



Institutionen för Vattenbyggnad
Chalmers Tekniska Högskola

Department of Hydraulics
Chalmers University of Technology

I samarbete med VIAK AB

VNÄT

Datorprogram för beräkning av flöden och
tryck i vattenledningsnät.

Del I: Beskrivning
Del II: Manual

Anders Bäckström
Massis Hatemian

Examensarbete nr
1985:6

Göteborg 1985

Adress: Institutionen för Vattenbyggnad
Chalmers Tekniska Högskola
412 96 Göteborg

Telefon: 031/81 01 00

V-NÄT

ETT VATTENLEDNINGSPROGRAM
AVSETT FÖR PERSONDATORER.

20 3164-2

Linköping 1985-08-30

Examensarbete

Institutionen för Vattenbyggnad

CTH Göteborg

VIAK AB Linköping

Handledare:

Viktor Arnell VIAK AB

Tage Johansson VIAK AB

Steffen Häggström CTH

Utfört av:

Anders Bäckström 4-82-0886

Massis Hätemian 4-82-2307

FÖRORD.

Föreliggande rapport är ett av resultaten från ett examensarbete utfört under sommaren 1985. Den skall ses som en fristående del av en trilogi bestående av denna rapport, en manual till programmet samt en rapport som behandlar det vattenledningsnät som analyserats.

Vi ber att på detta sätt få tacka:

Jan Perzon Bikonol konsult AB

Olle Ljunggren Göteborgs VA-verk

Viktor Arnell VIAK AB

Tage Johansson VIAK AB

Steffen Häggström CTH

INNEHÅLLSFÖRTECKNING.

TEXT	SID
0. SAMMANFATTNING	1-2
1. INLEDNING	3
2. ORIENTERING OM HANDBERÄKNINGSMETODER	4
2.1 Grundläggande ekvationer	4-5
2.2 Flödesbalansmetod	5-7
2.3 Energibalansmetod	7
3. DATORPROGRAMMET V-NÄT	8
3.1 Beräkningsmetod	8-9
3.2 Programmets uppbyggnad	10
3.3 Flödesschema	11
4. SLUTSATSER FRÅN DATORBERÄKNINGAR	12
4.1 Iterationstider	12-14
4.2 Total beräkningstid	15-16
4.3 Beräkningsfel	17
5. FÖRESLAGNA FÖRBÄTTRINGAR	18
5.1 Ändring av nätets råhet	18
5.2 Komplettering av printerutskrift	18-19
5.3 Lagring av resultat på flexskiva	19
5.4 Pumpkurva som ett randvillkor	19-20
5.5 Felutskrift	20
5.6 Maximalt antal iterationer per knut	21
6. REFERENSER	22

BILAGOR.

1. Numeriskt exempel
2. Iterationstider
3. Total beräkningstid och beräkningsfel

0. SAMMANFATTNING.

V-NAT är ett program avsett för beräkning av flöden och tryck i vattenledningsnät. Programmet använder sig av en iterativ beräkningsmetod. Metoden går ut på att balansera trycknivåerna mellan knutarna så att kontinuiteten uppfylls. Friktionsförlusterna beräknas enligt Colebrook's formel.

Efter att ha testat programmet på en mängd olika fall kan följande nämnas.

Den tid det tar för datorn att göra en iteration, är en funktion av antalet ledningar och antalet knutar. Konstanterna i denna funktion är beroende på datorns kapacitet. För en Luxor 806 kan följande överslagsformler användas.

$$\text{Iterationstid (sek)} = 1,4 * L + 0,25 * K \quad 0 < K < 60$$

$$\text{Iterationstid (sek)} = 1,4 * L + K(0,0375 * K - 2,0) \quad 60 < K$$

L = Antalet ledningar

K = Antalet knutar

Tiderna gäller för iteration två och över. Iteration ett tar något längre beroende på att indata kontrolleras.

Beräkningstiden, dvs antalet iterationer är beroende på vilken noggrannhet man har valt. Dessutom har nätets hydrauliska egenskaper stor betydelse. Ju större tryckförluster i nätet desto snabbare konvergerar metoden. Normala beräkningstider rör sig om några timmar för ett medelstort nät.

Beräkningsfelet kan man styra själv genom att ange ett största fel i knut. Felet i knutarna kan summeras till ett relativt stort fel för hela nätet. Detta fel märker man som en brist/överskott i flödena från/till tornen.

Det relativa summafelet minskar med ökad nätstorlek.

Summafelet minskar vidare med större uttag.

Summa uttag har en viss tendens att överstiga summa inströmning i nätet som helhet. Det beror på att det i beräkningsmetoden är en större sannolikhet att knuten hamnar på en något högre höjd än den korrekta.

Programmet är användarvänligt men kan förbättras. De i vårt tycke mest angelägna förbättringarna är:

Pumpkurva som rändvillkor.

Maximalt antal iterationer per knut.

Felutskrift vid indatafel.

Ändring av råhet för hela nätet.

Linköping 1985-08-30

Anders Bäckström

Massis Hatemian

1. INLEDNING.

Rapporten behandlar ett datorprogram för beräkning av flöden och tryck i vattenledningsnät. Programmet är skrivet av Jan Perzon Bikonol konsult AB Göteborg för Göteborgs VA-verks räkning. För att öka försäljningsmöjligheterna av programmet köplades VIAK AB in. VIAK AB fick därmed tillgång till detta program för sitt eget behov samtidigt som man skall sälja det vidare. Innan man börjar försäljningen har man velat dokumentera programmets egenskaper samt få förslag på önskvärda förbättringar. Dessutom skall en manual utarbetas.

Syftet med denna rapport är att beskriva programmets beräkningstekniska egenskaper samt ange förslag till förbättringar. Rent användningsmässiga aspekter tas inte upp här, utan läsaren hänvisas till programmets manual, se (6).

2. ORIENTERING OM HANDBERÄKNINGSMETODER.

Beräkningar av vattenledningsnät är ofta ett komplext problem. Normalt används datorer vid beräkningar av stora nät. De grundläggande ekvationerna är dock samma som vid handberäkningsmetoder. Ekvationerna är följande: (se exempelvis (1), (2) eller (3))

2.1 GRUNDLÄGGANDE EKVATIONER

1. ENERGI EKVIATIONEN (BERNOULLIS EKVATION)



Figur 2.1 Strömrör

$$\left(Z + P/\rho g + \frac{aU^2}{2g} \right)_1 = \left(Z + P/\rho g + \frac{aU^2}{2g} \right)_2 + h$$

Ekvationen säger att den totala energin i ett system är konstant. Inom hydrauliken brukar energierna uttryckas som höjder. Beståndsdelarna är:

Z = Geometrisk höjd (m)

$P/\rho g$ = Tryckhöjd (m)

$\frac{aU^2}{2g}$ = Hastighetshöjd (m)

h = Friktionsförluster och tilläggsförluster mellan sektion 1 och sektion 2 (m).

där:

Z = Sektionens nivå relaterad till ett godtyckligt plan (m).

P = Trycket i sektionen (Pa).

ρ = Vätskans densitet (kg/m^3)

g = Tyngdaccelerationen (m/s^2).

a = Konstant som tar hänsyn till hastighetens variation.

U = Medelhastighet i sektionen (m/s).

2. KONTINUITETSEKVATIONEN

Summa $Q_i = 0$

Q_i är flödet in eller ut i en punkt med vald teckenregel (m^3/s).

Enkelt uttryckt innebär ekvationen att summa inströmning är lika med summa utströmning i en punkt.

Två olika beräkningsmetoder har utvecklats, i den ena ansätts flödena som obekanta, i den andra trycket i knutarna. Följande sidor ger en orientering om dessa metoder.

2.2 FLÖDESBALANS METOD

Metoden lämpar sig för beräkning av cirkulationsnät där såväl uttagen som inströmningen i nätet är kända. Utgångspunkten är att summan av energiförlusterna med tecken i en sluten slinga är lika med noll om korrekt flödesfördelning antagits. Energiförlusterna består av friktionsförluster samt tilläggsförluster. Normalt försummas tilläggsförlusterna vid sidan om friktionsförlusterna. Friktionsförlusterna brukar skrivas på formen:

$h_f = mLQ^2$ där

$m = 16f/2gd^5\pi^2$ där

$$f = (1/2 \log(3,71d/k))^2$$

- k = Ekvivalent sandråhet för ledningen. (m)
- L = Ledningensl ngd (m)
- d = Ledningens inre diameter (m²)
- Q = Flöde i ledningen (m³/s)
- g = Tyngdacceleration (m/s²)

En beräkningsgång kan uppställas:

1. Dela in nätet i slutna slingor. Antag en flödesfördelning som uppfyller kontinuitetskravet i varje knut. Bestäm en teckenregel f r flödena i slingan.
2. Om summan inte är lika med noll så måste flödena ändras, - normalt används Newton Raphsons iterationsmetod. Två olika varianter av denna metod finns utvecklade. I den ena itereras hela nätet på samma gång, i den andra itererar man en slinga i taget. Den sistnämnda metoden kallas för Hardy Cross's metod.

Variant 1, se (2) sid 244-255.

$$X^{(m+1)} = X^{(m)} - D^{-1}F^{(m)}$$

X  r en vektor bestående av fl desinkrementet dQ_i f r slinga nummer i, i=1,2,3.....n.

F  r en vektor med summa h_i=1.

D  r en symmetrisk matris med partiella derivator dF_i/d(dQ_j), i=1,2,3....n, j=1,2,3....n.

Den kallas ofta f r Jacobianen.

m = iteration nummer m.

Variant 2, (Hardy Cross), se (2) sid 246-248.

$$dQ = -\text{summa } h_x / 2\text{summa}(\text{abs}(mLQ))$$

dQ = Flödesändring i slingan.

abs = Absolutbeloppet.

3. Iterera tills önskad noggrannhet är uppfylld

2.3 ENERGIBALANS METOD

Metoden lämpar sig för nät där många reservoarer ingår.

I denna metod är det energinivån i knutarna som är de primärt obekanta. Friktionsförlusterna beräknas som i förra fallet.

Problemet består i att söka flödesfördelningen i ett nät som består av olika reservoarer som matar varandra.

1. Gissa energinivån i knuten, beräkna flödesfördelningen.
2. Ställ upp kontinuiteten i knuten, om summa Q är skild från noll måste energinivån förändras.

$$dH = 2\text{summa } Q / \text{summa } \text{abs}(Q/H)$$

dH = Ändring av energinivå (m).

H = Skillnaden i energinivå mellan två sektioner (m).

3. Iterera tills önskad noggrannhet är uppfylld.

3. DATORPROGRAMMET V-NAT.

3.1 BERÄKNINGSMETOD

De grundläggande ekvationerna som redogjorts för i föregående kapitel gäller även här.

