om IPR(I) = n skrives inre elastiska krafter och töjningar ut för element n.

Kortgrupp 23, antal kort = 1

IPLOT

FORMAT (I5)

IPLOT = 0 Ingen plottning av variabler som funktion av tiden.

IPLOT = 1 Plottning av variabler som funktion av tiden.

Om IPLOT = 0 fortsätt vid kortgrupp 32

Kortgrupp 24, antal kort = 1

NAD, NAV, NAA, NAT, NAE, NADT, NADN, NJUMP, TPLOT,
FORMAT (8I5, F10.4)

- NAD = Antal nodförskjutningar som skall plottas som funktion av tiden. Max 10 stycken.
- NAV = Antal hastigheter i noderna som skall plottas som funktion av tiden. Max 5 stycken.
- NAA = Antal accelerationer i noderna som skall plottas som funktion av tiden. Max 5 stycken.
- NAT = Antal krafter i kabelns element som skall plottas som funktion av tiden. Max. 5 stycken.
- NAE = Antal töjningar i kabelns element som skall plottas som funktion av tiden. Max 5 stycken.
- NADT = Antalet släpkrafter i kabelns tangenatrikning (verkande i noderna) som skall plottas som funktion av tiden. Max 5 stycken.
- NJUMP= n anger att variablernas värden skall plottas var n:te tidssteg. Maximalt kan 1000 värden plottas för varje variabel.
- TPLOT= Tid i (s) då plottning skall starta.
> 0.0.

Om NAD = 0 fortsätt vid kortgrupp 26
--

Kortgrupp 25, antal kort = NAD

För $I = 1$, NAD ge:

IAD (I , 1), IAD (I , 2)

FORMAT (2I5)

IAD (I , 1) = Nodnummer där plottnings av förskjutning önskas.

IAD (I , 2) = Nummer som anger förskjutningens komponent dvs 1, 2 eller 3.

Om NAV = 0 fortsätt vid kortgrupp 27

Kortgrupp 26, antal kort = NAV

För $I = 1$, NAV ge:

IAV (I , 1), IAV (I , 2)

FORMAT (2I5)

IAV (I , 1) = Nodnummer där plottnings av hastighet önskas.

IAV (I , 2) = Nummer som anger hastighetskomponentens riktning dvs 1, 2 eller 3.

Om NAA = 0 fortsätt vid kortgrupp 28

Kortgrupp 27, antal kort = NAA

För $I = 1$, NAA ge:

IAA (I, 1), IAA (I, 2)

FORMAT (2I5)

IAA (I, 1) = Nodnummer där plottning av accelerationer önskas.

IAA (I, 2) = Nummer som anger accelerationskomponentens riktning dvs 1, 2 eller 3.

Om NAT = 0 fortsätt vid kortgrupp 29

Kortgrupp 28, antal kort = NAT

För $I = 1$, NAT ge:

IAT (I)

FORMAT (I5)

IAT(I) = Elementnummer där plottning av kabelns inre krafter önskas.

Om NAE = 0 fortsätt vid kortgrupp 30

Kortgrupp 29, antal kort = NAE

För $I = 1$, NAE ge:

IAE (I)

FORMAT (I5)

IAE(I) = Elementnummer där plottning av kabelns töjningar önskas.

Om	NADT = 0	fortsätt vid kortgrupp 31
----	----------	---------------------------

Kortgrupp 30, antal kort = NADT

För I = 1, NADT ge:

IDT (I,1), IDT(I, 2)

FORMAT (2I5)

IDT (I, 1) = Nodnummer där plottnig av kabelns
tangentiella släpkraft önskas.

IDT(I, 2) = Nummer som anger den tangentiella släp-
kraftens komponent dvs 1, 2 eller 3.

Om	NADN = 0	fortsätt vid kortgrupp 32
----	----------	---------------------------

Kortgrupp 31, antal kort = NADN

För I = 1, NADN ge:

IDN(I,1) IDN(I,2)

FORMAT (2I5)

IDN (I,1) = Nodnummer där plottnig av släpkraften i
kabelns normalriktning önskas.

IDN(I,2) = Nummer som anger släpkraftens komponent
dvs 1, 2 eller 3.

Kortgrupp 32, antal kort = 1

NGEM

FORMAT (I5)

NGEM = Antalet kabelkonfigurationer som skall plottas.
Maximalt 20 st

Om	NGEM = 0.	Indata slut.
----	-----------	--------------

Kortgrupp 33, antal kort = NGEM

För $I = 1, \text{NGEM GE} :$

```
IGEM (I, 1), IGEM (I, 2), IGEM (I,3) IGEM (I, 4)
IGEM (I, 5) TGEM (I)
FORMAT (5I5), F10.4)
```

Genom denna kortgrupp kan NGEM stycken lägen som kabeln haft vid olika tidpunkter TGEM plottas. IGEM(I,1) och IGEM(I,2) anger hur den I-te konfiguration projiceras på plottpapperets plan (x, y - plan). IGEM(I, 3) och IGEM(I,4) anger vilken del av kabeln som skall plottas. Flera kabelkonfigurationer kan plottas i samma diagram, IGEM (I,5) talar om vilket diagram som den I-te konfigurationen skall plottas i.

```
IGEM(I, 1) = 1 ger  $x = x_1$ 
            = 2 ger  $x = x_2$ 
            = 3 ger  $x = x_3$ 
```

```
IGEM(I,2)  = 1 ger  $y = x_1$ 
            = 2 ger  $y = x_2$ 
            = 3 ger  $y = x_3$ 
```

Där x, y är diagrammets x respektive y-axel och där x_1, x_2 och x_3 är kabelns lägeskoordinater.

IGEM (I, 3) = i. Nodnummer i. Är den första noden i en kedja av noder som skall plottas, $1 \leq i < k$.

IGEM (I, 4) = k. Nodnummer k. Är den sista noden i en kedja av noder som skall plottas, $k \leq \text{NE} + 1$.

IGEM (I, 5) = Diagrammets nummer. IGEM (1,5) = 1,
 IGEM(I+1,5) $\geq$ IGEM(I,5) för I=1, NGEM.
 IGEM(I+1,5) - IGEM(I,5) får maximalt vara 1.

TGEM (I) = Tidpunkt då kabeln skall plottas. TGEM (I+1) >
 TGEM(I), skall alltså ges i ökande ordning.

Kortgrupp 34, antal kort = IFIG (antal diagram)*

GE FÖR K = 1, IFIG :

FIG(K, J), J = 1, 6

FORMAT (6.F10.4)

Kortgruppen ger ungefär storlek på diagrammen som skulle
 plottas enligt kortgrupp 32. Samt anger ungefär hur skalan
 på x och y axeln skall ordnas.

FIG(K,1) = x-axelns längd i (mm)
 FIG(K,2) = y-axelns längd i (mm)
 FIG(K,3) = Minsta värdet på x-axeln som skall
 plottas.
 FIG(K,4) = Största värdet på x-axeln som skall
 plottas.
 FIG(K,5) = Minsta värdet på y-axeln som skall
 plottas
 FIG(K,6) = Största värdet på y-axeln som skall
 plottas.

* Det största värdet IGEM(I,5) har är lika med IFIG

Översiktligt programflöde med erforderliga subrutiner för en dynamisk beräkning visas i figur A.3 i appendix.

2.2 MODIM

Sammanfattningsvis kan sägas:

Kortgrupp 1-5 erfordras för att genomföra en statisk beräkning kortgrupp 1-30 erfordras för att studera ett tidsberoende förlopp. SI-enheter (kg - m - s) utnyttjas överallt i programmet. Många kort nedan är lika som de som beskrivits för MODEX. Detta anges under respektive kortgrupp nedan.

Kortgrupp 1, antal kort = 1:

XL1, XL2, NS, ICASE
FORMAT (2F10.4, 2I5)

XL1 = Lägeskoordinat (m) för kabelns ändpunkt vid jämvikt.

XL2 = Lägeskoordinat (m) för kabelns ändpunkt vid jämvikt.

Se figur 2.1, 2.2, samt läs i texten under figurerna.

NS = Antal kabelsegment. Kabeln kan indelas i segment med olika egenskaper. Numrering av segmenten anges i figur 2.3.

ICASE = 1 Ingen verkan av havsbotten, statisk analys
(Se figur 2.1)

ICASE = 2 Havsbotten, statisk analys (se figur 2.2)

ICASE = 3 Ingen verkan av havsbotten. Kabelns jämviktsläge utnyttjas som referenskonfiguration (se figur 2.1).

ICASE = 4 Havsbotten, dynamisk beräkning. Kabelns jämviktsläge (se figur 2.2) utnyttjas som referenskonfiguration.

Kortgrupp 2, antal kort = NS

För $I = 1, NS$ ge:

DM, DENSC, EK, TLS, NES

FORMAT (2F10.4, E15.5, F10.4, I5)

Kabelsegmentens numrering och inbördes ordning framgår av figur 2.3. Varje segment indelas i NES stycken element. Kabelns data ges för varje segment I genom:

DM = Kabelns massa per längdenhet osträckt längd (kg/m)

DENSC = Kabelns densitet (kg/m^3). (DENSC > DENS, där DENS är vattnets densitet).

EK = Kabelns styvhet (N). Angående materialmodell se [1] ekv. (2.6).

TLS = Kabelsegmentets osträckta längd (m).

NES = Antalet element i segmentet I . Jämmt tal NES ≥ 2 . Elementlängden blir TLS / NES (m).

Totala antalet element blir $NE = \sum_{I=1}^{NS} NES$ och antalet noder $NE+1$. Numrering av noder och element framgår av fig. 2.4. (Nuvarande fältstorlek tillåter upp till 96 element).

Kortgrupp 3, antal kort = 1

Se kortgrupp 3 avsnitt 2.1.

Om ICASE = 1 eller 3 fortsätt vid kortgrupp 5.
--

Kortgrupp 4, antal kort = 1

BDIS

FORMAT (F10.4)

BDIS = Kabelns nedsjunkning under havsbotten ($x_2 = 0$) vid jämvikt. $BDIS > 0.0$ (m). Genom BDIS beräknas havsbottens styvhet, antagen som linjärt elastiska fjädrar, dessa utnyttjas både i statiska och dynamiska beräkningar för att förhindra kabeln att röra sig ner under havsbotten. Dessutom beräknas havsbottens dämpning så att oscillationer undviks efter en kontakt med havsbotten.

Kortgrupp 5, antal kort = 1

DENS

FORMAT (F10.4)

DENS = Vattnets densitet (kg/m^3)

Om $ICASE \leq 2$ kan en statisk beräkning genomföras. Översiktligt programflöde med erforderliga subrutiner framgår av appendix figur A.4

Kortgrupp 6, antal kort = NSFör $I = 1, NS$ ge:

CDN, CDT, CNM, DIAM

FORMAT (4F10.4)

Dessa kort ger kabelns diameter och hydrodynamiska koefficienter för varje kabelsegment. Segmentindelning och segmentlängd är fastställda genom kortgrupp 2. För segment I ges:

CDN = Släpkraftskoefficienten för strömning i kabelns normalriktning.

CDT = Släpkraftskoefficient för strömning i kabelns tangentiella riktning.

CNM = Koefficienten för den adderade hydrodynamiska massan i kabelns normalriktning.

DIAM = Kabelns diameter (m).

Kortgrupp 7, antal kort = 1

Se kortgrupp 7 avsnitt 2.1

Om NST = 0 fortsätt vid kortgrupp 9

Kortgrupp 8, antal kort = NST

Se kortgrupp 8 avsnitt 2.1
men observera att ND = 2 i detta fall.

Kortgrupp 9, antal kort = 1

DELT, TMAX, TS, TR, ALF, BET, IPOL
FORMAT (6F10.4, 2I5)

DELT = Tidssteg (s).

TMAX = Realiseringstid (s). Tidsintegrationen startar vid tiden noll och slutar vid tiden TMAX.

TS = Tidpunkt då givna förskjutningsexcitationer skall starta (s).
TS > 0.0. Se figur 2.6 samt studera detta vidare vid kortgrupp 11 i detta avsnitt.

TR = Tid i (s) som anger hur lång tid förskjutnings-
excitationerna skall reduceras. Se figur 2.6 samt
studera detta vidare vid kortgrupp 11 i detta av-
snitt.

ALF = α -faktorn i Newmarks differensformler [4] .
 $\alpha = 0.25$ rekommenderas.

BETA = β -faktorn i Newmarks differensformler [4] .
 $\beta = 0.5$ rekommenderas.

IPOLE = 0 Hydrodynamiska släpkrafter ges värdet noll
i analysen (helt oberoende av vad som tidigare
angivits vid kortgrupp 6).

IPOLE = 1 1:a ordning (se kortgrupp 9, avsnitt 2:1).
Inget annat alternativ finns i detta fall.

