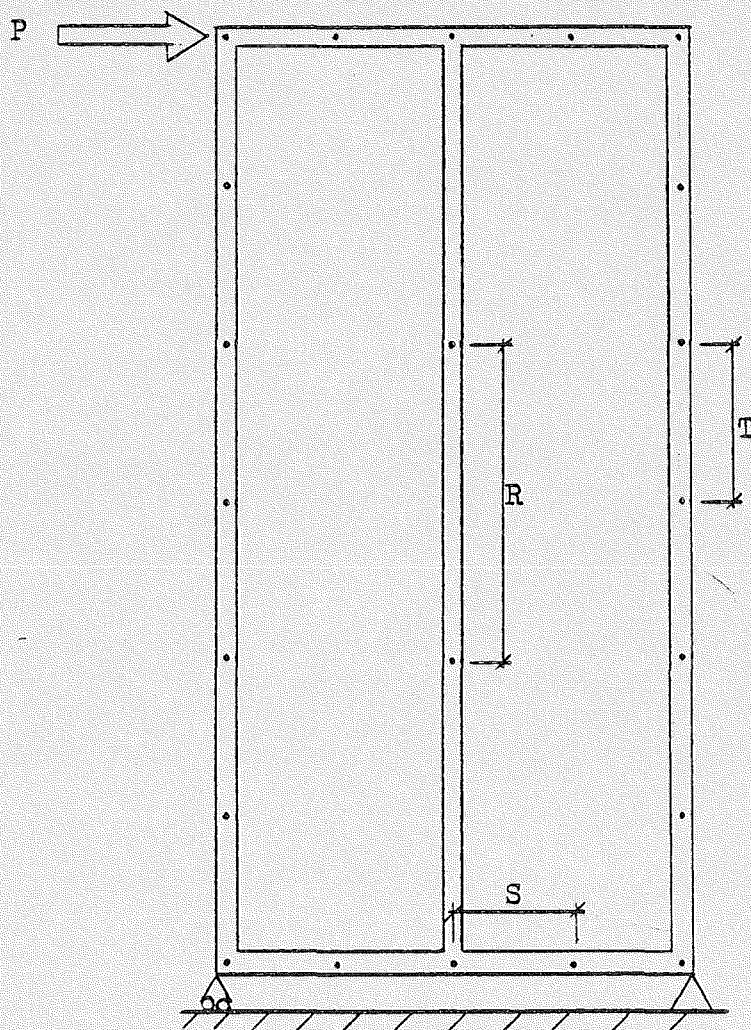


BÄRANDE KONSTRUKTIONER

TEKNISKA HÖGSKOLAN I LUND
BOX 725, 220 07 LUND
TELEFON: 046/107000

Sture

MODELLERING AV SKIVOR PÅ REGELSTOMME



Examensarbete utfört av: Göran Nilsson
Handledare: Sture Åkerlund

TVBK-5033

FÖRORD

Detta examensarbete har pågått under tiden jan-juli 1984.
Jag vill också passa på att tacka förutom min handledare, Sture Åkerlund, främst Ola Dahlbom men också Karl-Gunnar Olsson, Anders Peterson och Hans Petersen vid avdelningen för Byggnadsmekanik för all hjälp jag har erhållit.

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

Syfte	1
Sammanfattning	2
FEM-modellering	3
Genomförande	4
Indata	8
Resultat	9
Spikad ram	11
Jämförelse med tidigare utförd FEM beräkning	12
Nodnumrering, fästonskrafter och förskjutningar . . .	BILAGA

SYFTE

Syftet med detta examensarbete har varit att utreda huruvida den av Sture Åkerlund utarbetade beräkningsmodellen för skivor på regelstomme* stämmer överens med verkliga konstruktioner. Dessa konstruktioner har simulerats med hjälp av Finita Element Metoden.

* Finns presenterad i Bygg & teknik 1/84.