Trycknivån i knutarna är de primärt obekanta. Programmet är en variant av den metod som redovisades i kapitel 2.3. Nedan följer en beskrivning av den använda metoden.

Randvillkoren är knutar med känd trycknivå, här kallade 'Torn'. I ett nät måste en eller flera sådana torn ingå. Hydrauliskt sett motsvarar ett torn en reservoar.

Beräkningsmetod: (se även numeriskt exempel i bilaga 1)

1. Man utgår från en knut som ansluter till något av tornen. Övriga knutar anses nu vara bekanta med kända trycknivåer, exempelvis knutarnas datumhöjder. Energiekvationen ställs upp för varje ledning som ansluter till ifrågavarande knut. Varje sådan ekvation innehåller två obekanta, flödet i ledningen samt trycknivån i knuten.
2. Flödena uttrycks som funktioner av den obekanta trycknivån. För att lösa ut denna krävs således en ekvation till. Vi ställer upp kontinuiteten i knuten med någon vald teckenregel. Här väljer vi flöden till knuten (inströmning) som positiva.
3. För att lösa ut trycknivån i ekvationen måste någon numerisk metod tillgripas, exempelvis Newton Raphson's metod.

$$H^{(m+1)} = H^{(m)} - F^{(m)} / (dF/dH)$$

$$F = \text{summa } Q$$

H = Trycknivå (m).

Alternativt kan metoden beskriven i kapitlet 4.3 användas. Övriga knutar betraktas då som reservoarer.

4. Iterationen avbryts när önskad noggrannhet erhållits.
5. Den sålunda beräknade trycknivån betraktas nu som fixt och nästa knut beräknas på samma sätt.
6. Proceduren upprepas för alla knutar med obekanta trycknivåer. Detta kallas i det följande för en iteration.
7. Efter en iteration återkommer man till startknuten och beräknar åter trycknivån. Sannolikt förändras denna ty de anslutande knutarna har fått nya tryckhöjder.
8. En ny iteration genomförs.
9. Efter ett antal iterationer kan man konstatera hur tryckhöjden i en knut har förändrats. Om det visar någon tendens att 'vandra' mot ett värde kan man använda sig av pådrivande faktorer för att påskynda beräkningen. Därvid multipliceras trycknivån med en faktor som baseras på tryckändringen i knuten.
10. En ny iteration beräknas med de sålunda 'upplyfta' knutarna.
11. Beräkningen fortgår med omväxlande positiva och negativa faktorer i knutarna. Trycknivåerna konvergerar mot rätt värde.
12. När skillnaden mellan summa inströmning och summa uttag understiger angivet värde i alla knutar, avbryts itereringen.

3.2 BESKRIVNING AV PROGRAMMET

Programmet är uppdelat i ett antal subprogram med olika funktion. Nedan följer en beskrivning av varje sådant program.

3.2.1 START.BAC

I detta program sättes printerrutin till Options PROM, se respektive dators bruksanvisning.

Här kan man även bestämma vilka enheter som resultatet kommer att få.

3.2.2 VNAT.BAC

Indata till programmet behandlas här på olika sätt. Dessa lagras i ett antal matriser och vektorer. I denna version av programmet är max antal ledningar 300 och max antal knutar 200 stycken. Funktioner för standardiserad bildskärmslayout definieras i detta program.

3.2.3 VBER.BAC

Beräkningsprogram.

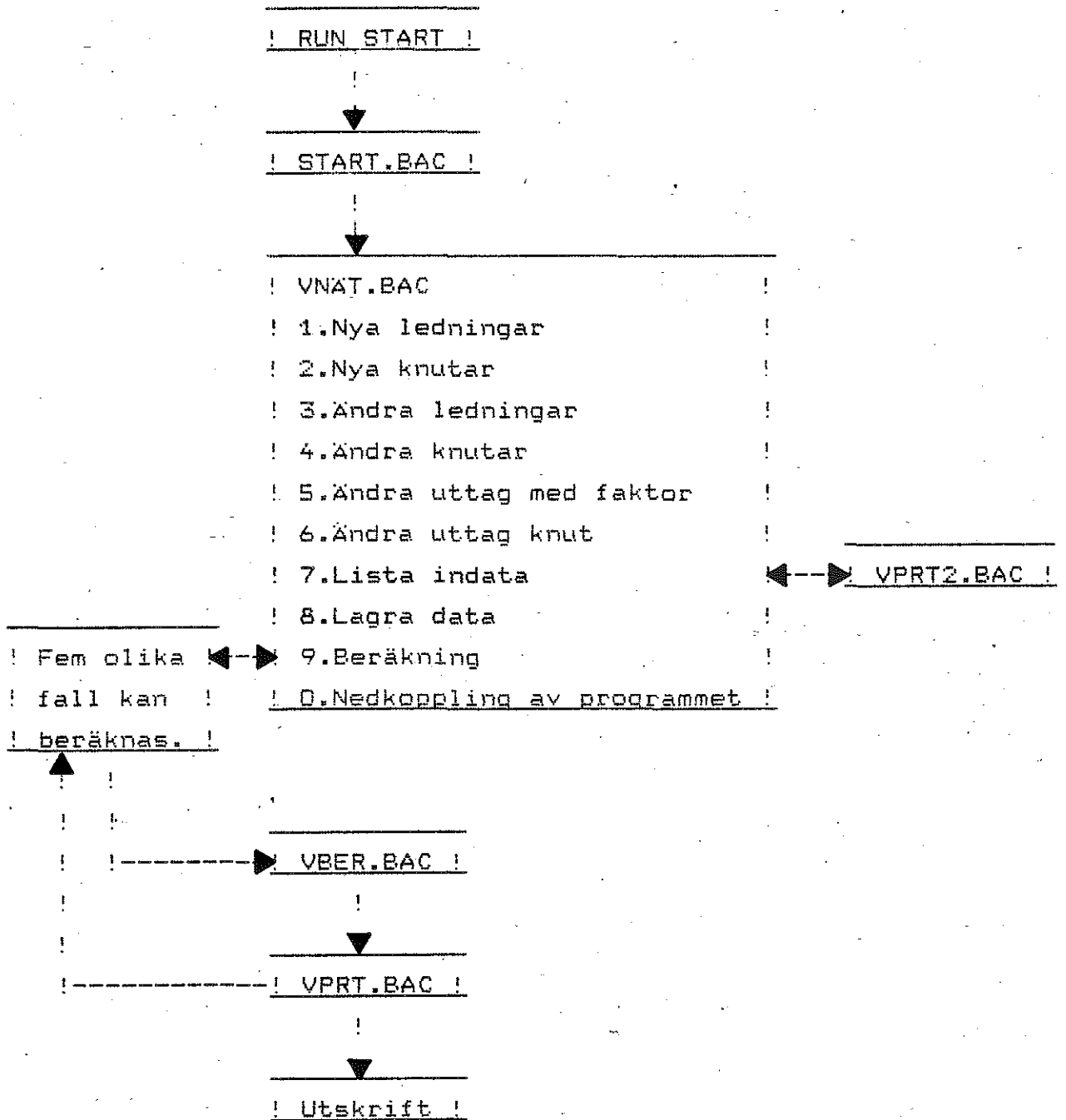
3.2.4 VPRT.BAC

Sköter printerutskriften av beräkningsresultatet. Här kan man ändra utskriften av resultatet.

3.2.5 VPRT2.BAC

Listar indata på printer eller bildskärm.

3.3 FLÖDESSCHEMA



Figur 3.1 Flödesschema.

4. SLUTSATSER FRÅN DATORKÖRNINGAR.

För att testa programmet på ett verkligt fall, har Atvidabergs vattenledningsnät analyserats, se (4). Erfarenheter och slutsatser från dessa datorkörningar presenteras i detta kapitel.

4.1 ITERATIONSTIDER. (se bilaga 2)

Varje iteration tar en bestämd tid i anspråk. Genom att köra olika fall har vi försökt bestämma vilka faktorer som påverkar denna tid. Inom varje iterationssteg måste ett antal operationer utföras, tiden för dessa bör kunna uttryckas som en funktion av antalet ledningar (operationerna består bland annat i beräkningar av derivator för varje ledning). Olika beräkningsfall visar att så även är fallet. Man kan anta att totala iterationstiden består av två delar. En rätlinjig del som beror på antalet ledningar och en andra del som kan uttryckas som funktion av antalet knutar. Se figurerna 4.1, 4.2.

$$T_{tot} = T_1 + T_2$$

$$\begin{aligned} \text{där: } T_1 &= L * 1,4 \\ T_2 &= K(0,0375 * k - 2,0) , & K > 60 \\ T_2 &= 0,25 * K , & 0 < K < 60 \end{aligned}$$

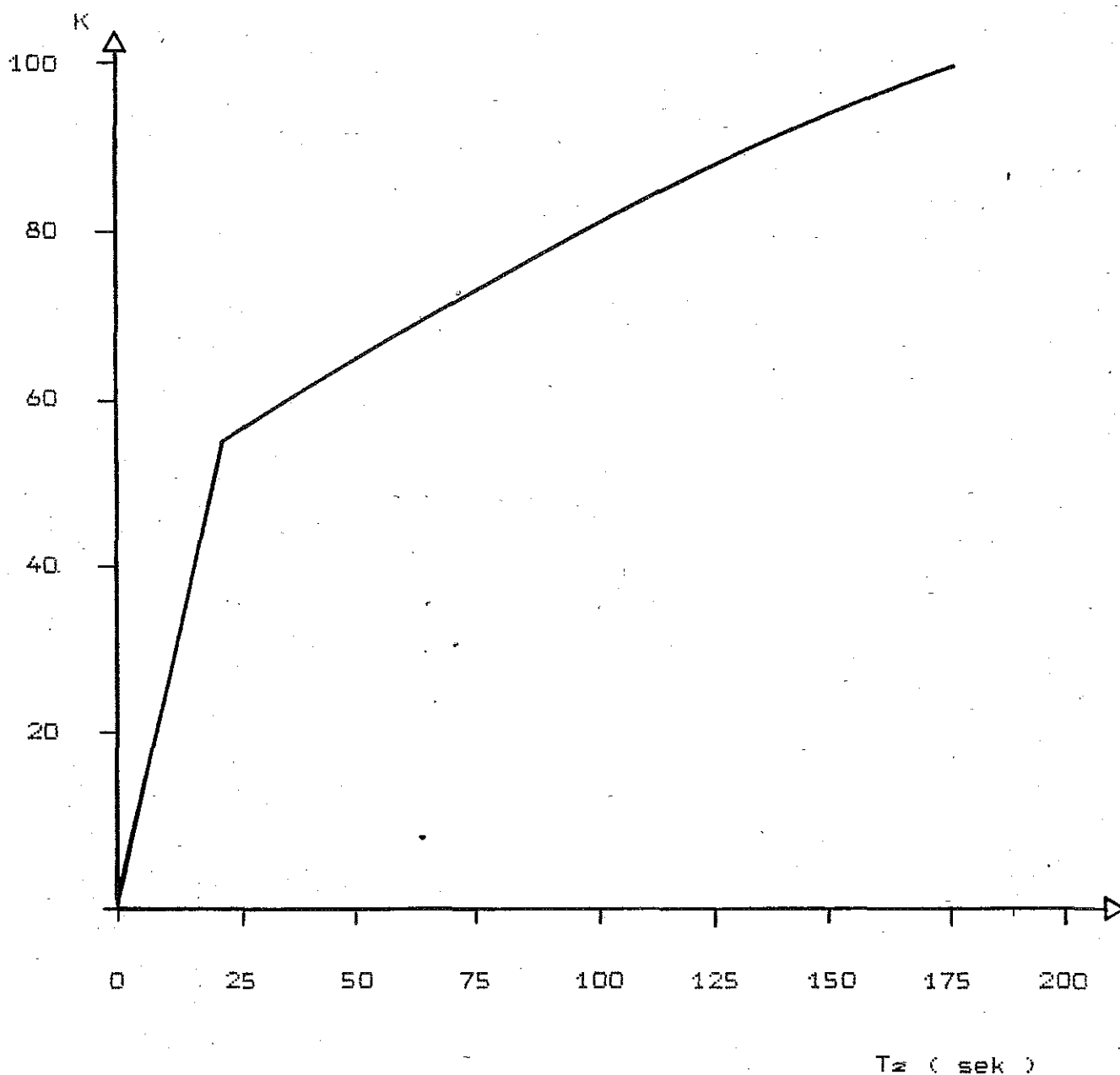
T=Iterationstid (sek)
L=Antalet ledningar
K=Antalet knutar