Kortgrupp 10, antal kort = 1

NTF, NDF, NDP

FORMAT (3I5)

NTF = Antal tidpunkter där förskjutningsexcitationer speci-
ficeras. Maximalt 50 stycken.

NDF = 0 i denna version

NDP = Antal föreskrivna förskjutningsfunktioner i kabelns
noder. Maximalt 4 stycken.

Förskjutningar kan enbart föreskrivas i kabelns ändpunkter
nod 1 och nod NE + 1.

Föreskrivna förskjutningar specificeras i NTF stycken tidpunkter $TP(I)$ och tiden kan skalas till $TC(I) = AMPT * TP(I)$ samt antages variera linjärt mellan dessa (se figur 2.6). Föreskrivna förskjutningar startar vid tiden TS , om integrationstiden är längre än $TC + TC(NTF)$ repeteras funktionerna, vi erhåller i sådana fall periodiska randvillkor. I dessa fall är det lämpligt att dessa har samma värde i tidpunkterna $TC(1)$ och $TC(NTF)$ annars erhålles förskjutningar som är diskontinuerliga. En föreskriven förskjutning behöver ej anges som noll vid tidpunkten $TC(1)$. Förskjutningen PS (som bildas genom kortgrupp 13) kan reduceras till $PS * TC/TR$ genom att ange en reduceringstid TR så att abrupta förändringar undvikas (se figur 2.6).

Om	$NDP = 0$	fortsätt vid kortgrupp 15
----	-----------	---------------------------

Kortgrupp 11, Antal kort = $[NTF/6]^* + 1$ eller

$NTF/6$ om NTF är jämnt delbart med 6

$TP(I), I = 1, NTF$

FORMAT (6 F10.4)

$TP(I)$ = Tidpunkt vid tidsnivån I där förskjutningsfunktionerna specificeras.

Inges i ökande följd.

*) $[x]$ = heltalsdelen av x .

Kortgrupp 12, Antal kort = 1

AMPT

FORMAT (F10.4)

AMPT = Skalfaktor för tidpunkter som angivits genom
 kortgrupp 11 (Alla tidpunkter skalas till
 AMPT * TP(I)).

Kortgrupp 13

se kortgrupp 16 avsnitt 2.1

Kortgrupp 14

se kortgrupp 17 avsnitt 2.1

Kortgrupp 15, antal kort = 4

ISP (1, 1)

FORMAT (I5)

ISP (1, 2)

FORMAT (I5)

ISP (NE + 1, 1)

FORMAT (I5)

ISP (NE + 1, 2)

FORMAT (I5)

ISP (1, 1) = 0 Förskjutningens komponent i nod 1 är
 noll i riktning 1.

= L $1 \leq L \leq \text{NDP}$. Anger att förskjutningens
 komponent i nod 1 i riktning 1 skall
 föreskrivas med den L-te förskjutnings-
 funktionen som angivits genom kortgrupp
 13, 14. (Förskjutningsfunktionerna är
 numrerade i ordning i enlighet med
 kortgrupp 13).

$ISP(1, 2) = 0$ Förskjutningens komponent i nod 1
riktning 2 är noll.

$ISP(1, 2) = L$ $1 \leq L \leq NDP$. Anger att förskjutningens
komponent i nod 1 riktning 2 skall före-
skrivas med den L-te förskjutningsfunk-
tionen som angivits genom kortgrupp 13,14.

P.S.S anges specificerade förskjutningar i nod $NE + 1$
genom $ISP(NE + 1, 1)$ och $ISP(NE + 1, 2)$. Med riktning 1
och 2 menas x_1 respektive x_2 riktningen.

Kortgrupp 16 - 30

Se kortgrupp 20-34, avsnitt 2.1. Men observera att beräk-
ningen i detta fall är tvådimensionell ($ND = 2$).

Översiktligt programflöde med erforderliga
subrutiner vid en dynamisk beräkning fram-
går av appendix figur A.5.

3. Beräkningsexempel

För att visa hur indata formuleras redovisas två beräkningsexempel. Det första exemplet behandlar en fritt hängande kabel påverkad av en ström och med förskjutningsexcitationer i dess båda ändpunkter. Med "fritt hängande" menas då att havsbotten ej inverkar på förloppet. Denna kabel har två olika segment.

I det andra exemplet studeras en förankringskabel. Förskjutningarna är noll i ena ändpunkten (fast ankare), i den andra föreskrives vissa rörelser som kan tänkas motsvara en förenkling av de rörelser som en storm kan ge upphov till. I detta fall inverkar havsbotten.

3.1 Förskjutningsexciterad kabel i en ström.

Antag att en kabel hänger i vila i vattnet enligt figur 3.1 vid tiden $t = 0$.

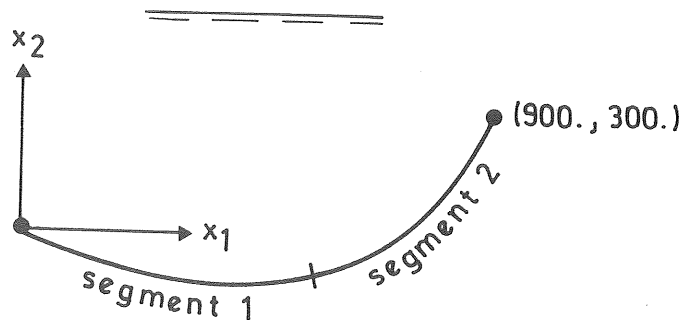


Fig. 3.1 Kabelns jämviktsläge-referenskonfiguration.

Kabeln består av två segment (kätting) med data enligt följande:

Segment 1

Kabelsegmentets osträckta längd	= 500 m
Kabelns diameter d_o	= 0.076 m
Kabelns styvhet K	= $5 \cdot 10^8$ N
Kabelns dämpning c (utnyttjas ej vid implicit metod)	= $5 \cdot 10^6$ Ns
Massa per längdenhet osträckt längd γ_o	= 135.35 kg/m
Densitet ρ_k	= 7800 kg/m ³
Släpkraftskoefficient i tangentialled C_{DT}	= 0.5
Släpkraftskoefficient i normalled C_{DN}	= 2.5
Koefficienten för den adderade massan C_{MN}	= 3.8

Segment 2

Kabelsegmentets osträckta längd	= 600 m
Kabelns diameter d_o	= 0.1 m
Kabelns styvhet K	= $9.1 \cdot 10^8$ N
Kabelns dämpning c (utnyttjas ej vid implicit metod)	= $9.1 \cdot 10^5$ Ns
Massa per längdenhet osträckt längd γ_o	= 233.6 kg/m
Densitet ρ_k	= 7800 kg/m ³
Släpkraftskoefficient i tangentialled C_{DT}	= 0.5
Släpkraftskoefficient i normalled C_{DN}	= 2.5
Koefficienten för den adderade massan C_{MN}	= 3.8
Vattnets densitet är	= 1000 kg/m ³ .

Vid tider $t > 0$ påverkas kabeln av en likformig ström parallell med x_1 -axeln samt av förskjutningsexcitationer i dess båda ändpunkter.

Strömmens hastighet antages växa från hastigheten noll vid tiden $t = 0$ till hastigheten 4 m/s vid tiden 2.5 s och är konstant 4 m/s för $t > 2.5$ s.

Förskjutningarna i kabelns ändpunkter är periodiska och ges genom indatakort för en period ($T = 10\text{s}$). Dessa antages "starta" vid tiden $t = 10\text{s}$ och reduceras i början ($10 < t < 12.5\text{s}$) under en kvartperiod, dvs 2.5s .

Kabelsegmenten indelas i vardera 10 element, elementlängden blir då 50 respektive 60 m. Eftersom inga krafter verkar ut ur kabelns jämviktsplan genomföres beräkningarna tvådimensionellt.

I detta fall skall vi studera förskjutningarna i nod 10 i riktning x_1 samt kabelns inre krafter i element 10 och 20. Dessa plottas ut. De föreskrivna förskjutningarna i kabelns ändpunkter plottas också som kontroll av indata.

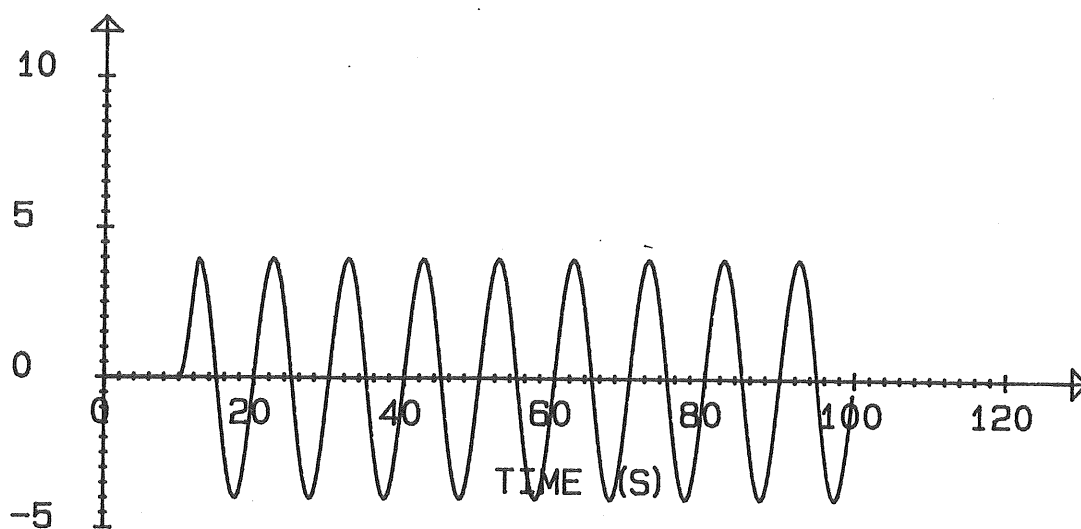
Beräkningarna genomföres med både explicit och implicit numerisk integration under en tid av 100s .

Följande indata ges till MODIM (implicit metod):

00010	900.	300.	2	3				
00020	135.35	7800.		50000E9	500.		10	
00030	233.6	7800.		91000E9	600.		10	
00040	0.02	0.01	0					
00050	1000.							
00060	2.5	0.5	3.8		0.076			
00070	2.5	0.5	3.8		0.100			
00080	2	2.5						
00090	-1000.	4.						
00100	400.	4.						
00110	0.2	100.	10.0	2.5	0.25	0.5		1
00120	21	0	4					
00130	0.0	0.25	0.5	0.75	1.00	1.25		
00140	1.5	1.75	2.00	2.25	2.5	2.75		
00150	3.00	3.25	3.5	3.75	4.0	4.25		
00160	4.5	4.75	5.0					
00170	2.							
00180	0.0	0.618	1.1756	1.618	1.9022	2.0		
00190	1.9022	1.618	1.1756	0.618	0.0	-0.618		
00200	-1.1756	-1.618	-1.9022	-2.	-1.9022	-1.618		
00210	-1.1756	-0.618	0.0					
00220	2.0	1.9022	1.618	1.1756	0.618	0.0		
00230	-0.618	-1.1756	-1.618	-1.9022	-2.	-1.9022		
00240	-1.618	-1.1756	-0.618	0.0	0.618	1.1756		
00250	1.618	1.9022	2.0					
00260	0.0	0.618	1.1756	1.618	1.9022	2.0		
00270	1.9022	1.618	1.1756	0.618	0.0	-0.618		
00280	-1.1756	-1.618	-1.9022	-2.	-1.9022	-1.618		
00290	-1.1756	-0.618	0.0					
00300	2.0	1.9022	1.618	1.1756	0.618	0.0		
00310	-0.618	-1.1756	-1.618	-1.9022	-2.	-1.9022		
00320	-1.618	-1.1756	-0.618	0.0	0.618	1.1756		
00330	1.618	1.9022	2.0					
00340	2.							
00350	1.5							
00360	2.							
00370	1.5							
00380	1							
00390	2							
00400	3							
00410	4							
00420	0	0	1000					
00430	1							
00440	5	0	0	2	0	0	0	1 0.0
00450	1	1						
00460	1	2						
00470	21	1						
00480	21	2						
00490	10	1						
00500	20							
00510	10							
00520	0							

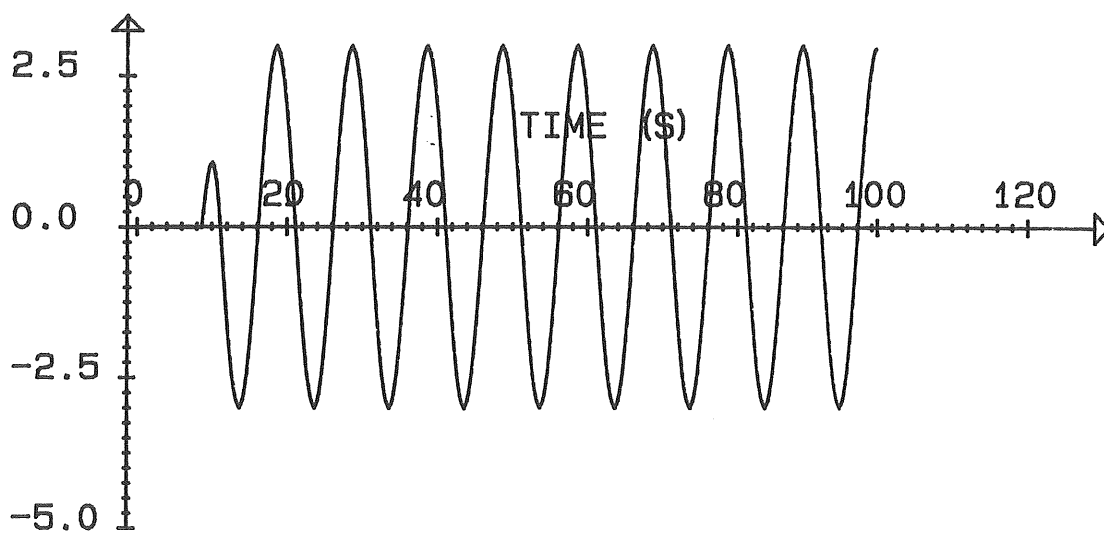
De föreskrivna förskjutningarna vid kabelns ändpunkter framgår av fig. 3.2 - 3.5.