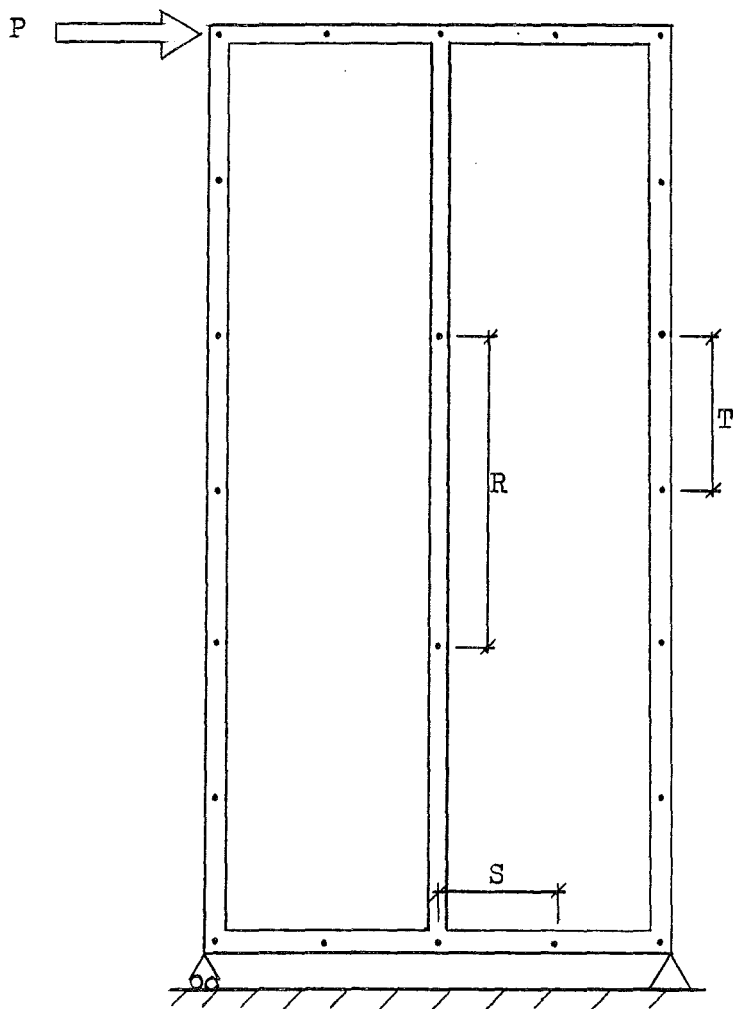


Fig. 1 Modell av konstruktionen med definition av beteckningar.

SAMMANFATTNING

Som väntat visar det sig att regelkonstruktionen är för vek för att kunna uppfylla beräkningsmodellens förutsättning om helt stela element. En uppstyvning av konstruktionen vid FEM beräkningarna ger en nästan exakt överensstämmelse med beräkningsmodellens resultat.

FEM-MODELLERING

Första idén till FEM-modellering var att försöka approximera fästdonen med att "smeta ut" dem till ett elastiskt element. Detta element placerades mellan ram och skiva.

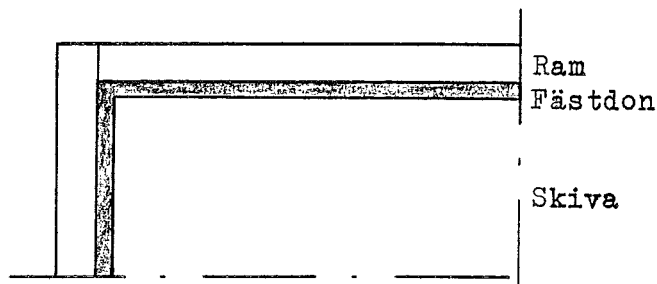


Fig. 2 Modellering till GENFEM-S.

En körning utfördes med hjälp av GENFEM-S, ett FEM program som finns på Chalmers, av en konstruktion som saknade mittregel. Körningen gjordes av Sture Åkerlund och gav hyfsat resultat jämfört med beräkningsmodellen.

Idén var nu att genom substrukturering, kopplar ihop två mot varandra vinkelräta element, koppla på en mittregel på konstruktionen. Körningen gjordes via SUNET-nätet med vars hjälp man kunde komma in på Göteborgs Datacentral och få tillgång till GENFEM-S. Idén höll dock inte eftersom mittregeln bör betraktas som ett balk-element, vilka saknas i GENFEM-S.

Efter konsultation med avd. för Byggnadsmekanik framkom en ny idé till FEM-modellering, denna gång med hjälp av CALFEM. Denna nya idé gick ut på att varje fästdon representerades av en vertikal och en horisontell fjäder, som sedan knöt ihop skivan och ramen.

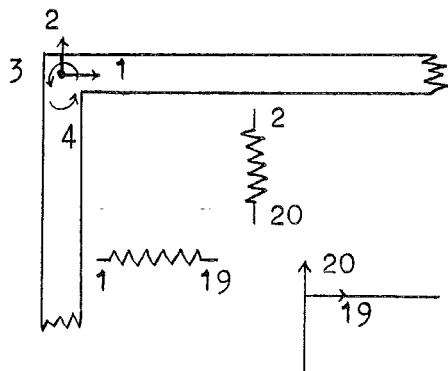


Fig. 3 Modellering till CALFEM.

De första körningarna gjordes på konstruktioner med endast ett fåtal fästdon. Man fick då god överensstämmelse med beräkningsmodellens resultat. Vid en ökning av antalet fästdon blev överensstämmelsen allt sämre och sämre. Det visade sig då att precisionen i CALFEM var för dålig.