Den linjärt stigande delen av kurvan i figur 4.2 beror på följande:

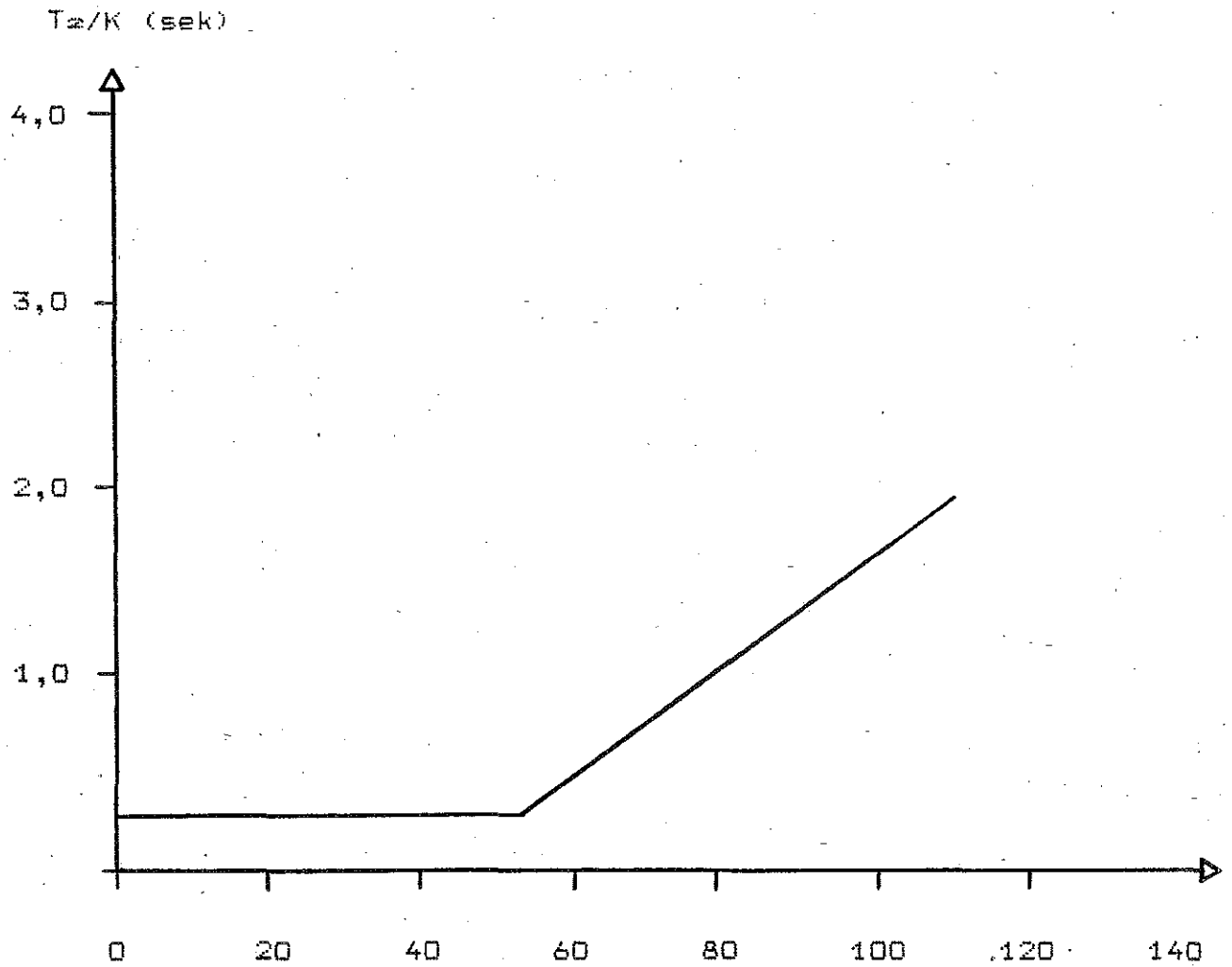
Antalet iterationer per knut, för att bestämma knutens tryckhöjd, är konstant = 25 st upp till 60 knutar. Överstiger

antalet knutar 60 st, så bestäms antalet iterationer av antalet knutar/2.

Första iterationen tar alltid längre tid än de övriga. Detta beror på att programmet kontrollerar indata så att inga logiska fel finns.



Figur 4.1 Iterationstiden (T_2) som funktion av antalet knutar.



K

Figur 4.2 Iterationstiden (T_2) per knut som funktion av antalet knutar.

4.2 TOTAL BERÄKNINGSTID (se bilaga 3)

Den totala beräkningstiden, dvs antalet iterationer, är beroende på en mångfald olika faktorer.

Först och främst har ju vald noggrannhet stor inverkan. Itereringen avbryts när skillnaden mellan summa inströmning och summa uttag understiger detta värde i alla knutar.

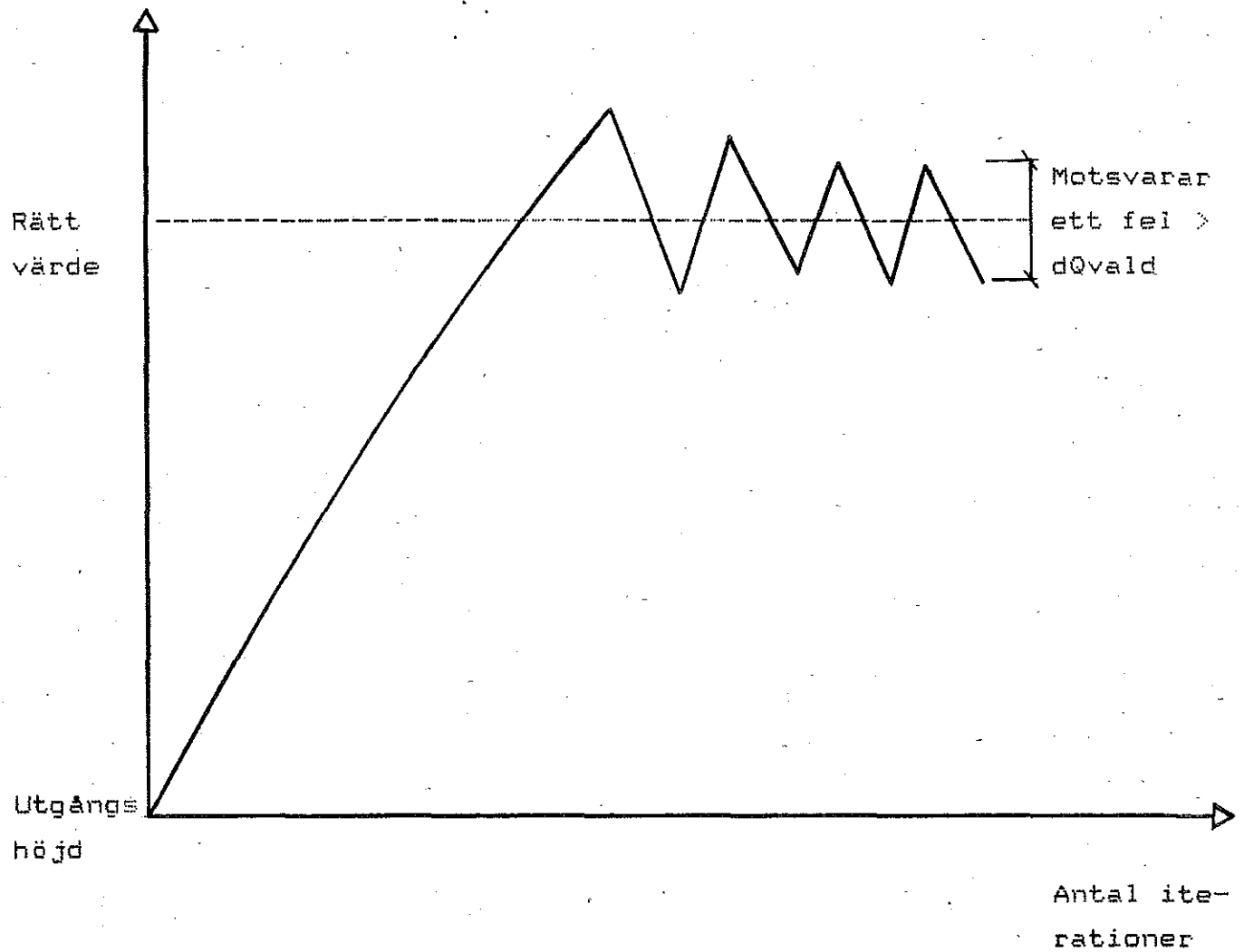
Antalet randvillkor (torn) har också betydelse, ju fler torn desto snabbare finner nätet rätt trycknivå.

Eftersom metoden bygger på att balansera trycken mellan knutar så att kontinuiteten uppfylls, har tryckförlusterna i ledningarna stor påverkan på beräkningstiden. Enligt ovan har alltså ledningarnas råhet betydelse.