DISPLACEMENT (M) 1- 1



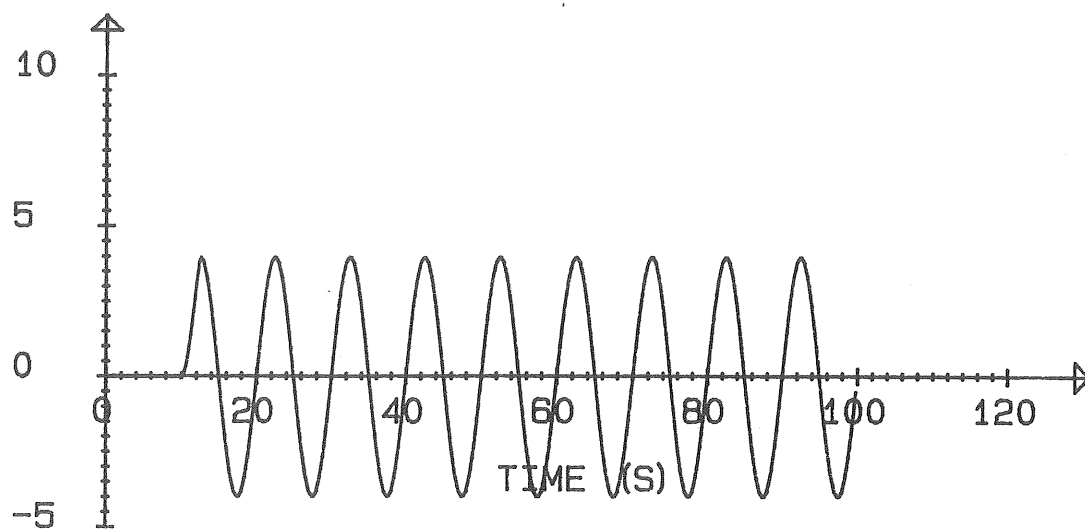
Figur 3.2 Föreskriven förskjutning i nod 1 riktning x_1

DISPLACEMENT (M) 1- 2

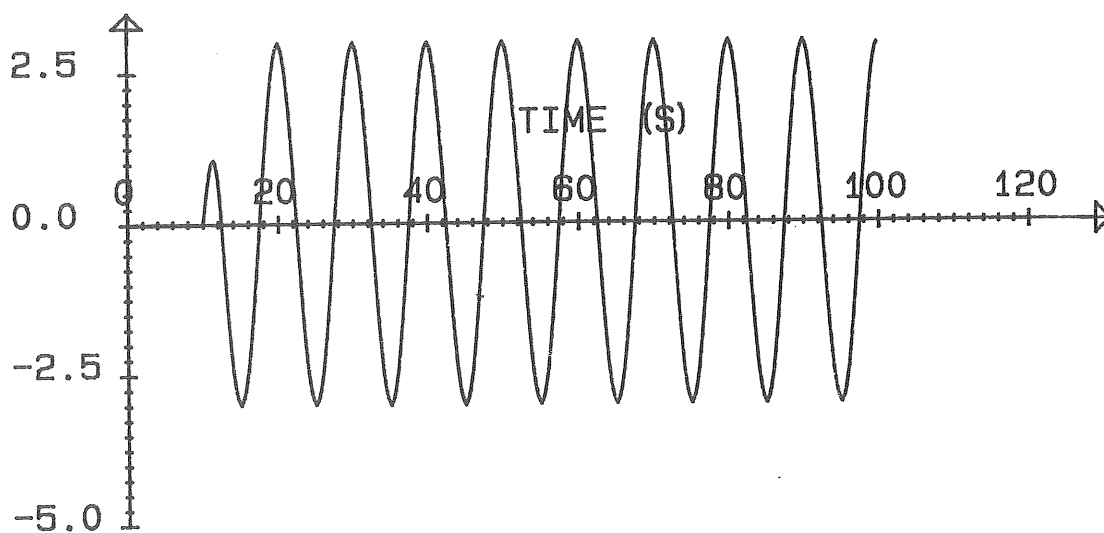


Figur 3.3 Föreskriven förskjutning i nod 1 riktning x_2 .

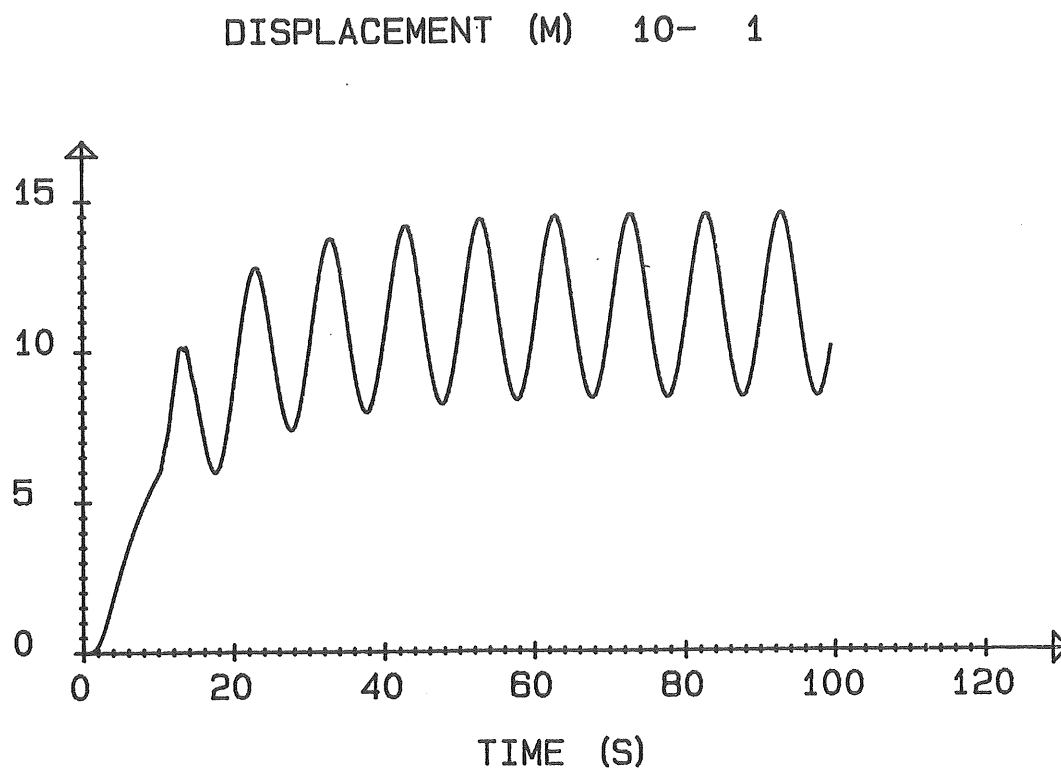
DISPLACEMENT (M) 21- 1

Figur 3.4 Föreskriven förskjutning i nod 21 riktning x_1 .

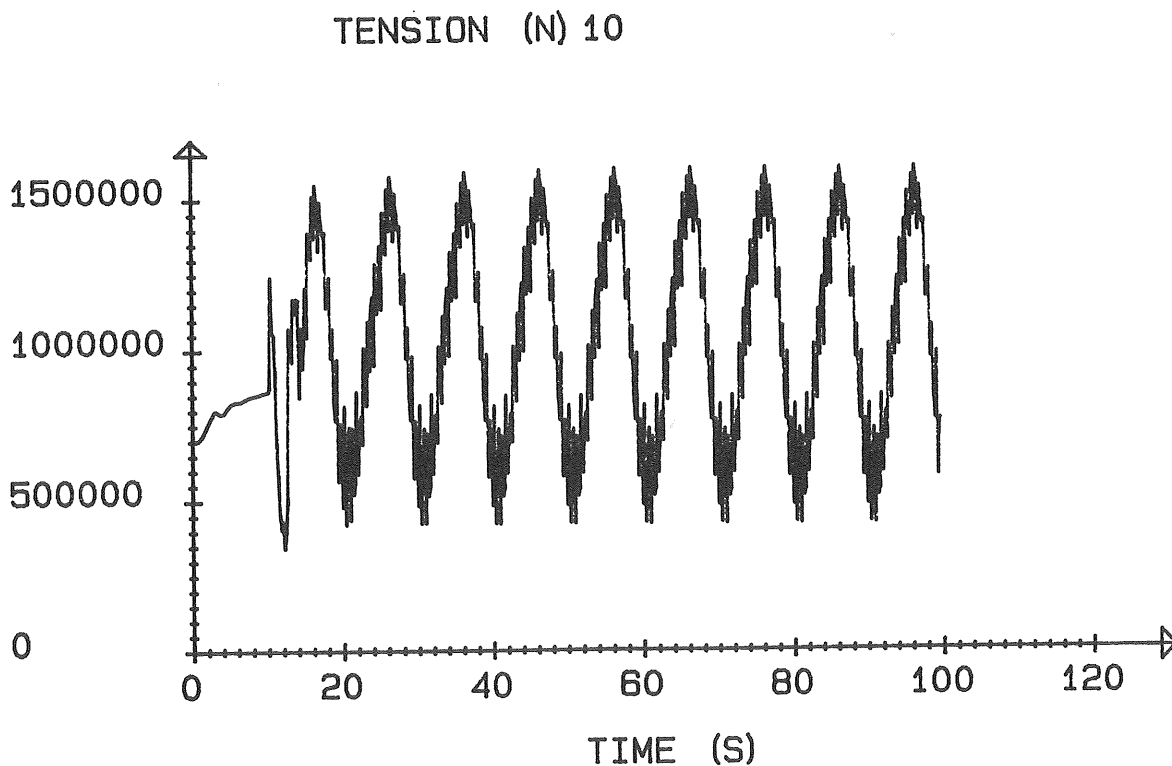
DISPLACEMENT (M) 21- 2

Figur 3.5 Föreskriven förskjutning i nod 21 riktning x_2 .

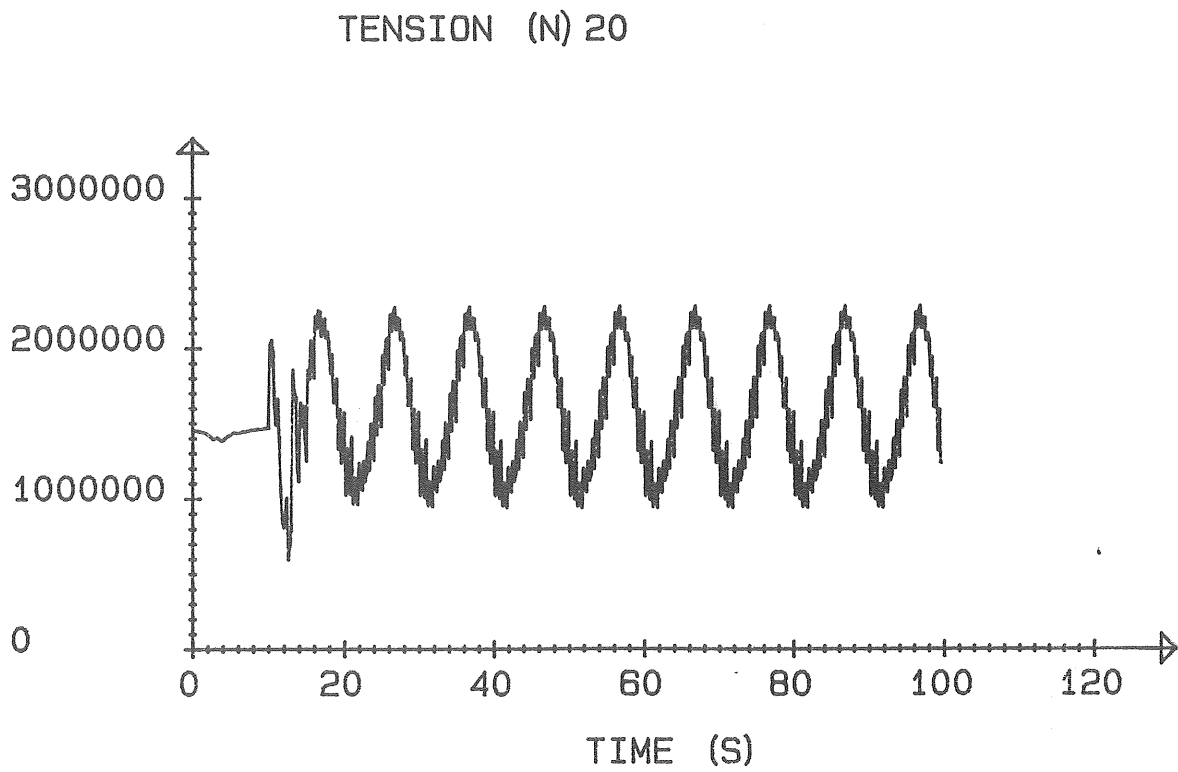
Förskjutningen i nod 10 riktning x_1 och krafterna i element 10 och 20 visas för den explicita metoden i figur 3.6-3.8 och för den implicita i figur 3.9 - 3.11.