Vid nya konsultationer med avd. för Byggnadsmekanik rekommenderades ett annat FEM program, CAMFEM. Genom att föra över rutinerna för de behövliga elementen från CALFEM till CAMFEM kunde arbetet fortgå, med den skillnaden att alla beräkningar nu utfördes med dubbel precision.

GENOMFÖRANDE

För att underlätta arbetet skrevs dels ett program för beräkning enligt beräkningsmodellen, av fästdonskrafter och förskjutningar i övre vänstra hörnet av konstruktionen. Dels ett program som skapar en indatafil till CAMFEM. Detta program arbetar enligt följande. Vid lika fästdonsavstånd på mittregel och ytterreglar, $R=T$, sker elementindelning och nodnumrering enligt fig. 4-6. Vid olika avstånd, $R \neq T$, finns vissa restriktioner. På grund av tidsbrist är programmet utformat så att det endast klarar av de fall då fästdonsavståndet på ytterreglarna går jämnt upp i avståndet på mittregeln. (Ex. $R=600$ och $T=200$). Elementindelning och nodnumrering sker enligt fig. 7-9. Vid assembleringen av fästdonen anges alltid frihetsgraden på ramen först.

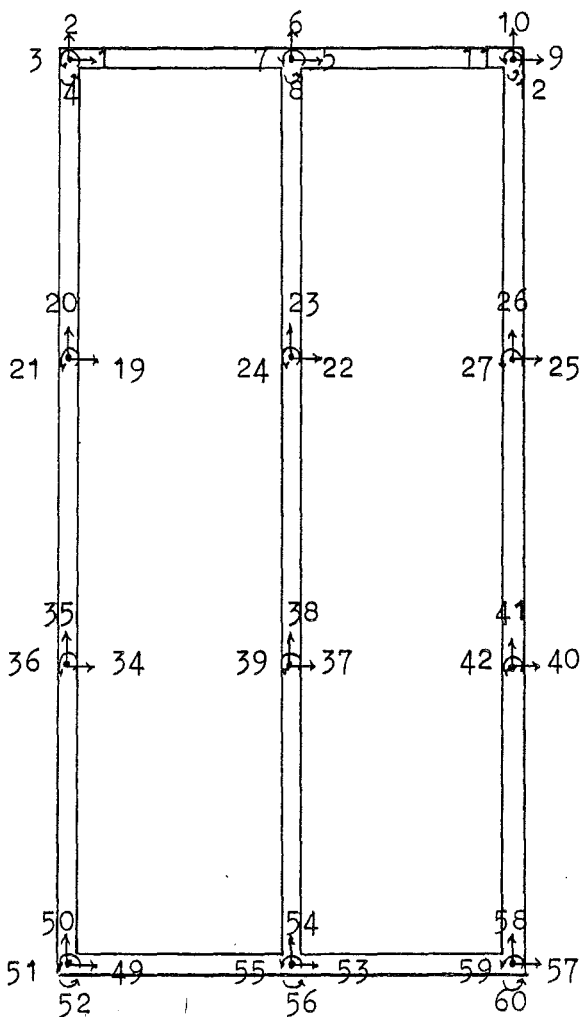
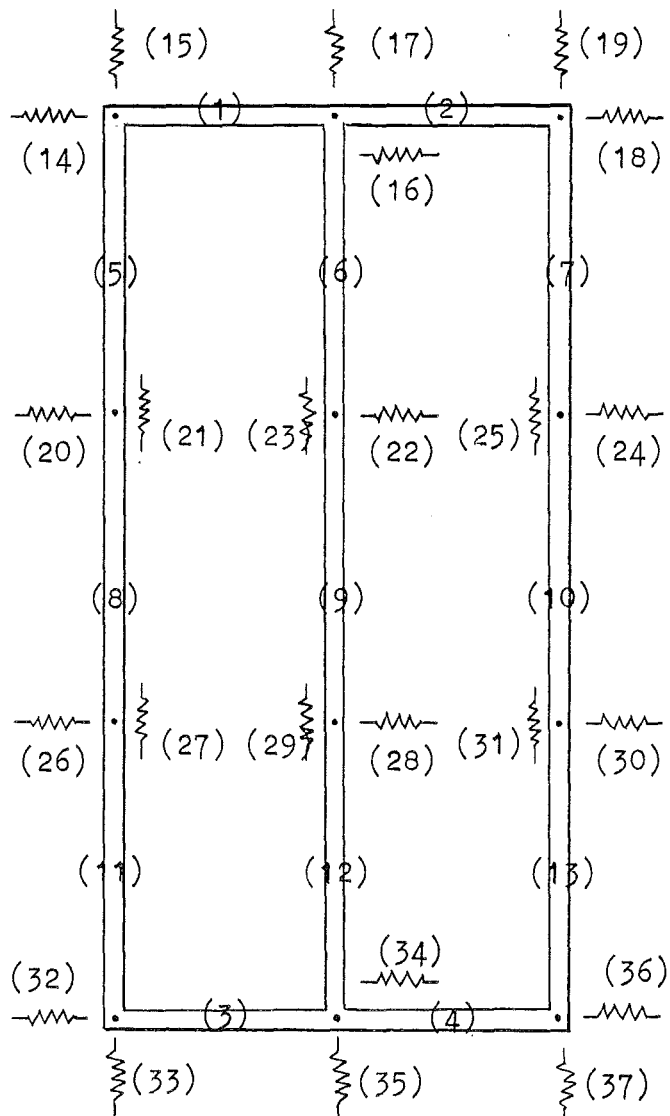