Har man ett överdimensionerat nät eller om man beräknar ett fall med små flöden (exempelvis mindygn mintimma), kan man få extremt långa beräkningstider. Detta beror på att beräkningsnoggrannheten uttrycks som ett fel i kontinuiteten för varje knut. I knutar där anslutande ledningar har stor hydraulisk kapacitet, ger en liten ändring av tryckhöjd en stor ändring i flöden. Detta innebär att när trycket i knuten närmar sig rätt värde, kommer knuten vid varje iteration att pendla över eller under detta värde. Det krävs många iterationer för att nå önskad noggrannhet. I extremfallet räcker inte datorns siffernoggrannhet till. Beräkningen kommer inte att konvergera, se figur 4.3.

För att få en kort beräkningstid måste alltså nätet 'trimmas in'. Ledningar med små flöden och små tryckförluster kan plockas bort utan att det påverkar slutresultatet nämnvärt. Om man har en ledning som dimensionsändras, kan denna göras om till en ekvivalent ledning. Därvid ser man till att ledningen får samma tryckförluster som den förra.

Knutens tryckhöjd



Figur 4.3 En knuts konvergens, i detta fall är $dQ(dH) > dQ_{vald}$

4.3 BERÄKNINGSFEL (se bilaga 3)

Felet i beräkningarna väljer man själv genom att ange 'maxfel i knut'. Dock kan man undra över i vilken mån dessa fel i knutarna ackumuleras till ett totalt fel i hela systemet. Detta totala fel märker man som en brist/överskott i flödena från tornen. Efter att ha studerat nät med olika storlek, kan man dra den slutsatsen att det relativa felet (= totalt fel/antal knutar) minskar i större nät. Sannolikheten att felet skall ta ut varandra ökar, absolutfelet växer självklart med antalet knutar.

Sannolikheten att det totala felet är positivt (summa uttag > summa inströmning) är större än 50 %. Nätet har en viss tendens att hamna på en något högre tryckhöjd än det beräkningsmässigt rätta värdet. Detta beror på de i beräkningsmetoden påskjutande faktorerna. Knutarna skjuts på så att de mer ofta hamnar ovan den korrekta nivån än under.

Man kan anta att totalfelet ökar med minskande uttag i nätet. Detta för att nätet konvergerar sämre. Fler knutar 'utnyttjar' det tillåtna felet.

5. FÖRESLAGNA FÖRBÄTTRINGAR AV PROGRAMMET.

Ett datorprogram kan ju alltid förbättras. Nedan följer några förslag om hur programmet kan göras bättre. För att till fullo förstå resonemanget i detta kapitlet bör manualen till programmet studeras, se (5).

5.1 ANDRINGAR AV NÄTETS RÅHET.

Ofta är man i den situationen att man inte känner ledningarnas råheter. Genom att beräkna fall med olika råhet för nätet och jämföra med uppmätta värden, kan nätet som helhet råhetsbestämmas.

I nuvarande version av programmet måste dessa ändringar av råheten göras för varje ledning. Önskvärt vore att man kunde göra denna ändring för alla ledningarna på en gång.

Vi föreslår att en sådan rubrik läggs in i menyn och att programmet kompletteras med denna funktion.

5.2 KOMPLETTERING AV PRINTERUTSKRIFT.

Printerutskriften bör kompletteras med uppgifter om summa uttag och summa inströmning (både från pumpar och torn).

Vidare bör noggrannheten vid utskriften kunna ändras lätt, t ex från en decimal till två decimaler.

Detta göres lämpligen i menyn under rubriken 'Beräkning'.

I 'vår' version skrivs inte det knutnummer som har största fel ut. Detta beror enligt uppgift på att variabeln inte är Commondeklarerad.

Printerutskriften bör innehålla uppgifter om vattenhastig-

het. Man kan slopa utskriften av trycken under rubriken 'Ledningar'.

5.3 LAGRING AV BERÄKNINGSRESULTATET PÅ FLEXSKIVA.

I nuvarande version av programmet skrivs resultatet från beräkningarna ut direkt på printern.

För att 'trimma in' nätet måste ofta många beräkningar utföras. En successiv förbättring sker. För att spara papper vore det önskvärt om man kunde lista resultatet på bildskärmen innan utskrift sker. Programmet skulle då skapa en speciell utdatafil med anknytning till den indatafil som användes vid beräkningen.

Vi föreslår därför att två nya subprogram skrivs för att klara av denna funktion (ett för att skapa utdatafilen och ett för att skriva ut densamma på bildskärmen).

5.4 PUMPKURVA SOM RANDVILLKOR.

I många beräkningsfall ingår en pump i nätet. I beräkningsmodellen anges den som en knut med konstant inströmning. Detta är en förenkling av verkligheten, mer realistiskt vore om man kunde ange pumpens karakteristika som indata. Nedan kommer ett förslag om hur detta kan göras.

I beräkningsmetoden ställs energiekvationen upp för alla anslutande ledningar till knuten. För att kunna lösa ut knutens tryckhöjd krävs en ekvation till. Denna fås genom kravet på kontinuitet i knuten. Om även inströmningen till knuten är okänd, krävs ytterligare en ekvation. Här kommer pumpkurvan in i bilden. Om dess ekvation är känd kan tryckhöjden lösas ut.

Vårt förslag är att man anger ett antal punkter på denna kurva som indata, dessutom inom vilket intervall den gäller.

För att beräkna en kurvas ekvation i form av ett polynom behövs (gradtalet + 1) punkter. En pumpkurva liknar normalt en parabel, därför bör tre punkter vara tillräckligt som indata.

Datamässigt är denna förbättring inte speciellt svår att klara av. När programmet kommer till en knut av denna typen så hoppas till en subrutin där ovanstående ekvationssystem löses. Där kontrolleras också att lösningen ligger inom angivet intervall.

5.5 FELUTSKRIFT

När man läser in indata till programmet, är det lätt att göra vissa logiska fel, exempelvis glömma att ange en knut.

När nätet sedan skall beräknas, testas först att inga sådana fel finns. Upptäcker programmet ett sådant fel avbryts beräkningen och programmet hoppar åter till menyn. Sedan har man att gå igenom alla indata för att hitta felet.

En felutskrift på bildskärmen skulle underlätta användningen.

Innan en fil skall beräknas, bör användaren påminnas om att filen först måste lagras om indata skall bevaras.

Vid beräkning av fler filer bör programmet kontrollera att angivna filnamn existerar. I nuvarande version avbryts beräkningen utan någon varning.

5.6 MAXIMALT ANTAL ITERATIONER I EN KNUT.

Som redogjorts för tidigare, kan programmet 'fastna' i en knut utan att konvergens nås.

Beräkningen kan avbrytas genom att trycka på 'P'. Ofta är man dock inte närvarande vid datorn utan sysslar med andra ting.

Det borde finnas en gräns för antalet iterationer i en knut. Överstigs denna gräns avbryts beräkningen och utskrift sker.

Var denna gräns skall dras bör vara beroende på vilken noggrannhet man valt.

Angående val av lämpliga värden hänvisas till programmets skapare Jan Perzon Bikonol.

6. REFERENSER.

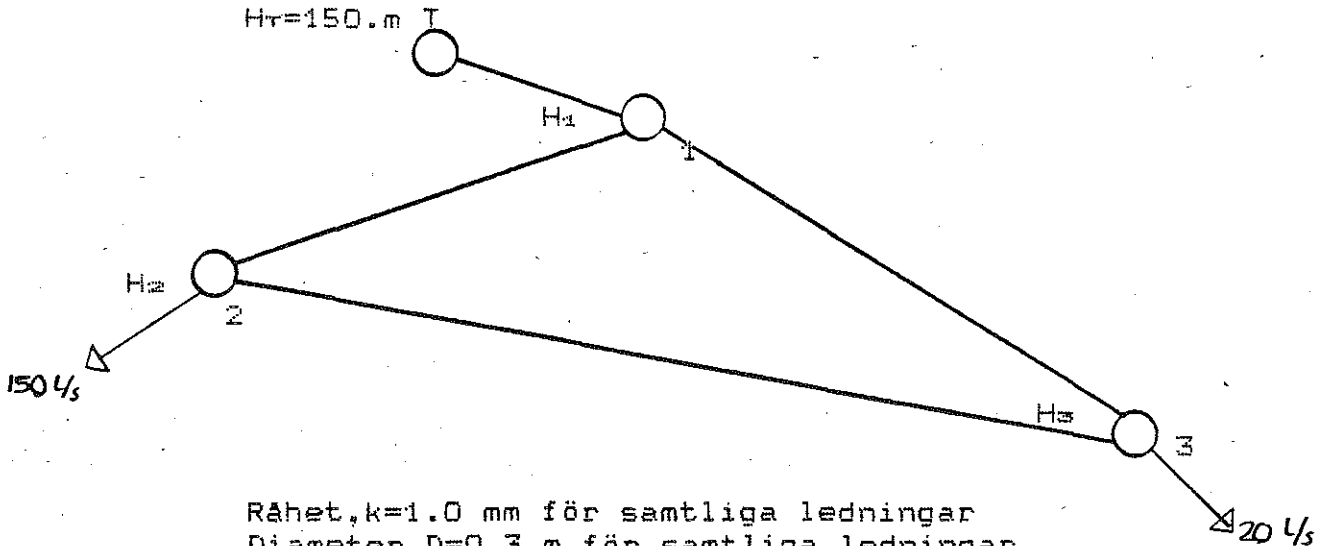
- (1) Klas Cederwall, Peter Larsen 'Hydraulik för Väg och Vatten byggare', Liber Läromedel Malmö 1976.
- (2) Gordon H Flammer, Roland W Jeppson, Hugh F Keedy 'Fundamental principles and applications of fluid mechanics', Utah 1979.
- (3) T Cairney 'Hydraulics for Civil engineering technicians', Longman London 1984.
- (4) Anders Bäckström, Massis Hatemian 'Analys av Åtvidabergs vattenledningsnät', VIAK rapport nr 20 3164-1, Linköping 1985.
- (5) Anders Bäckström, Massis Hatemian 'Manual till programmet V-NÄT', VIAK rapport nr 20 3164-3, Linköping 1985.

TRYCKBALANSMETOD

Numerisk exempel

Syftet med följande handberäkningsexempel är att ge en numerisk illustration av beräkningsgången.

$H_T = 150$ m T



Råhet, $k = 1.0$ mm för samtliga ledningar
 Diameter, $D = 0.3$ m för samtliga ledningar

$$f = (1/2 \text{Log}(3.71D/k))^2 = (1/2 \text{Log}(3.71 \cdot 0.3/0.001))^2 = 0.027$$

$$m = f / (2gD^5) = 0.027 / (2 \cdot 9.81 \cdot 0.3^5) = 0.92$$

Ledningslängder: $L_{T1} = 800$, $L_{12} = 1000$, $L_{13} = 1200$,
 och $L_{32} = 1500$.