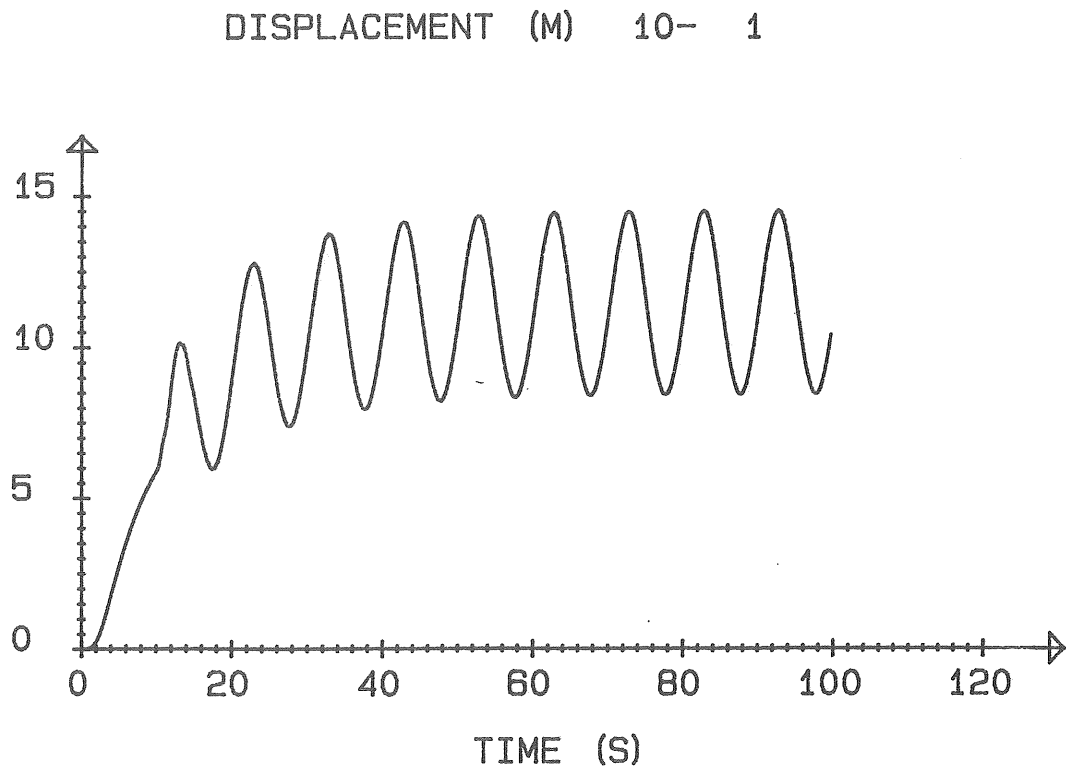
Figur 3.6 Förskjutningen i nod 10 riktning x_1 , explicit metod.



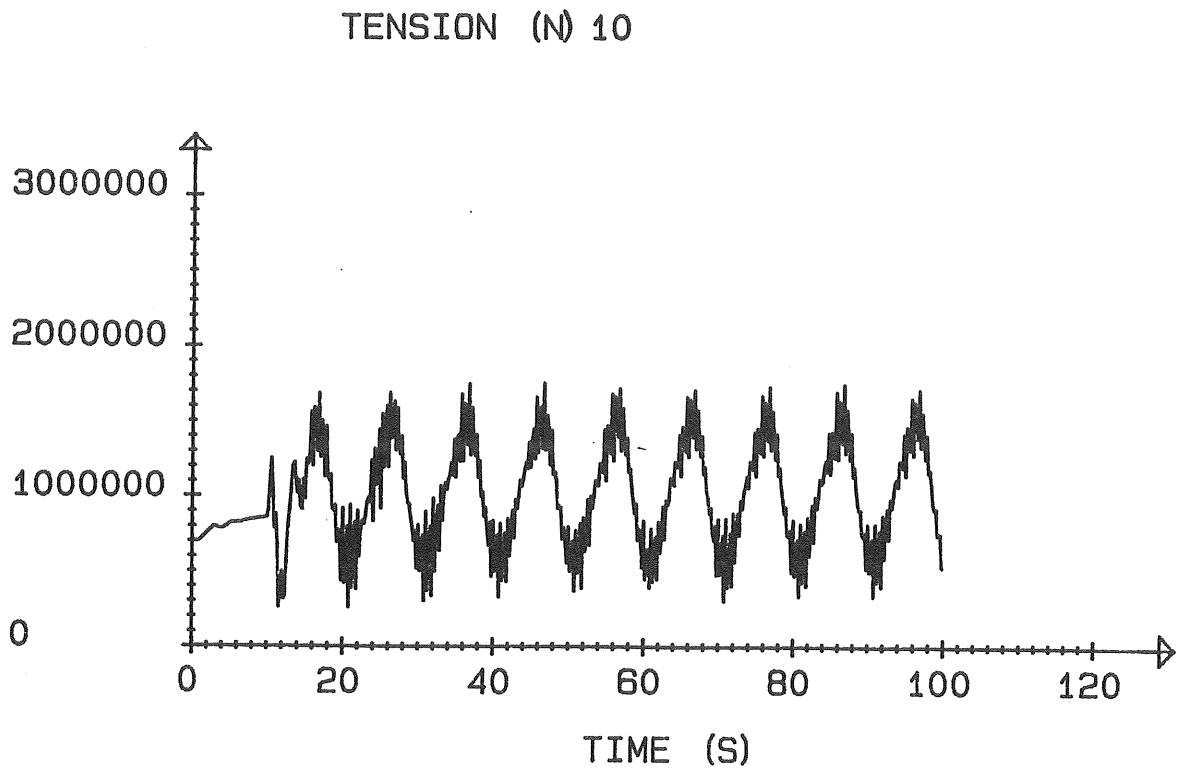
Figur 3.7 Kraften i element 10, explicit metod.



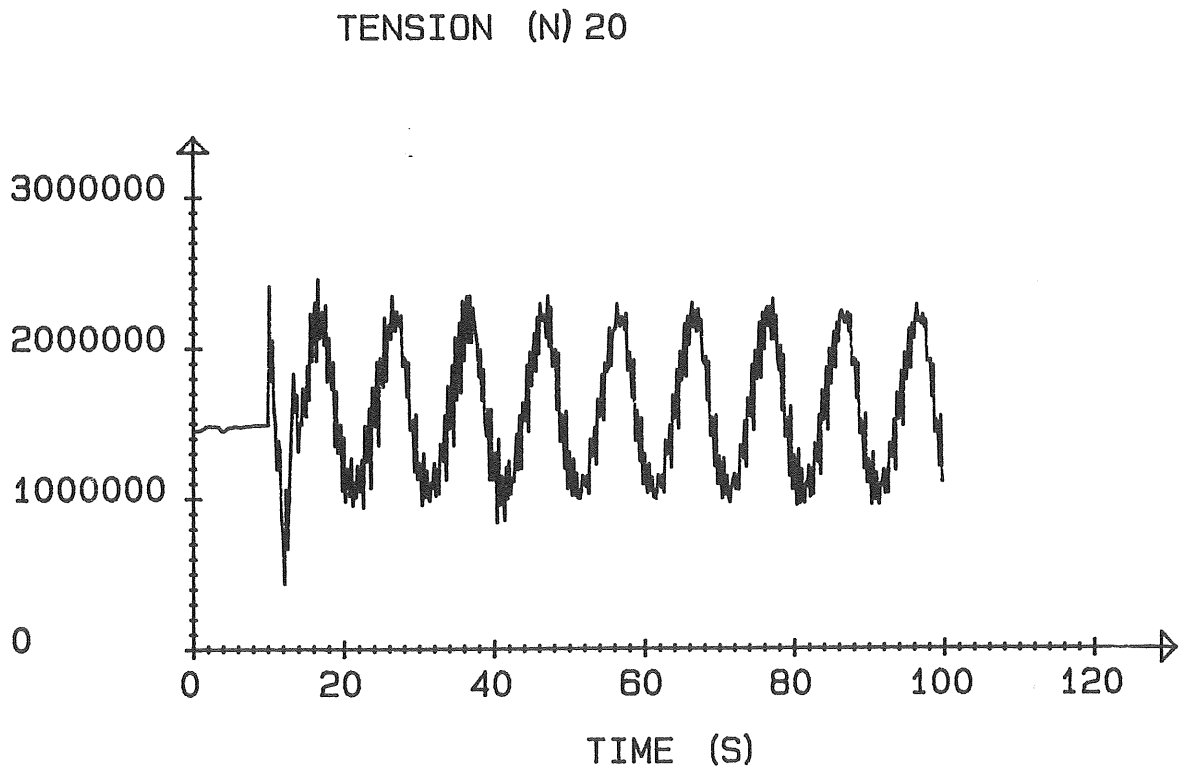
Figur 3.8 Kraften i element 20, explicit metod.



Figur 3.9 Förskjutningen i nod 10 riktning x_1 , implicit metod.



Figur 3.10 Kraften i element 10, implicit metod.

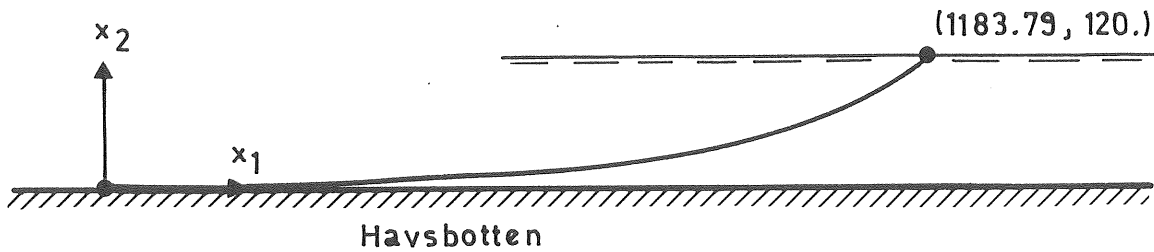


Figur 3.11 Kraften i element 20, implicit metod.

Datorns CPU-tid blev för den explicita metoden (tidssteget 0.01 s) 79 s och för den implicita metoden (tidssteget 0.2s) 72 s.

3.2 Förskjutningsexciterad förankringskabel

Kabeln hänger i vila vid tiden $t = 0$ enligt figur 3.12.



Figur 3.12 Kabelns jämviktsläge-referenskonfiguration.