Antagna marknivåer: $H_1 = 140$ m., $H_2 = 105$ m., $H_3 = 115$ m.

Friktionförluster: $h_f = mLQ^2$

$$h_f(T1) = 0.92 \cdot 800 Q_{T1}^2 = 735 Q_{T1}^2$$

$$h_f(12) = 918 Q_{12}^2$$

$$h_f(13) = 1102 Q_{13}^2$$

$$h_f(32) = 1377 Q_{32}^2$$

Uttag: 150 l/s , 20 l/s i knut 2 resp 3

Största fel = 1,0 l/s

ITERATION 1knutiteration 1, knutnummer 1

$H_1=140$

Energiekvationer mellan knut nummer 1 och anslutna knutar ger:

$H_1=H_2 + h_f(T1)$

$150=140 + 735(Q_{T1})^2$

$Q_{T1}=116 \text{ l/s}$

$H_1=H_2 + h_f(12)$

$140=105 + 918(Q_{12})^2$

$Q_{12}=-195 \text{ l/s}$

(utgående flöde)

$H_1=H_3 + h_f(13)$

$140=115 + 1102(Q_{13})^2$

$Q_{13}=-151 \text{ l/s}$

Kontinuitet i knut nummer 1 ger:

$Q_{T1}+Q_{12}+Q_{13}=116-195-151=-230 \text{ l/s} \dots\dots dQ$

$dH=2dQ/(SumQ/H)$

Där Q är flöden; Q_{T1} , Q_{12} och Q_{13} .H är friktionförluster; H_1-H_2 , H_1-H_3 och H_1-H_3 .

$dH=-19,8$

dvs (1) $H_1=H_1-19,8=140-19,8=120,18 \text{ m}$.

(1) H_1 är första iteration av knutnummer 1.Knutiteration 2.(1) $H_1=120,18$ Energiekvationen, med det nya värdet, ger:

$150-120,18=735(Q_{T1})^2$,

$Q_{T1}=201 \text{ l/s}$

$120,8-105=918(Q_{12})^2$,

$Q_{12}=-129 \text{ l/s}$

$120,8-115=1102(Q_{13})^2$,

$Q_{13}=-69 \text{ l/s}$

$dQ=3 \text{ l/s}$

$dH=0,21$

dvs (2) $H_1=120,8+0,21=120,39$

Knutiteration 3,

BILAGA 1 sid 3

$$(2) H_1 = 120,39$$

$$H_{r1} = 29,61$$

$$H_{12} = 15,39$$

$$H_{13} = 5,39$$

$$Q_{r1} = 200 \text{ l/s}$$

$$Q_{12} = -129 \text{ l/s}$$

$$Q_{13} = -70 \text{ l/s}$$

$$dQ = 1 \text{ l/s}$$

$$dH = 0,07 \text{ m.}$$

$$(3) H_1 = 120,39 + 0,07 = \underline{120,46 \text{ m.}}$$

Knutiteration 1,

Knutnummer 2

$$H_2 = 105 \text{ m.}$$

$$H_{12} = (3) H_1 - H_2 = 120,46 - 105 = 15,46$$

$$H_{23} = H_3 - H_2 = 115 - 105 = 10 \text{ m.}$$

$$Q_{12} = 129$$

$$Q_{23} = 85$$

$$\underline{\text{uttag} = -150}$$

$$dQ = 64 \text{ l/s}$$

$$dH = 1,58 \text{ m.}$$

$$(1) H_2 = 105 + 7,58 = 112,58$$

Knutiteration 2

$$H_{12} = 7,88$$

$$H_{23} = 2,42$$

$$Q_{12} = 92$$

$$Q_{23} = 42$$

$$\underline{\text{uttag} = -150}$$

$$dQ = -16 \text{ l/s}$$

$$dH = -1,10 \text{ m.}$$

$$(2) H_2 = 111,48 \text{ m.}$$

Knutiteration 3

$$H_{12} = 8,98$$

$$H_{23} = 3,52$$

$$Q_{12} = 99$$

$$Q_{23} = 51$$

$$\underline{\text{uttag} = -150}$$

$$dQ = 0 \text{ l/s}$$

$$dH = 0,00$$

$$(3) H_2 = \underline{111,48 \text{ m.}}$$

Knutiteration 1,

knutnummer 3

$$H_3 = 115 \text{ m.}$$

$$H_{13} = 5,46$$

$$H_{23} = 3,52$$

$$Q_{13} = 70$$

$$Q_{23} = -51$$

$$\underline{\text{uttag} = -20}$$

$$dQ = -1 \text{ l/s}$$

dH=-0,073

BILAGA 1 sid 4

(1) $H_3 = 115 - 0,073 = 114,927$ m.

ITERATION 2

Knutiteration 1, Knutnummer 1

$H_1 = 120,46$

$H_{r1} = 29,54$

$H_{12} = 8,98$

$H_{13} = 5,53$

$Q_{r1} = 200$

$Q_{12} = -99$

$Q_{13} = -71$

$dQ = 30$ l/s

dH=2,00m.

(1) $H_1 = 120,46 + 2,00 = 122,46$

Knutiteration 2

$H_{r1} = 27,53$

$H_{12} = 10,99$

$H_{13} = 7,54$

$Q_{r1} = 193$

$Q_{12} = -109$

$Q_{13} = -83$

$dQ = 1$ l/s

dH=0,08m.

(2) $H_1 = 122,46 + 0,08 = 122,54$

Knutiteration 1, Knutnummer 2

$H_2 = 111,48$

$H_{12} = 11,07$

$H_{32} = 3,45$

$Q_{12} = 109$

$Q_{32} = 50$

$utt_{12} = -150$

$dQ = 9$ l/s

dH=0,81

(1) $H_2 = 111,48 + 0,81 = 112,29$

Knutiteration 2

$H_{12} = 10,25$

$H_{32} = 2,63$

$Q_{12} = 106$

$Q_{32} = 44$

$utt_{12} = -150$

$dQ = 0$ l/s

dH=0,00m.

(2) $H_2 = 112,30$ m.

Knutiteration 1, knutnummer 3

$H_3=114,93$

BILAGA 1 sid 5

$H_{13}=7,61$

$Q_{13}=83$

$H_{32}=2,67$

$Q_{32}=-44$

uttag=-20

$dQ=19 \text{ l/s}$

$dH=1,39$

(1) $H_3=114,93+1,39=116,32$

Knutiteration 2

$H_{13}=6,22$

$Q_{13}=75$

$H_{32}=4,06$

$Q_{32}=-54$

uttag=-20

$dQ=1 \text{ l/s}$

$dH=0,079$

(2) $H_3=116,32+0,08=116,40$

ITERATION 3

Efter 3 steg knutiteration fås

(3) $H_1=123,41\text{m.}$

_____, 2 _____, _____

(2) $H_2=113,47\text{m.}$

_____, 2 _____, _____

(2) $H_3=117,43\text{m.}$

ITERATION 4

(3) $H_1=124,63\text{m.}$

(2) $H_2=114,38\text{m.}$

(2) $H_3=118,49\text{m.}$

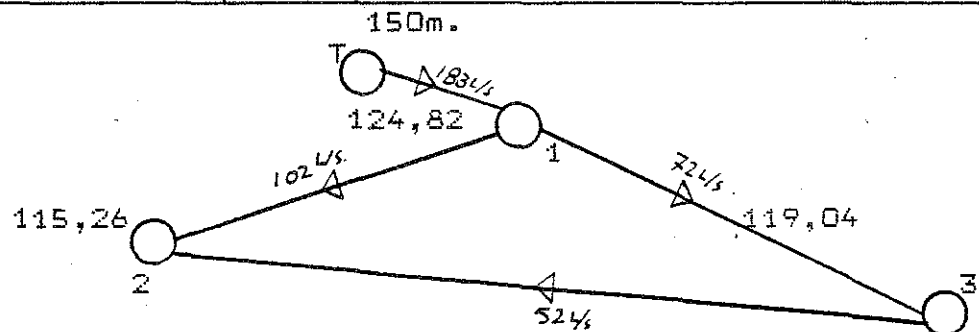
ITERATION 5

(2) $H_1=124,82\text{m.}$

(3) $H_2=115,26\text{m.}$

(2) $H_3=119,04\text{m.}$

Flödesfördelning och fel i kontinuitet efter 5 ITERATION



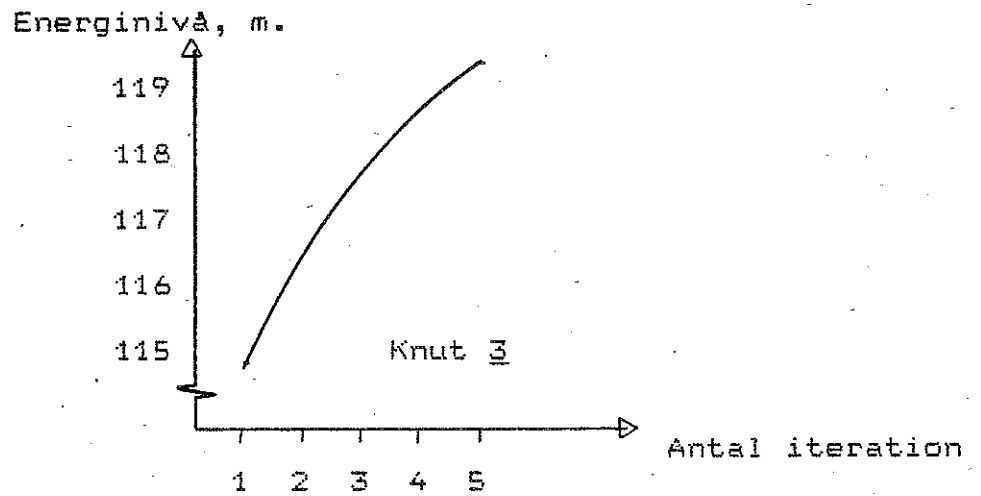
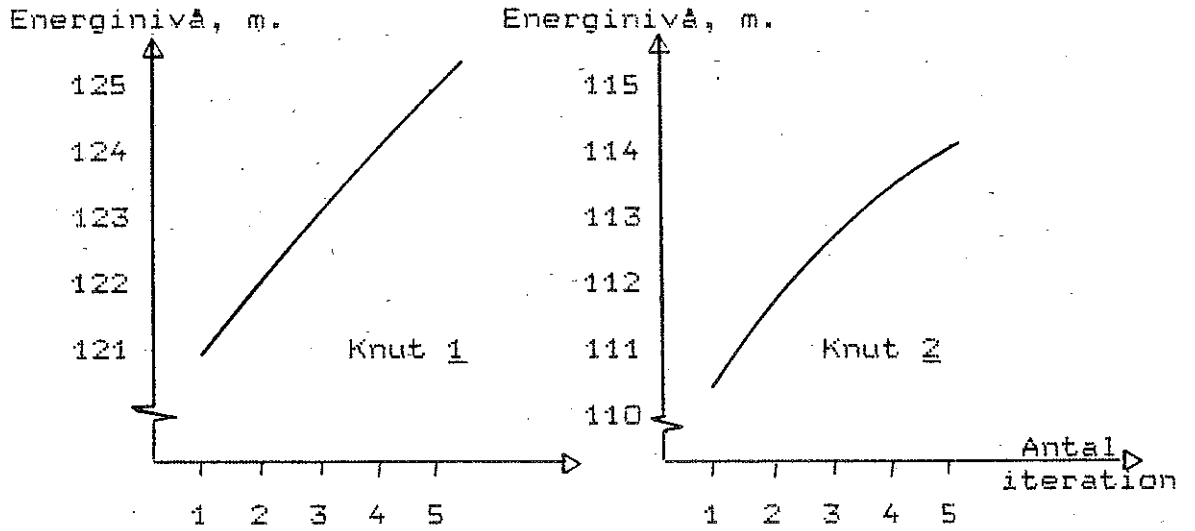
Fel i knutnummer 1 är $183-102-72=9$ l/s

Fel i knutnummer 2 är $102+52-150=4$ l/s

Fel i knutnummer 3 är $72-52-20=0$ l/s

Iterationen fortsätter tills största fel i alla knutar understiger 1,0 l/s.

Figurerna nedan visar trycknivåvariationer av knutar map antalet iterationer.



ITERATIONSTIDEN SOM FUNKTION AV ANTAL LEDNINGAR.

Antal ledningarna	Antal knutar	Tid för en iteration (sek)	Tids- differens (sek)	Tid per ledning (sek)
7	6	11		
			5	1,2
12	6	17		
			2	1,5
14	6	20		
			7	1,4
21	6	30		
24	20	39		
			10	1,5
34	20	54		
			14	1,3
48	20	72		
			10	1,3
58	20	85		
			10	1,4
68	20	99		

Medelvärde = 1,4 sek/ledning

BERÄKNINGSTID SOM FUNKTION AV RÅHET OCH MAXFEL I KNUT.

Antal ledningar	! Antal ! knutar	! Maxfel ! (1/s)	! Råhet ! (mm)	! Totaltid ! (tim,min,sek)
7	! 6	! 0,1	! 1	! 00.00.55
7	! 6	! 0,1	! 3	! 00.00.34
7	! 6	! 0,5	! 3	! 00.00.14
24	! 20	! 0,1	! 1	! 00.05.21
24	! 20	! 0,1	! 3	! 00.03.23
24	! 20	! 0,5	! 3	! 00.02.45
131	! 82	! 0,1	! 1	! 02.24.12
131	! 82	! 0,05	! 1	! 02.50.56

BERÄKNINGSFEL.

Antal ledningar	! Antal ! knutar	! Summa ut- ! tag (1/s)	! Maxfel i ! knut (1/s)	! Summa fel ! (1/s)	! Summa (ABS- ! fel) (1/s)
7	! 6	! 13	! 0,1	! 0,2	! 0,2
7	! 6	! 13	! 0,5	! 0,0	! 0,0
24	! 20	! 32	! 0,1	! 0,2	! 0,4
24	! 20	! 32	! 0,5	! 1,0	! 1,1
136	! 83	! 45	! 0,1	! 0,6	! 3,0
136	! 83	! 58	! 0,1	! 0,4	! 2,7
138	! 84	! 86	! 0,1	! 0,2	! 2,6

anm uttag (+),inströmning (-)

MANUAL TILL

V-NÄT

DATORPROGRAM FÖR BERÄKNING
AV VATTENLEDNINGSNÄT.

20 3164-3

Linköping 1985-08-30

Examensarbete

Institutionen för Vattenbyggnad

CTH Göteborg

VIAK AB Linköping

Handledare:

Viktor Arnell VIAK AB

Tage Johansson VIAK AB

Steffen Häggström CTH

Utfört av:

Anders Bäckström 4-82-0886

Massis Hatemian 4-82-2307

FÖRORD

I denna skrift presenteras datorprogrammet V-NAT. Programmet är avsett för dimensionering eller analys av vattenledningsnät. Beräkningen förutsätter turbulent flöde ($Re > 4000$).

Det har gjorts så att det skall passa en persondator med tillhörande kringutrustning.

Programmet är utvecklat av Jan Perzon Bikonol konsult AB. För försäljning svarar Tomas Asp VIAK AB Göteborg.

Linköping 31-08-1985

Anders Bäckström

Massis Hatemian

INNEHÅLLSFÖRTECKNING.

	TEXT	SID
1.	ALLMANT	1
2.	BERÄKNINGSMODELL	2
3.	BERÄKNINGSMETOD	3
4.	PROGRAMBEGRÄNSNINGAR	4
5.	PROGRAMMETS UPPBYGGNAD	5
6.	ANVANDARBESKRIVNING	6
6.1	Indata och beräkning	6-9
6.2	Resultatutskrift	10
6.3	Tips vid användningen	10-13
7.	BERÄKNINGSEXEMPEL	13-16
8.	REFERENSER	17

1. ALLMÄNT.

Detta program är avsett för att beräkna tryck och flödesfördelningen i vattenledningsnät.

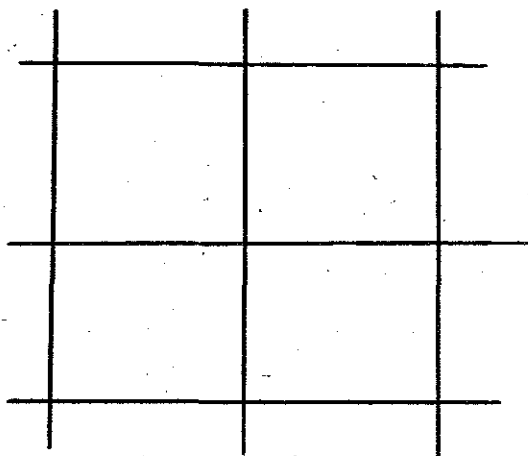
Ett vattenledningsnät kan utformas antingen som ett förgreningsnät eller som ett cirkulationsnät, se fig 1.

Normalt utformas större ledningsnät som cirkulationsnät, i detta förekommer dock ofta förgreningar, särskilt i nätets ytterkanter.

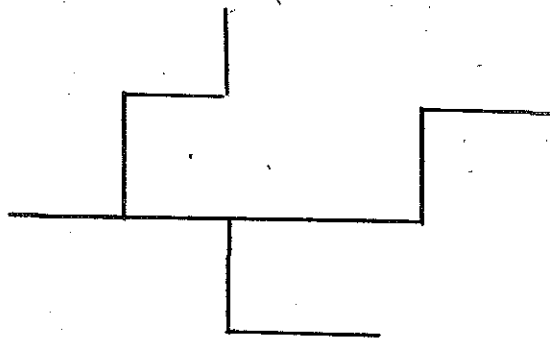
Beräkningsmässigt är cirkulationsnätet i motsats till förgreningsnätet hydrauliskt obestämt, och därmed komplicerat att analysera.

Datorprogrammet klarar av alla kombinationer av dessa två typer.

a.



b.



Figur 1. Olika typer av vattenledningsnät.

a. Cirkulationsnät

b. Förgreningsnät

2. BERÄKNINGSMODELL.

Vattenledningsnätet beskrivs med knutpunkter och ledningar mellan knutpunkter. Knutpunkterna numreras godtyckligt med heltal 0-999. Ett obegränsat antal ledningar kan ansluta till varje knutpunkt. Således kan man använda sig av parallella ledningar mellan två knutar. Förbrukningar i nätet anges som uttag (+) i knutarna. Inpumpat vatten anges som en inströmning (-) i en knut, flera pumpar kan användas.

Minst en knut måste ha en känd trycknivå, i programmet benämns dessa knutar 'torn'. I nätet får flera torn finnas, dessa motsvarar hydrauliskt sett reservoarer med känd vattennivå. Flera ledningar kan ansluta till ett torn. Beroende på vattenmängden i nätet kan antingen tornen avtappas eller påfyllas. Trycknivån i tornet är dock hela tiden konstant.

3. BERÄKNINGSMETOD, se (1).

Programmet använder sig av en iterativ tryckbalansmetod. Randvillkoren är de i föregående kapitlet omtalade tornen. För att lösa ut trycken i varje knut används Newton Raphsons metod.

Iterationen sker sedan med en stegmetod där trycken i omgivande knutar anses vara kända. Alla knutar får på detta sätt en trycknivå. När nätet genomräknats en gång återkommer man till startknuten och en ny beräkning sker, förmodligen får man då ett annat tryck. Nätet genomräknas på detta sätt ett flertal gånger. För att påskynda konvergensen används påskjutande faktorer på trycken. När skillnaden mellan in- och utströmning understiger ett givet värde i alla knutar avbryts iterationen.

Beräkning av ledningarnas friktionsförluster sker enligt allmänna friktionsformeln.

$$h_f = (f \cdot L / d) \cdot U^2 / 2g = m \cdot L \cdot Q^2$$

$$m = f / (d \cdot A^2) 2g$$

$$f = (1/21 \log(3,71 \cdot d/k))^2$$

h_f = Friktionsförlust (m vp)

L = Ledningens längd (m)

d = Ledningens inre diameter (m)

g = Tyngdaccelerationen (m/s²)

Q = Flöde i ledningen (m³/s)

A = Ledningens inre area (m²)

k = Ledningens ekvivalenta sandråhet (m)

Hänsyn till tilläggsförluster kan tas genom att öka k med 5-10 % .

4. PROGRAMBEGRÄNSNINGAR.

Nätet får innehålla upp till 300 ledningar och 200 knutar.
Detta gäller en 32 kbyte's dator.

Programmet är avsett för en Luxor persondator (ABC 80,806),
men kan med små förändringar passa andra typer av person-
datorer, se respektive dators manual.

Ingen tids-simulering, beräkningarna sker för 'ögonblicksvär-
den'.

Pumpar anges som en konstant inströmning oberoende av trycket
i knuten.

Varken tryckreducerings eller backventiler kan generellt
simuleras.