Kabeln består av ett segment (kätting) med följande data:

Kabelns osträckta längd	= 1200 m
Kabelns diameter d_o	= 0.076 m
Kabelns styvhet K	= $5 \cdot 10^8$ N
Kabelns dämpning c	= 0.0
Massa per längdenhet osträckt längd γ_o	= 135.35 kg/m
Densitet ρ_k	= 7800 kg/m^3
Släpkraftskoefficient i tangentialled C_{DT}	= 0.5
Släpkraftskoefficient i normalled C_{DN}	= 2.5
Koefficienten för den adderade massan C_{MN}	= 3.8
Friktionskoefficienten mellan kabel och havsbotten (utnyttjas ej vid implicit metod)	= 1.0
Tolerans i friktionsmodellen c_v (utnyttjas ej vid implicit metod)	= 0.3 m/s
Vattnets densitet är	= 1000 kg/m^3

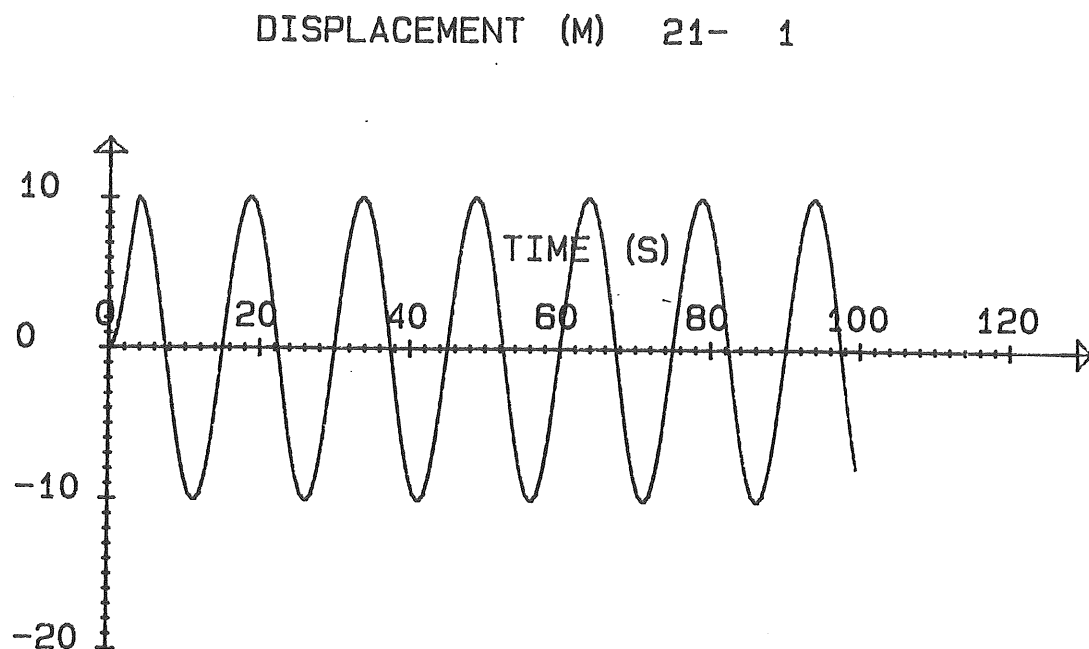
Vid tider $t > 0$ föreskrives en periodiskt varierande förskjutning ($T = 15\text{s}$) i den övre ändpunkten. En kvartperiod $0 < t < 3.75 \text{ s}$ reduceras dessa.

Kabeln indelas i totalt 20 st element. Beräkningarna är tvådimensionella.

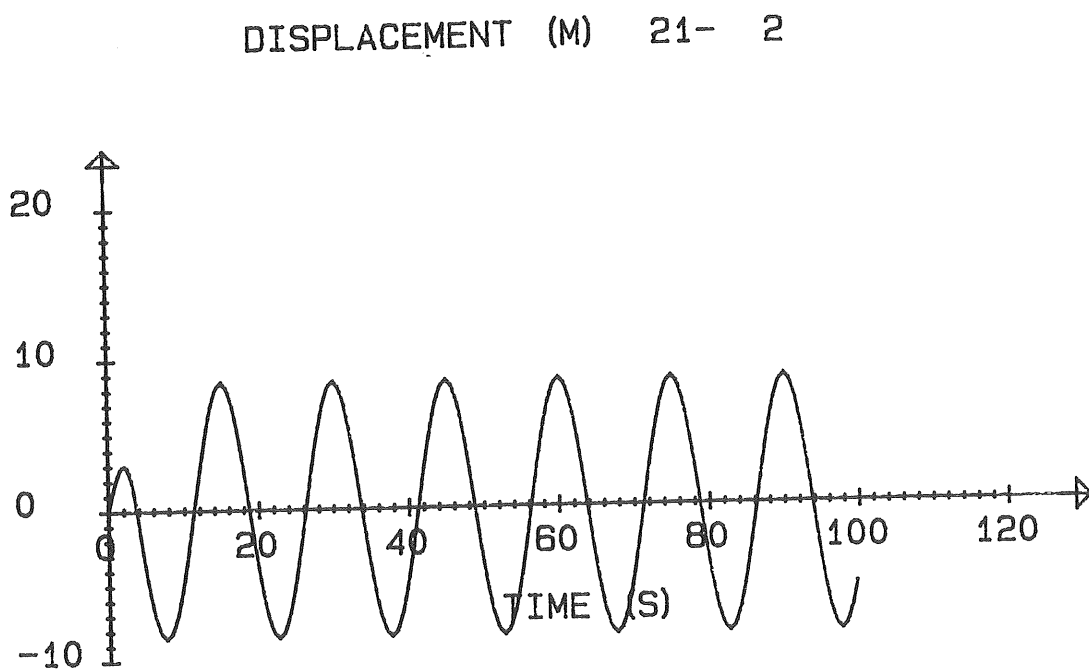
I detta fall önskas plottning av kabelns inre krafter i element 1 och 20, samt av förskjutningens vertikala komponent i nod 13. De föreskrivna förskjutningarna i kabelns övre ändpunkt plottas också som kontroll av indata.

Dessutom vill vi studera kabelns konfigurationer i vertikalplanet vid tiderna 46, 49, 52, 55, 58 sekunder.

De föreskrivna förskjutningarna vid kabelns ändpunkt framgår av figur 3.13 - 3-14



Figur 3.13 Föreskriven förskjutning i nod 21
riktning x_1

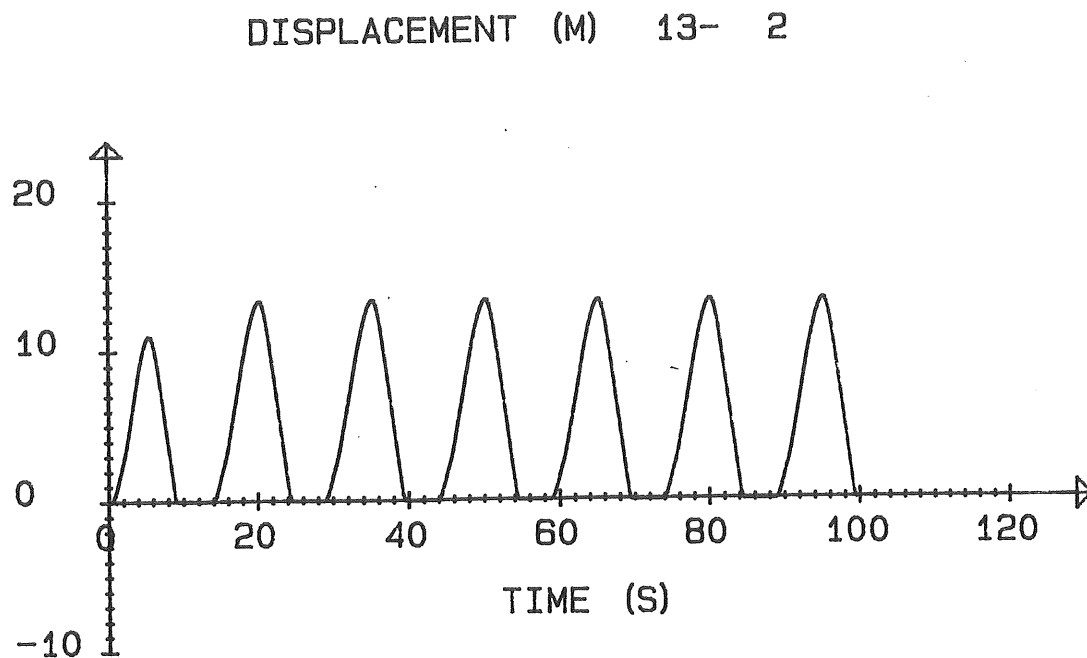


Figur 3.14 Föreskriven förskjutning i nod 21 riktning x_2 .

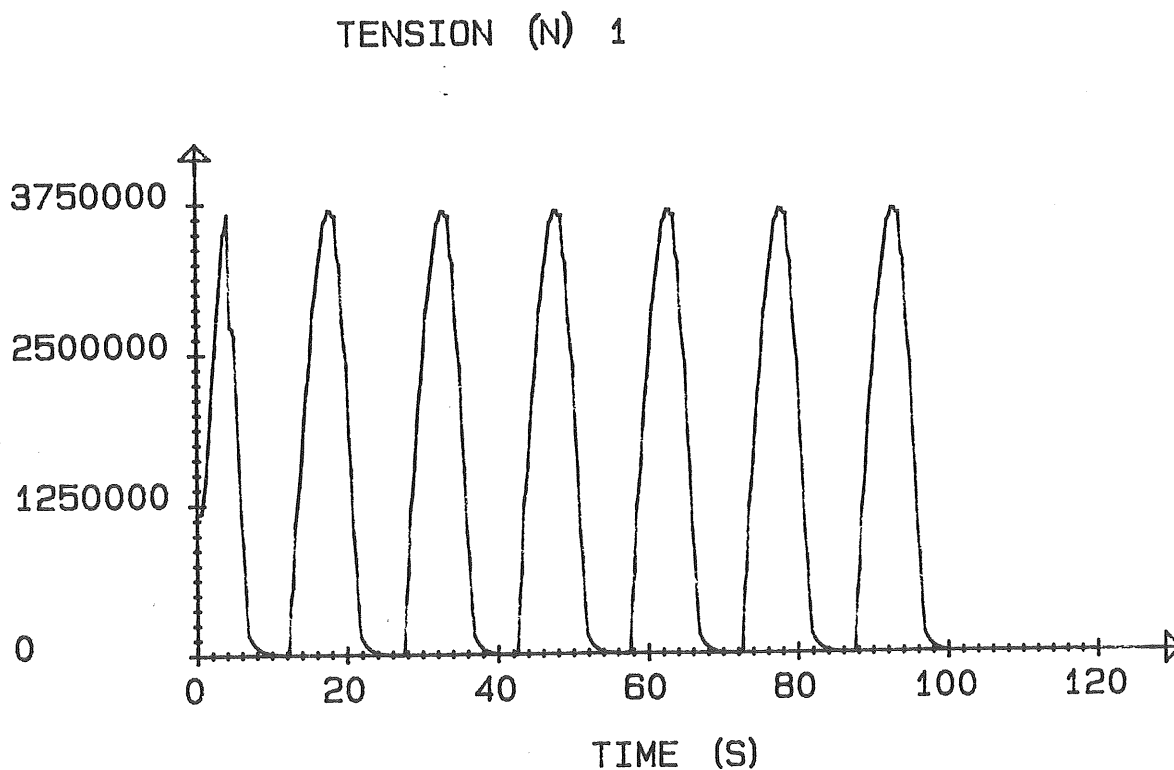
Förskjutningens vertikalkomponent i nod 13 samt krafterna i element 1 och 20 visas för den explicita metoden i figur 3.15 - 3.17 och för den implicita metoden i figur 3.18 - 3.20. Observera att kabeln komprimeras (negativa töjningar) och att detta förlopp beräknas annorlunda i de olika modellerna. Vid implicit lösning antages kabeln kunna ta upp tryckkrafter men vid den explicita metoden har vi här antagit att kraften är noll i kabeln om töjningarna är negativa.

I figur 3.21 - 3.22 visas kabelns konfigurationer i vertikalkalplanet för den explicita respektive den implicita metoden. I figur 3.22 syns tydligt att kabeln knäcker pga tryckkrafter i kabeln, dynamiskt instabila förhållande erhålles. Dock kan noteras att maximala dragkraften i kabeln är ungefär lika. Datorns Cpu-tid blev för den explicita metoden (tidssteget 0.015 s) 55 s och för den implicita (tidssteget 0.3 s) 70 s.

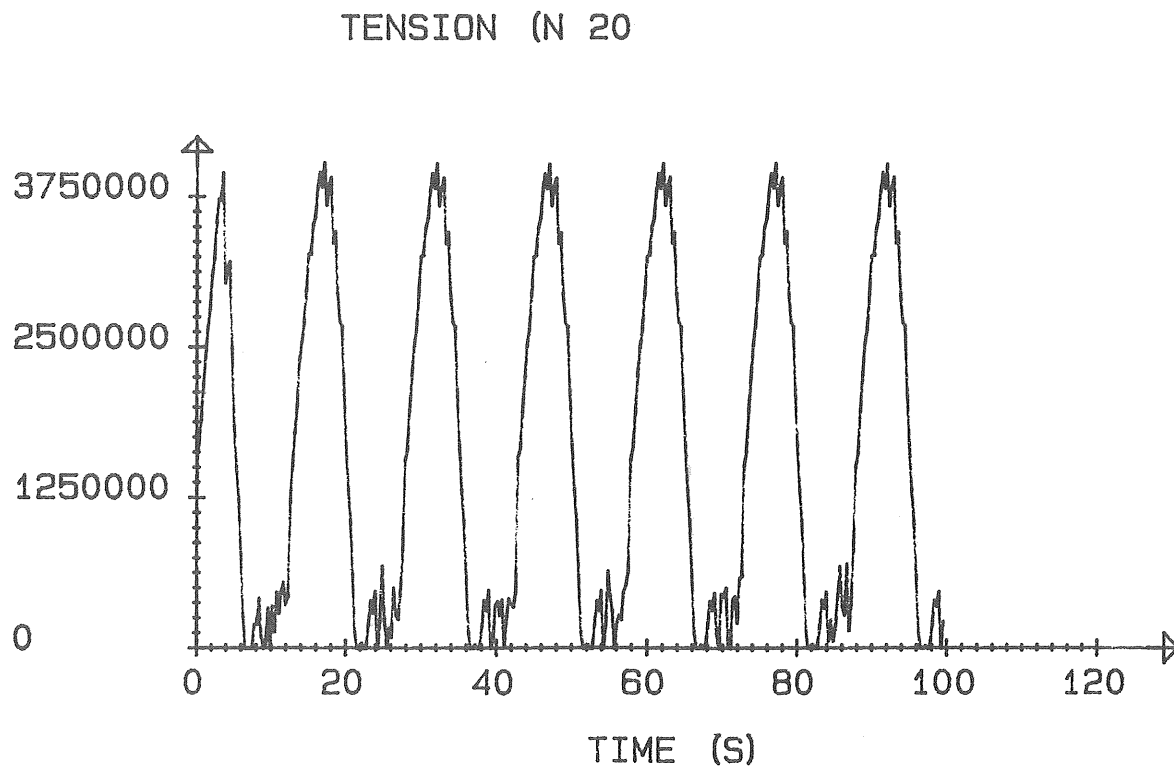
Vi kan då också notera att beräkningstiden blev ungefär lika då den implicita metoden utnyttjades som i föregående exempel trots att tidssteget var avsevärt (20 ggr) större. Längre tidssteg vid implicit integration medför ofta fler iterationer för att nå konvergens. Är tidsstegen för stora kan divergenta lösningar erhållas. Ibland "syns" detta tydligt och beräkningarna avbrytes men ofta behöver detta ej bli märkbart under beräkningstiden. Det är därför lämpligt att genomföra beräkningar med olika tidssteg. Detta bör göras samtidigt som elementindelningen ändras för att få en kontroll av om elementindelningen är tillräckligt tät.



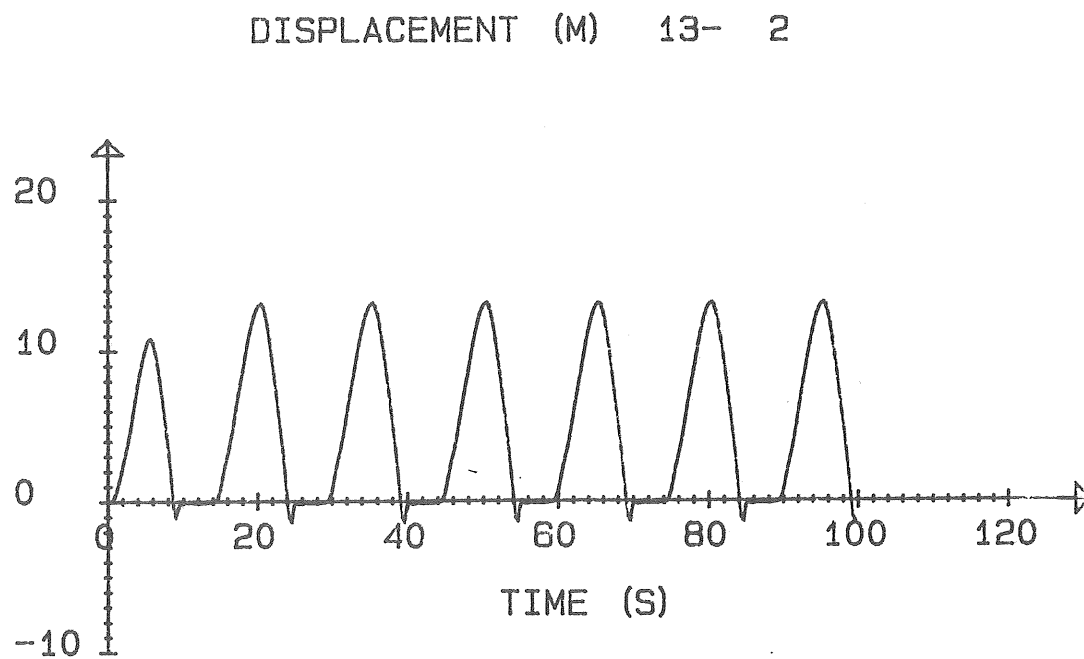
Figur 3.15 Vertikal förskjutningen i nod 13, explicit metod.



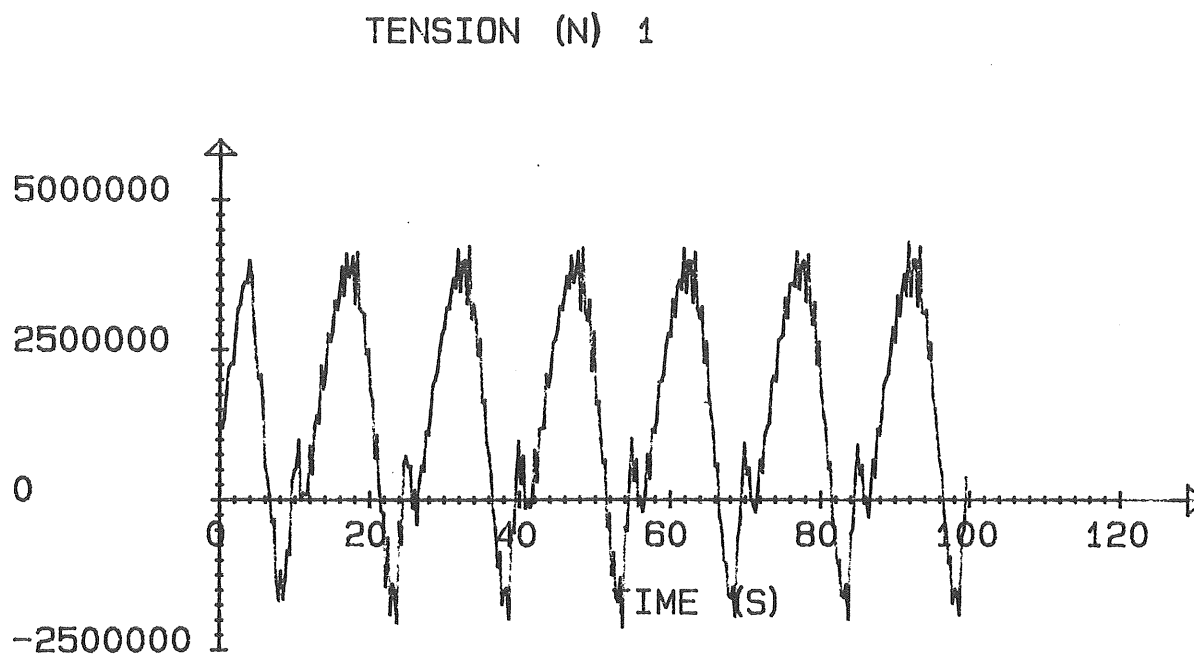
Figur 3.16 Kabelns inre kraft i element 1, explicit metod.



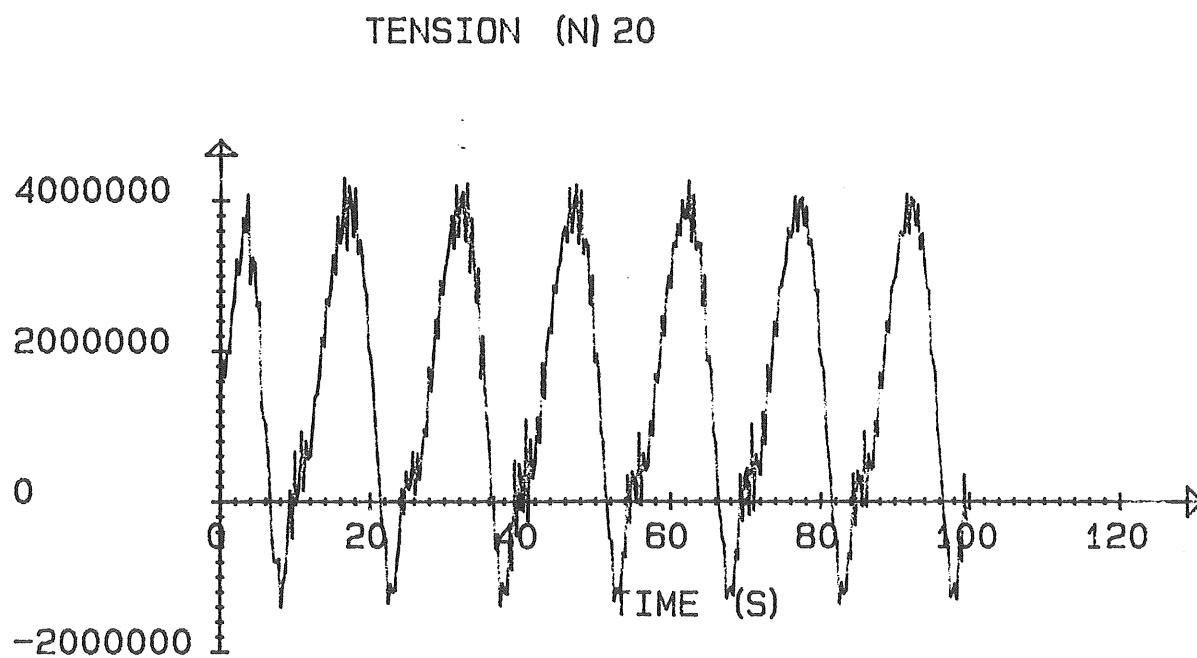
Figur 3.17 Kabelns inre kraft i element 20, explicit metod.



Figur 3.18 Vertikal förskjutning i nod 13, implicit metod.

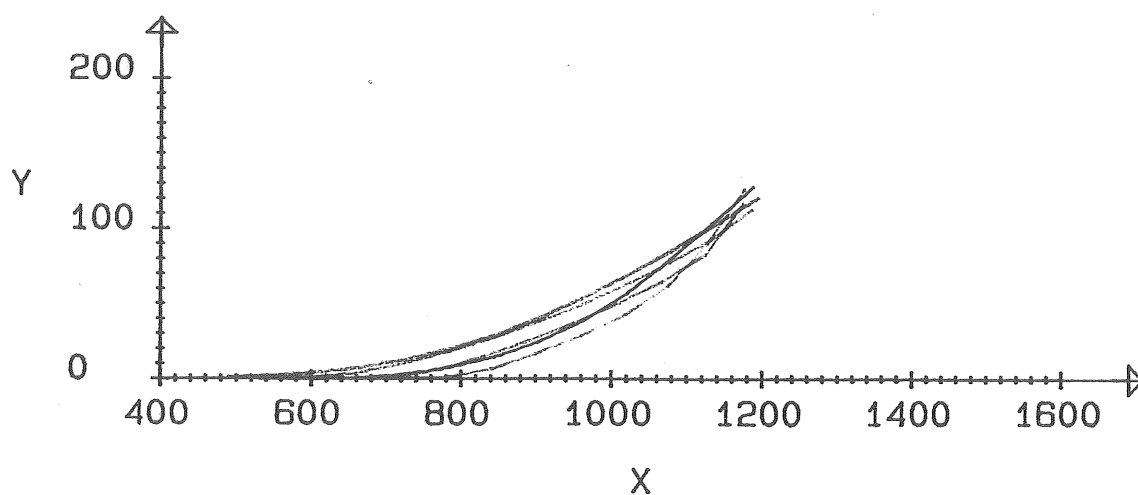


Figur 3.19 Kabelns inre kraft i element 1, implicit metod



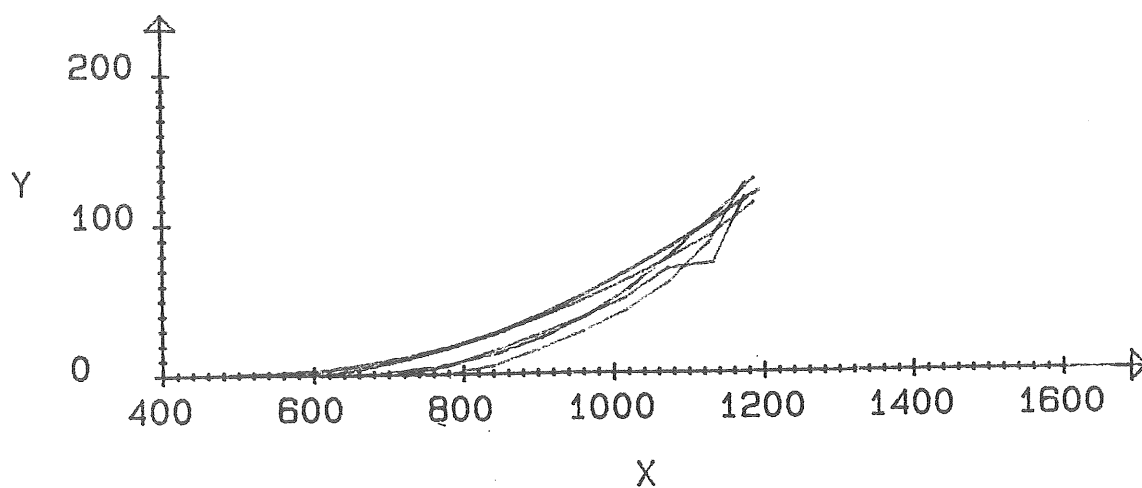
Figur 3.20 Kabelns inre kraft i element 20, implicit metod.