5. PROGRAMMETS UPPBYGGNAD.

Programmet består av fem subprogram. Dessa är:

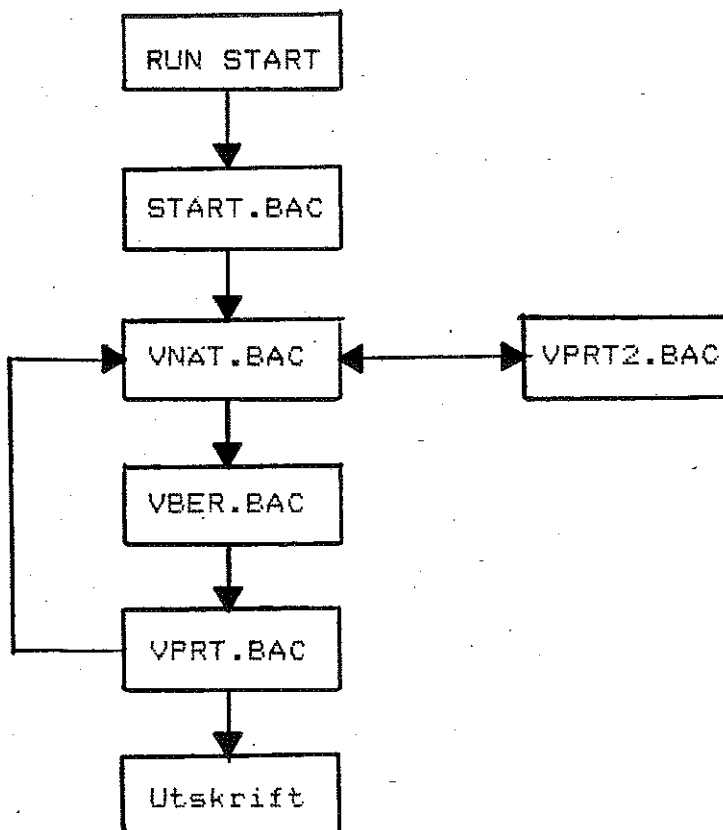
START.BAC Sätter bl a printer option. Om man vill byta enhet på flöde och rähret, så kan man göra det här.

VNAT.BAC Tar emot och redigerar indata.

VPRT2.BAC Listar indata på bildskärm eller printer.

VBER.BAC Beräkningsprogram, listskyddat.

VPRT.BAC Skriver ut resultatet på printer.



Figur 2. Flödesschema

6. ANVÄNDARBESKRIVNING.

Programmet startas med RUN START, användaren får svara på frågor om datum, filnamn och ledtext till filnamn. För en Luxor 806 gäller att filnamnet får bestå av maximalt åtta bokstäver/siffror, varav det första tecknet måste vara en bokstav. Texten kan bestå av maximalt 20 tecken och är till för att man lättare skall minnas innehållet i filen. Texten kan utelämnas. Efter en kort stund kommer en meny upp på bildskärmen.

6.1 INDATA OCH BERÄKNING

Vid nya nät måste ledningar och knutar först definieras, detta görs under rubrikerna 1 och 2.

1. NYA LEDNINGAR

Svara på frågorna, för att komma ur 'snurran' tryck RETURN.

2. NYA KNUTAR

Svara på frågorna, knutens nivå kan t ex vara nivå vattengång eller markytans nivå. Uppgiften kan utelämnas, då sätts nivån till noll.

Plustecken behövs inte skrivas ut vid uttag. Om knuten är ett torn så ange 'T'. Om man satte 'nivå knut' till noll så blir 'nivå torn' trycknivån i tornet.

3. ÄNDRA LEDNINGAR

Om ledningarna behöver ändras kan man göra detta här. Först visas de lagrade värdena.

Värden som inte skall ändras behöver inte skrivas ut.

4. ÄNDRA KNUTAR

Här kan man ändra knutar, främst nummer och nivå. Om man bara vill ändra uttag så går 6 fortare. Skall en knut bli torn eller tvärtom, måste knuten först tas bort och sedan läggas till under 2.

5. ÄNDRA UTTAG MED FAKTOR

Först visas vattenbalansen upp, lägg märke till att här är uttagen negativa och sorterna i m^3/s . 'Bristen' motsvarar in/utströmning till/från tornen, dvs negativ brist är en avtappning från tornen. Uttagen kan ändras med en faktor, detta är smidigt när man skall beräkna olika fall, t ex maxdygn. Om inte inströmningen skall ändras, skriv 1,0. Vill man bara kontrollera uttagen och inströmningen kan man trycka RETURN på första frågan.

6. ÄNDRA UTTAG

Om man bara vill ändra uttaget/inströmningen i en enstaka knut gör man lämpligen det här.

7. LISTA INDATA

När man är klar med sitt nät, vill man kanske kontrollera att angivna indata stämmer. Man kan lista indata antingen på bildskärmen eller på printern.

8. LAGRA DATA

Vill man lagra indatafilen på flexskiva för flera/senare beräkningar gör man det här. Första gången man lagrar filen måste man ange filnamnet. När man senare ändrar i filen och vill lagra den senaste versionen kommer det gamla filnamnet upp som förslag. Vill man lagra den under ett annat namn går

det också bra. Skriver man ingen text lagras den gamla texten.

9. BERÄKNING

Kom ihåg att indatafilen först måste lagras om den skall finnas kvar efter beräkningen.

Man kan beräkna upp till fem olika fall i en följd. Detta gör det möjligt att utnyttja datorn för beräkningar nattetid. Se till så att du skriver rätt filnamn för filerna 2-5, om man exempelvis stavar fel, så avbryts beräkningarna när datorn skall hämta filen och inte hittar den.

Noggrannheten i beräkningarna anger man som ett maximalt tillåtet fel mellan in och utströmning i en knut. Lämpliga värden är beroende av beräkningens syfte, en noggrannare beräkning tar längre tid. Rekommenderade värden är 0,1 - 1,0 1/s.

När beräkningen startat bör man vara kvar under första iterationen. Programmet går då igenom indata för att se om det finns några logiska fel, t ex glömda knutar. Upptäcks ett sådant fel avbryts beräkningen och menyn visas åter upp. Vid beräkning i en följd och ett fel upptäcks i, säg fil nr 2, fortsätter beräkningen med fil nr 3.

Efter varje iteration visas följande upp:

Det knutnummer som har största felet.
Felets storlek (m^3/s)
Beräkningstid (tim, min, sek)

Om beräkningen inte konvergerar kan man avbryta genom att trycka på 'P', utskrift sker då efter nästa iteration.

0. Nedkoppling av programmet.

När beräkningen är färdig och utskrift har skett återgår programmet till 'ange filnamn'. Där står då namnet på den senaste beräknade filen. Om man vill koppla ned programmet skriver man 'slut'. Man behöver dock inte beräkna filen för att koppla ned programmet, samma sak händer om man anger 0.

6.2 RESULTATUTSKRIFT

När beräkningen är klar skrivs resultatet ut på en printer. För att styra utskriftens utseende finns en printer option i subprogrammet START.BAC, denna måste stämma med inställningen på printern, se respektive dators och printers bruksanvisning.

Utskriften består av två delar benämnda 'Ledningar' och 'Knutar'. Under 'Ledningar' skrivs bl a flöden och tryckförluster ut. Teckenregeln är att flöden 'Från knut nr' till 'Till knut nr' räknas som positiva. Under 'Knutar' skrivs bl a tryckhöjd och tryck ut. Det senare är tryckhöjden minus knutens nivå.

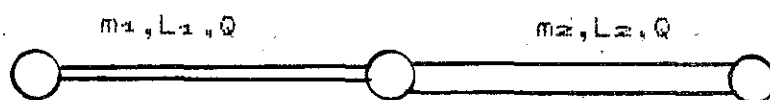
6.3 TIPS VID ANVÄNDNINGEN

Beräkningstid, se (1)

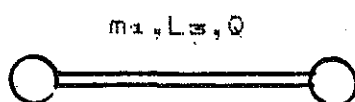
För att få en kort beräkningstid måste ofta nätet 'trimmas in', detta sker genom att successivt förenkla nätet. Beräkningstiden är beroende på nätets storlek, antalet torn och vald noggrannhet, men också på nätets hydrauliska egenskaper.

Man kan enkelt säga att ju större tryckförluster ju kortare beräkningstid. Regeln är alltså att plocka bort ledningar med små tryckförluster. Var gränsen går är beroende på vilken noggrannhet man vill ha. Om man är intresserad av flödesfördelningen så bör bara ledningar med små flöden och små tryckförluster plockas bort.

Har man en ledning som bara ändrar dimension, så är det onödigt att föra in en knut till. Bättre är att göra om den till en ledning med samma diameter. Ledningen ges då en fiktiv längd som motsvarar tryckförlusten i den verkliga, se fig 3.



Verkliga ledningar $h_x = Q^2((m*L)_1 + (m*L)_2)$

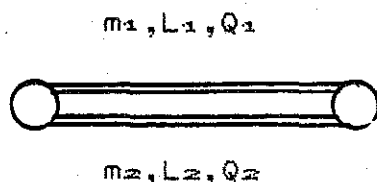


Fiktiv ledning $h_x = Q^2 * m_3 * L_3$

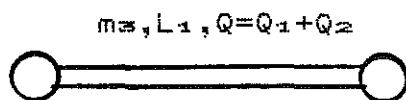
$$L_3 = ((m*L)_1 + (m*L)_2) / m_3$$

Figur 3. Sammanslagning av seriekopplade ledningar.

För att minska beräkningstiden kan parallella ledningar slås samman till en fiktiv ledning, se fig 4.



Verkliga ledningar $h_x = (m*L*Q^2)_1 = (m*L*Q^2)_2$



Fiktiv ledning $h_x = m_3 * L_1 * (Q_1 + Q_2)^2$

$$m_3 = (m*Q^2)_1 / (Q_1 + Q_2)^2$$

Figur 4. Sammanslagning av parallella ledningar.

Pumpning mot stumt nät.

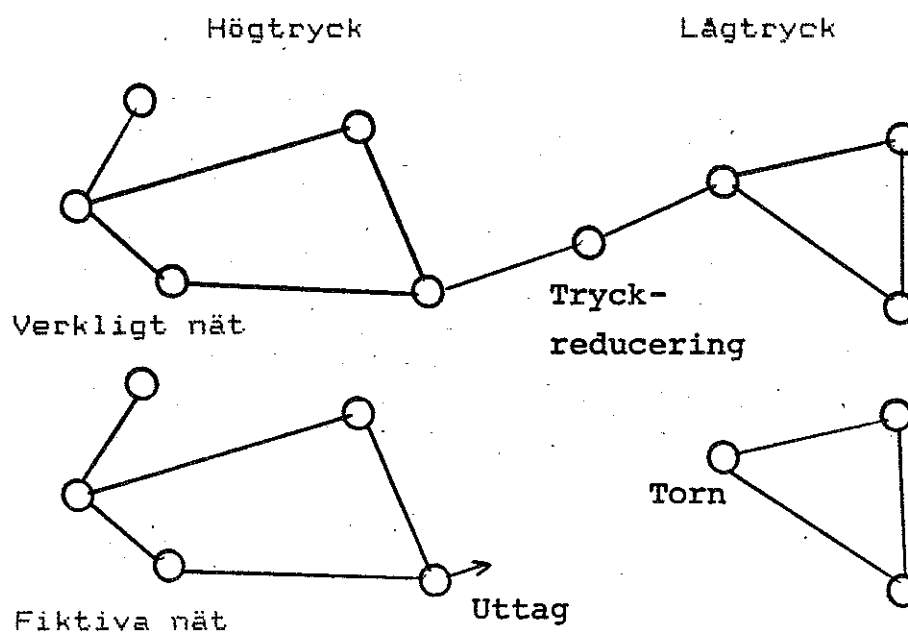
Om man inte har någon reservoar i sitt nät kallas nätet stumt. Beräkningsmetoden kräver dock att minst ett torn finns i nätet.