GEOMETRI (M), FIG. 1



Figur 3.21 Kabelns konfigurationer i vertikalplanet,
explicit metod.

GEOMETRI (M), FIG. 1



Figur 3.22 Kabelns konfigurationer i vertikalplanet,
implicit metod.

REFERENSER

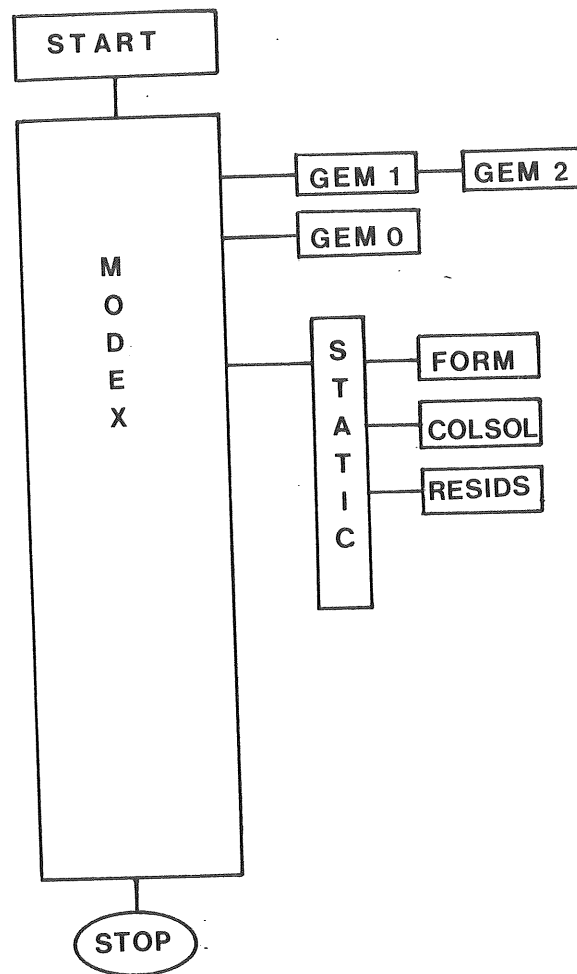
- 1 Lindahl, J. och Sjöberg, A.: Dynamic Analysis of Mooring Cables. Institutionen för Vattenbyggnad, Rapport A:9 1983.
- 2 Är en kommande rapport som redovisar en implicit metod samt jämför med den explicita.
- 3 Harold C, Martin Graham, Carey F, McGraw Hill, Introduction to Finite Element Analysis. 1973.
- 4 Bathe K.J. and Wilson E.L.: Numerical Methods in Finite Element Analysis. Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey (1976).

Appendix.

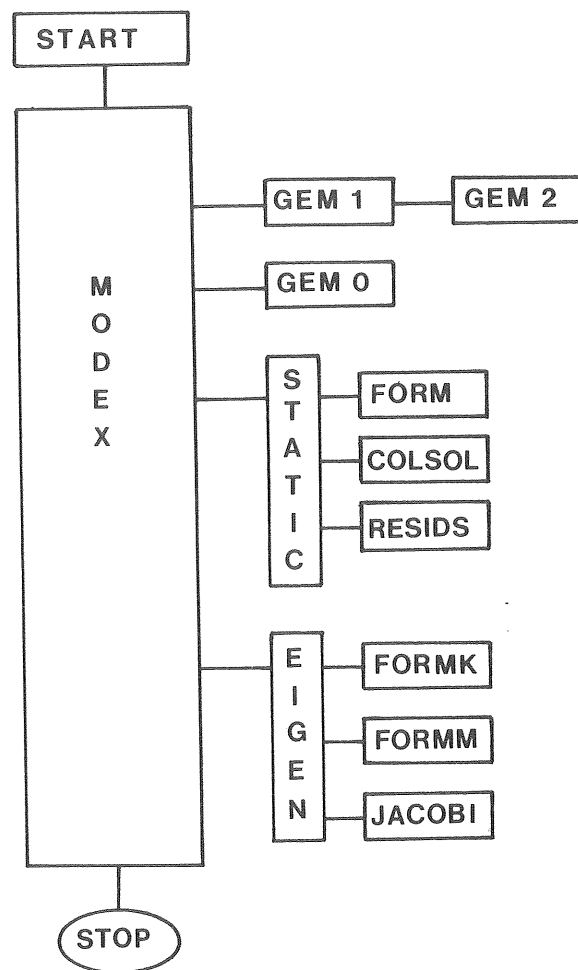
Programflöde och subrutiner

Det explicita beräkningsprogrammet kallas MODEX och det implicita MODIM, dessa är huvudprogram som är lagrade på filer med samma namn. Till dessa program finns en rad subrutiner. Subrutinerna är alla lagrade på filer och har i de flesta fall samma namn som sitt filnamn. I det följande ges en översiktlig beskrivning av programflöde i de olika beräkningsfallen i enlighet med indata. Dessutom bifogas en kort beskrivning av subrutinernas och huvudprogrammets olika funktion.

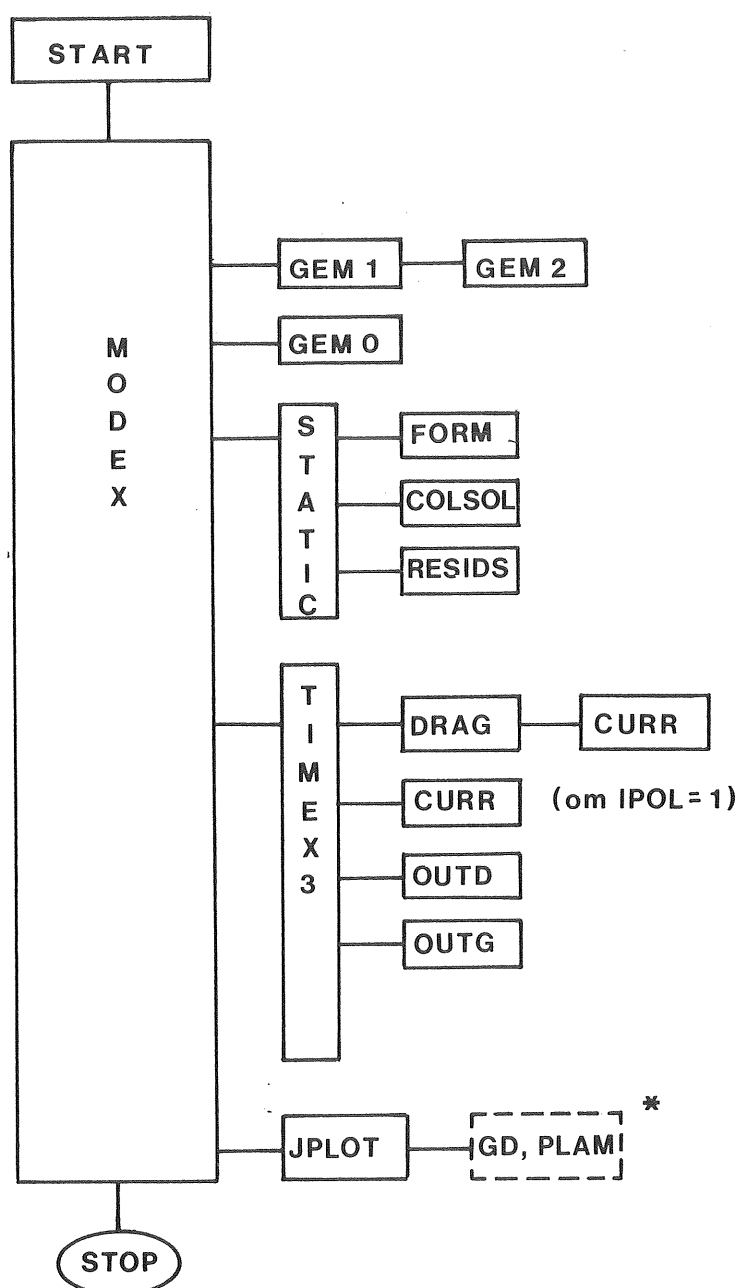
Figurerna på följande sidor anger programflöde och nödvändiga subrutiner för att nå ett bestämt mål. Målen kan vara statistisk analys, beräkning av egenperioder och egenoder eller en dynamisk beräkning.



Figur A.1 Programflöde vid en statisk beräkning i MODEX.

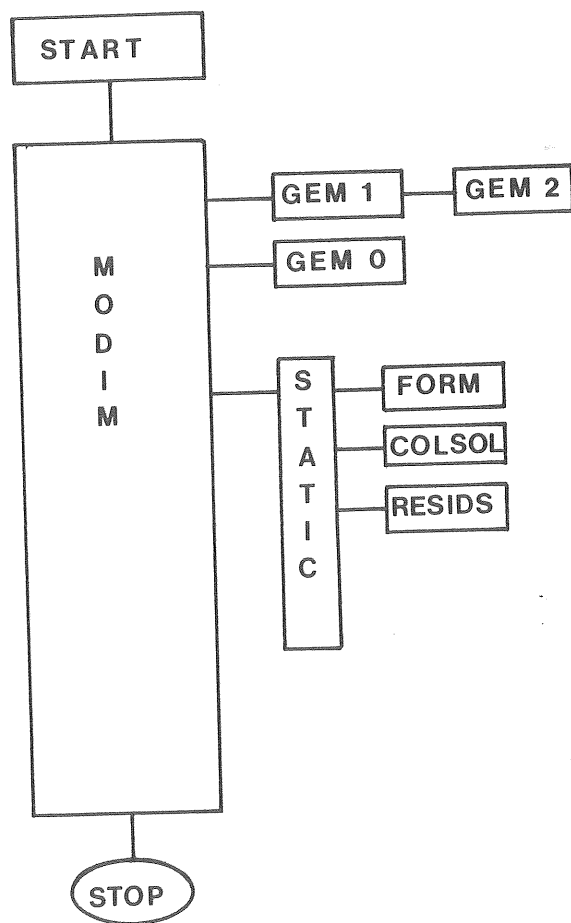


Figur A.2 Programflöde vid en beräkning av egenmoder och egenperioder i MODEX.

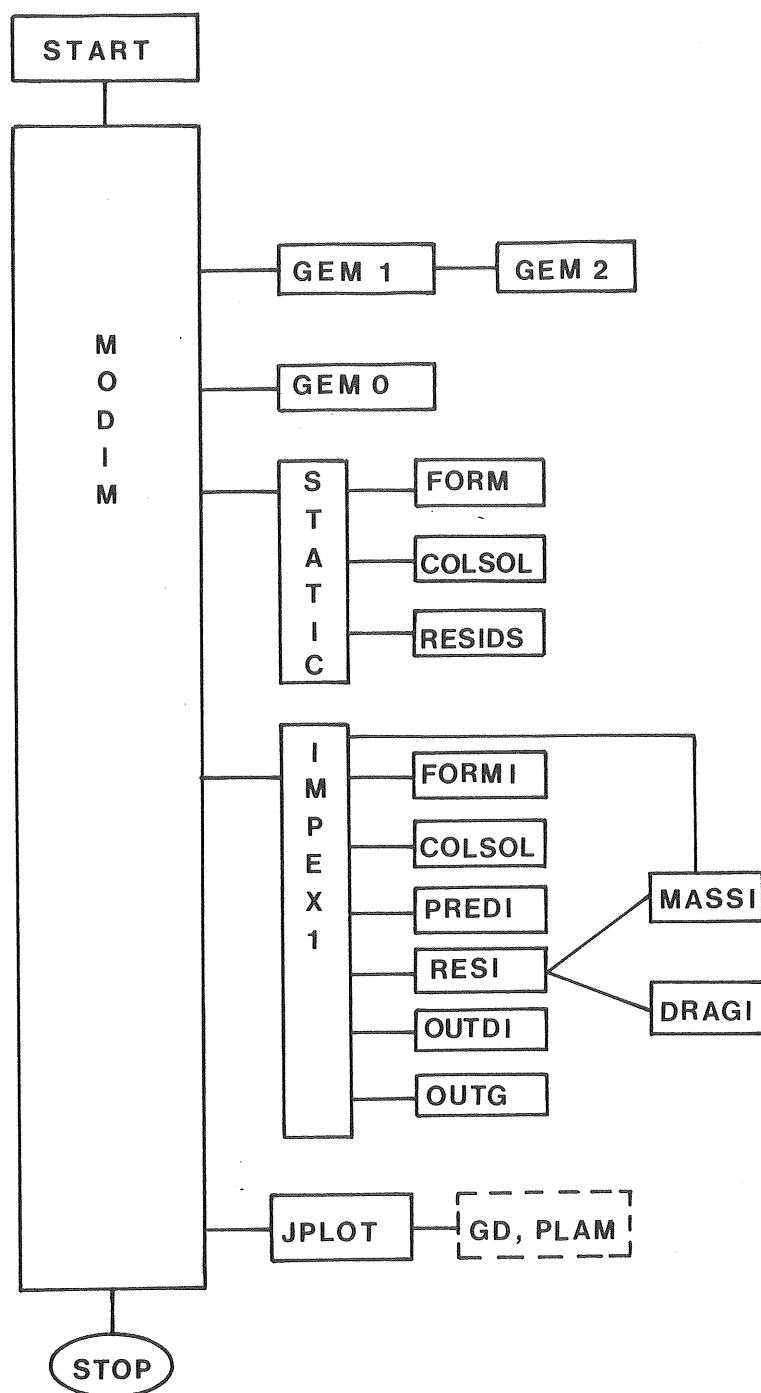


Figur A.3 Programflöde vid beräkning av tidsberoende förlopp i MODEX.