Simulera pumpen som ett torn med uppföringshöjden som trycknivå. Resultatet blir detsamma.

Om man har flera pumpar måste man passningsräkna tills trycknivån och flödet stämmer med pumpkurvorna.

Tryckreduceringsventil.

Om man har ett högtrycks nät och ett lågtrycks nät förbundet med en ledning med tryckreduceringsventil, är det bara att dela upp nätet i två. I högtrycksnätet ansätts lågtrycksnätets förbrukning som ett uttag i anslutande knut. I lågtrycksnätet ansätts anslutande knut som ett torn. Trycknivån blir därvid ventilens lågtryck minskat med friktionsförluster, se fig 5.



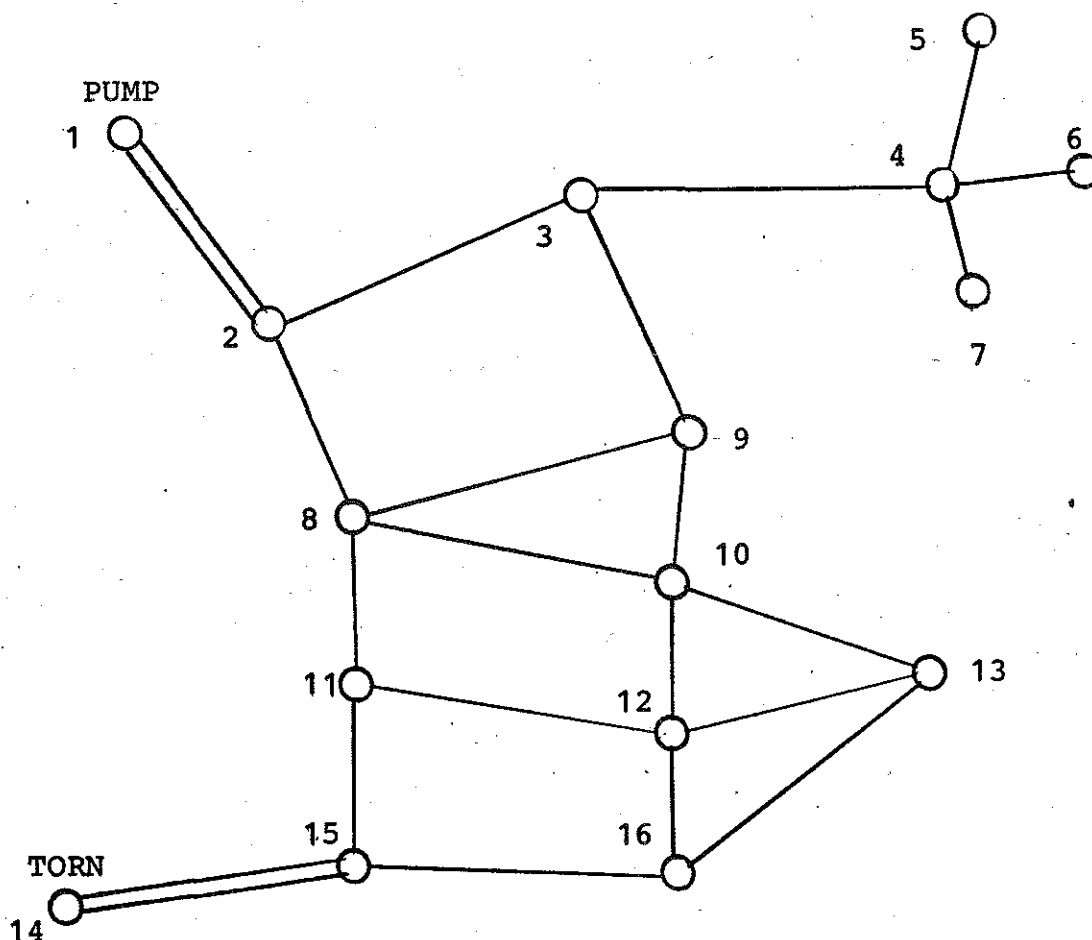
Figur 5. Nät med tryckreduceringsventil.

Pump med backventil 'inne' i ett nät.

Fallet kan sägas vara det omvända till tryckreducering. Följaktligen gör man på samma sätt, uttaget blir nu i lågtrycksnätet och tornet i högtrycksnätet. Tornets trycknivå blir nu pumpens uppfodringshöjd.

7. DEMONSTRATIONSEXEMPEL.

Nedan ges ett exempel på ett kombinerat cirkulationsnät och förgreningsnät. I nätet ingår en pump och en högreservoar. Nätet omfattar 23 ledningar och 16 knutar. Knutarna numreras enligt figur 6. Övriga indata framgår av bifogad utskrift.



Figur 6. Exempel på vattenledningsnät

På följande sidor visas en indatautskrift samt en resultatutskrift för exemplet. Varje iteration tog 36 sek och beräkningstiden var 185 sek, alltså fem iterationer. Nätet kan nog sägas vara rätt bra balanserat.

VIAK AB - BERÄKNING AV VATTENLEDNINGSNÄT

Data lagrat i fil : DRI:EXEMPEL

Datum : 85-09-02

BERÄKNINGSEXEMPEL

LEDNINGAR. INDATA

FRÅN KNUT	TILL KNUT	LÄNGD m	DIAM m	RAHET mm
1	2	500.0	0.2000	1.0000
1	2	500.0	0.1000	1.0000
2	3	500.0	0.2000	1.0000
3	4	500.0	0.2000	1.0000
4	5	200.0	0.1500	1.0000
4	6	150.0	0.1000	1.0000
4	7	100.0	0.1000	1.0000
2	8	300.0	0.2000	1.0000
3	9	400.0	0.2000	1.0000
8	9	400.0	0.1500	1.0000
8	10	350.0	0.1500	1.0000
9	10	150.0	0.1500	1.0000
8	11	200.0	0.1000	1.0000
10	12	200.0	0.1000	1.0000
11	12	350.0	0.1000	1.0000
10	13	300.0	0.1000	1.0000
12	13	200.0	0.1000	1.0000
11	15	250.0	0.1000	1.0000
12	16	100.0	0.1000	1.0000
14	15	300.0	0.1500	1.0000
14	15	400.0	0.1000	1.0000
15	16	350.0	0.1500	1.0000
13	16	300.0	0.1000	1.0000

KNUTAR. INDATA

KNUT NR	NIVA KNUT	NIVA TRYCK	UTTAG (l/s)	INSTR (l/s)	ANM
1	48.00			15.0	PUMP
2	48.50		0.0		
3	50.00		1.0		
4	52.00		0.0		
5	53.00		5.0		
6	52.50		2.0		
7	51.00		1.5		
8	48.80		2.5		
9	49.00		3.0		
10	49.30		3.0		
11	47.90		1.0		
12	48.00		0.5		
13	50.50		6.0		
14	53.00	100.00			TORN
15	51.00		0.5		
16	48.00		1.5		

BERÄKNINGSFÖRUTSÄTTNINGAR

Beräkningstid: 00.03.05

23 LEDNINGAR
 16 KNUTAR
 0.1 MAX.FEL (1/s) I KNUT
 0.0 STÖRSTA FEL (1/s) I KNUT NR 1

LEDNINGAR

FRAN KNUT	TILL KNUT	LÅNGD m	DIAM m	RÅHET mm	FLÖDE 1/s	TRYCK m	TRYCK m	FÖRLUST mvp
1	2	500	0.2000	1.0000	13.0	98.4	97.7	0.7
1	2	500	0.1000	1.0000	2.0	98.4	97.7	0.7
2	3	500	0.2000	1.0000	8.1	97.7	97.5	0.3
3	4	500	0.2000	1.0000	8.5	97.5	97.2	0.3
4	5	200	0.1500	1.0000	5.0	97.2	97.0	0.2
4	6	150	0.1000	1.0000	2.0	97.2	97.0	0.2
4	7	100	0.1000	1.0000	1.5	97.2	97.1	0.1
2	8	300	0.2000	1.0000	6.9	97.7	97.6	0.1
3	9	400	0.2000	1.0000	-1.4	97.5	97.5	0.0
8	9	400	0.1500	1.0000	3.1	97.6	97.5	0.1
8	10	350	0.1500	1.0000	3.2	97.6	97.5	0.1
9	10	150	0.1500	1.0000	-1.3	97.5	97.5	0.0
8	11	200	0.1000	1.0000	-1.9	97.6	97.8	-0.2
10	12	200	0.1000	1.0000	-2.0	97.5	97.7	-0.2
11	12	350	0.1000	1.0000	1.0	97.8	97.7	0.1
10	13	300	0.1000	1.0000	0.9	97.5	97.4	0.1
12	13	200	0.1000	1.0000	2.3	97.7	97.4	0.3
11	15	250	0.1000	1.0000	-3.8	97.8	99.0	-1.2
12	16	100	0.1000	1.0000	-3.7	97.7	98.2	-0.4
14	15	300	0.1500	1.0000	9.6	100.0	99.0	1.0
14	15	400	0.1000	1.0000	2.8	100.0	99.0	1.0
15	16	350	0.1500	1.0000	8.1	99.0	98.2	0.8
13	16	300	0.1000	1.0000	-2.8	97.4	98.2	-0.8

KNUTAR

KNUT NR	NIVA LEDN	NIVA TRYCK	TRYCK HÖJD	UTTAG 1/s	INSTR 1/s	ANM
1	48.0	98.4	50.4		15.0	PUMP
2	48.5	97.7	49.2	0.0		
3	50.0	97.5	47.5	1.0		
4	52.0	97.2	45.2	0.0		
5	53.0	97.0	44.0	5.0		
6	52.5	97.0	44.5	2.0		
7	51.0	97.1	46.1	1.5		
8	48.8	97.6	48.8	2.5		
9	49.0	97.5	48.5	3.0		
10	49.3	97.5	48.2	3.0		
11	47.9	97.8	49.9	1.0		
12	48.0	97.7	49.7	0.5		
13	50.5	97.4	46.9	6.0		
14	53.0	100.0	47.0		12.4	TORN
15	51.0	99.0	48.0	0.5		
16	48.0	98.2	50.2	1.5		

7. REFERENSER.

- (1) Anders Bäckström, Massis Hatemian V-NAT VIAK rapport nr 20 3164-2, Linköping 1985.