*) Kopplat till Göteborgs datacentrals plottningsprogram PLAM.



Figur A.4 Programflöde vid en statisk beräkning i MODIM.



Figur A.5

Programflöde vid beräkning av tidsberoende förlopp i MODIM.

Huvudprogram och subrutiners funktion

MODEX Är ett huvudprogram. Läser och skriver ut indata. Med detta huvudprogram som utgångspunkt kan statistisk, dynamisk eller egenvärdesberäkning genomföras.

De dynamiska beräkningarna kan vara två- eller tredimensionella och genomföras med explicit numerisk integration. Filnamn: MODEX

MODIM Är ett huvudprogram. Läser och skriver ut indata. Med detta huvudprogram som utgångspunkt kan statistiska och dynamiska beräkningar genomföras. Filnamn: MODIM.

STATIC Subrutin för statisk beräkning. Beräknar lastvektorn i kabelns noder, laststeg och fungerar som ett "huvudprogram" vid statisk beräkning. Genomför iterationer och kontrollerar lösningens konvergens. Ger utskrift av beräkningsresultat på radskrivaren. Filnamn: STATIC.

GEM0 Räkner ut en första referenskonfiguration för STATIC, då $\sqrt{XL1^2 + XL2^2} >$ kabelns osträckta längd. Kabelns första referenskonfiguration blir en rak linje. Filnamn: GEMA.

GEM 1 Räkner ut en första referenskonfiguration till STATIC då $\sqrt{XL1^2 + XL2^2} <$ kabelns osträckta längd i fallet då havsbotten ej inverkar. Kabelns första referenskonfiguration erhålles ur den "oelastiska kedjelinjen". Filnamn: GEMB.

- GEM 2 Räknar ut en första referenskonfiguration till STATIC då $\sqrt{XL1^2 + XL2^2} < \text{kabelns osträckta längd}$ i fallet då havsbotten inverkar. Kabelns första referenskonfiguration ges utav den oelastiska kedjelinjen samt en rak linje utefter havsbotten. Filnamn: GEMC.
- FORM Formar styvhetsmatrisen för en statisk beräkning till STATIC. Filnamn: FORM.
- COLSOL Subrutin för lösning av ekvationssystem utformad i enlighet med [4] . Filnamn: COLSOL.
- RESIDS Räknar ut jämviktsekvationernas obalanserade krafter för STATIC den s.k. residualen. Filnamn: RESIDUS.
- EIGEN Subrutin som fungerar som ett "huvudprogram" med beräkning av egenperioder och egenvektorer. Skriver ut resultat av egenvärdesanalys på radskrivare. Filnamn: EIGEN.
- FORMK Formar styvhetsmatrisen för beräkning av egenperioder och egenvektorer. Filnamn: FORMK
- FORMM Formar massmatrisen för beräkning av egenperioder och egenvektor. Filnamn: FORMM.
- JACOBI Löser egenvärdesproblem med JACOBI-iteration. Subrutinen utformad i enlighet med [4] . Filnamn: JAKOBI.

- TIMEX3** Subrutin för dynamisk beräkning med explicit numerisk integration. Handhar den numeriska integrationen, beräknar krafter, massmatriser etc. och är ett "huvudprogram" vid en dynamisk beräkning. Filnamn: TIMEX4.
- DRAG** Beräknar släpkrafter i kabelns noder för TIMEX3 då IPOL = 2, 3, 4, 5. Filnamn DRAG.
- CURR** Beräknar strömmens hastighet i kabelns noder för TIMEX3 eller IMPEX1. Filnamn: CURR.
- OUTD** Ger utskrift av data beräknat genom TIMEX3 på radskrivaren. Lagrar fält för plottning av tidsberoende variabler. Filnamn: OUTD.
- OUTG** Lagrar fält för plottning av kabelns geometri vid olika tidsögonblick. Filnamn: OUTG.
- JPLOT** Subrutin för plottning, är knuten till Göteborgs Datacentrals subrutiner för plottning (PLAM). Filnamn: JPLOT.
- IMPEX1** Subrutin för dynamisk beräkning med implicit numerisk integration. Denna fungerar som ett "huvudprogram" vid dynamiska beräkningar. Filnamn: IMPEX1.
- FORMI** Formar "styvhetsmatrisen" vid dynamisk beräkning för IMPEX1. Filnamn: FORMI.

Department of Hydraulics
Chalmers University of Technology

Report Series A

- A:1 Bergdahl, L.: Physics of ice and snow as affects thermal pressure. 1977.
- A:2 Bergdahl, L.: Thermal ice pressure in lake ice covers. 1978.
- A:3 Häggström, S.: Surface Discharge of Cooling Water. Effects of Distortion in Model Investigations. 1978
- A:4 Sellgren, A.: Slurry Transportation of Ores and Industrial Minerals in a Vertical Pipe by Centrifugal Pumps. 1978.
- A:5 Arnell, V.: Description and Validation of the CTH-Urban Runoff Model. 1980.
- A:6 Sjöberg, A.: Calculation of Unsteady Flows in Regulated Rivers and Storm Sewer Systems. (in Swedish). 1976.
- A:7 Svensson, T.: Water Exchange and Mixing in Fjords. Mathematical Models and Field Studies in the By-fjord. 1980.
- A:8 Arnell, V.: Rainfall Data for the Design of Sewer Pipe Systems. 1982.
- A:9 Lindahl, J. och Sjöberg, A.: Dynamic Analysis of Mooring Cables. 1983.
- A:10 Nilsdal, J-A.: Optimeringsmodellen ILSD. Beräkning av topografins inverkan på ett dagvattensystems kapacitet och anläggningskostnad. 1983.

Report Series B

- B:1 Bergdahl, L.: Beräkning av vågkrafter. 1977.
(Ersatts med 1979:07).
- B:2 Arnell, V.: Studier av amerikansk dagvattenteknik. 1977.
- B:3 Sellgren, A.: Hydraulic Hoisting of Crushed Ores.
A feasibility study and pilot-plant investigation
on coarse iron ore transportation by centrifugal pumps. 1977
- B:4 Ringesten, B.: Energi ur havsströmmar. 1977.
- B:5 Sjöberg, A. och Asp, T.: Brukar-anvisning för ROUTE-S.
En matematisk modell för beräkning av icke-stationära
flöden i floder och kanaler vid strömmande tillstånd. 1977.
- B:6 Annual Report 1976/77.
- B:7 Bergdahl, L. and Wernersson, L.: Calculated and Expected
Thermal Ice Pressures in Five Swedish Lakes. 1977.
- B:8 Göransson, C-G and Svensson, T.: Droque Tracking -
Measuring Principles and Data Handling.
- B:9 Göransson, C-G.: Mathematical Model of Sewage Dis-
charge into confined, stratified Basins - Especially
Fjords.
- B:10 Arnell, V. och Lyngfelt, S.: Beräkning av dagvatten-
avrinning från urbana områden. 1978.
- B:11 Arnell, V.: Analysis of Rainfall Data for Use in Design
of Storm Sewer Systems. 1978.
- B:12 Sjöberg, A.: On Models to be used in Sweden for Detailed
Design and Analysis of Storm Drainage Systems. 1978.
- B:13 Lyngfelt, S.: An Analysis of Parameters in a Kinematic
Wave Model of Overland Flow in Urban Areas. 1978.
- B:14 Sjöberg, A. and Lundgren, J.: Manual for ILLUDAS
(Version S2). Ett datorprogram för dimensionering
och analys av dagvattensystem.
- B:15 Annual Report 1978/79.
- B:16 Nilssdal, J-A. och Sjöberg, A.: Dimensionerande regn
vid höga vattenstånd i Göta älv.
- B:17 Stöllman, L-E.: Närkes Svartå. Hydrologisk inventering. 1979.
- B:18 Svensson, T.: Tracer Measurements of Mixing in the
Deep Water of a Small, Stratified Sill Fjord.
- B:19 Svensson, T., Degerman, E., Jansson, B. och Westerlund, S.:
Energiutvinning ur sjö- och havssediment. En förstudie.
R76:1980.

Report Series B

- B:20 Annual Report 1979
- B:21 Stöllman, L-E.: Närkes Svartå. Inventering av vattentillgång och vattenanvändning. 1980.
- B:22 Häggström, S. och Sjöberg, A.: Effects of Distortion in Physical Models of Cooling Water Discharge. 1979.
- B:23 Sellgren, A.: A Model for Calculating the Pumping Cost of Industrial Slurries. 1981.
- B:24 Lindahl, J.: Rörelseekvationen för en kabel. 1981.
- B:25 Bergdahl, L. och Olsson, G.: Konstruktioner i havet. Vågkrafter-rörelser. En inventering av datorprogram.
- B:26 Annual Report 1980.
- B:27 Nilsdal, J-A.: Teknisk-ekonomisk dimensionering av avloppsledningar. En litteraturstudie om datormodeller. 1981.
- B:28 Sjöberg, A.: The Sewer Network Models DAGVL-A and DAGVL-DIFF. 1981.
- B:29 Moberg, G.: Anläggningar för oljeutvinning till havs. Konstruktionstyper, dimensioneringskriterier och positioneringssystem. 1981.
- B:30 Sjöberg, A. och Bergdahl, L.: Förankringar och förankringskrafter. 1981.
- B:31 Häggström, S. och Melin, H.: Användning av simuleringsmodellen MITSIM vid vattenresursplanering för Svartån.
- B:32 Bydén, S. och Nielsen, B.: Närkes Svartå. Vattenöversikt för Laxå kommun. 1982.
- B:33 Sjöberg, A.: On the stability of gradually varied flow in sewers. 1982.
- B:34 Bydén, S. och Nyberg, E.: Närkes Svartå. Undersökning av grundvattenkvalitet i Laxå kommun.
- B:35 Sjöberg, A. och Mårtensson, N.: Regnenveloppmetoden. En analys av metodens tillämplighet för dimensionering av ett 2-års perkolationsmagasin.
- B:36 Svensson, T. och Sörman, L-O.: Värmeupptagning med bottenförlagda kylslangar i stillastående vatten. Laboratorieförsök
- B:37 Koltransporter och kolhantering. Lagring i terminaler och hos storförbrukare. Anders Mattsson. (Delrapport).
- B:38 Strandner, H.: ILL-DIFF. Ett datorprogram för sammankoppling av ILLUDAS och DAGVL-DIFF, 1983.

Report Series B

- B:39 Svensson, S. och Sörman, L-O: Värmeupptagning med bottenförlagda slangar i rinnande vatten. Laboratorieförsök.
- B:40 Mattsson, A.: Koltransporter och kolhantering. Lagring i terminaler och hos storförbrukare. Kostnader. Delrapport 2.
- B:41 Häggström, S. och Melin, H.: Närkes Svartå. Simuleringsmodellen MITSIM för kvantitativ analys i vattenresursplanering. Inst.f.Vattenbyggnad, CTH. Series B:41. Göteborg 1983.
- B:42 Seminarium om miljöeffekter vid naturvärmesystem. Dokumentation sammanställd av Stig Hård, VIAK AB.
- B:43 Jan Lindahl: Ett datorprogram för simulering av dynamiska förlopp i förankringskablar. Göteborg 1983.