Fig. 4 Nodnumrering, R=T.

Fig. 5 Elementindelning, R=T.



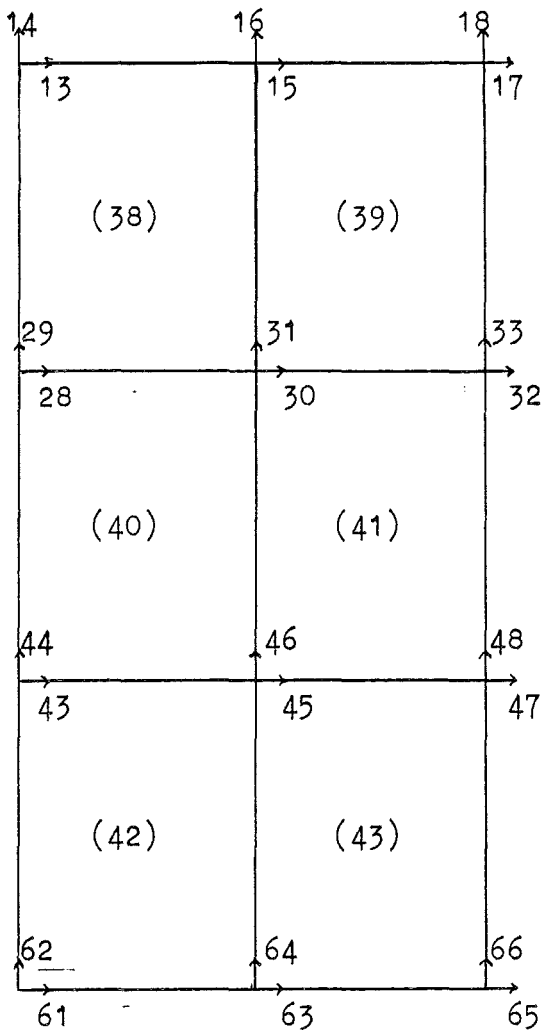
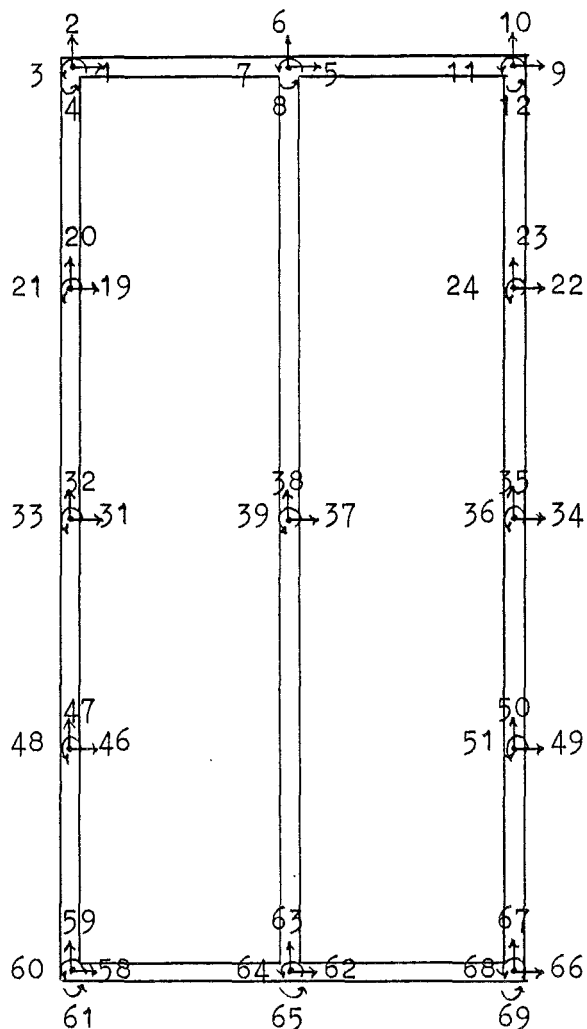


Fig. 6 Elementindelning och nodnumrering, $R=T$.

Fig. 7 Nodnumrering, $R \neq T$.



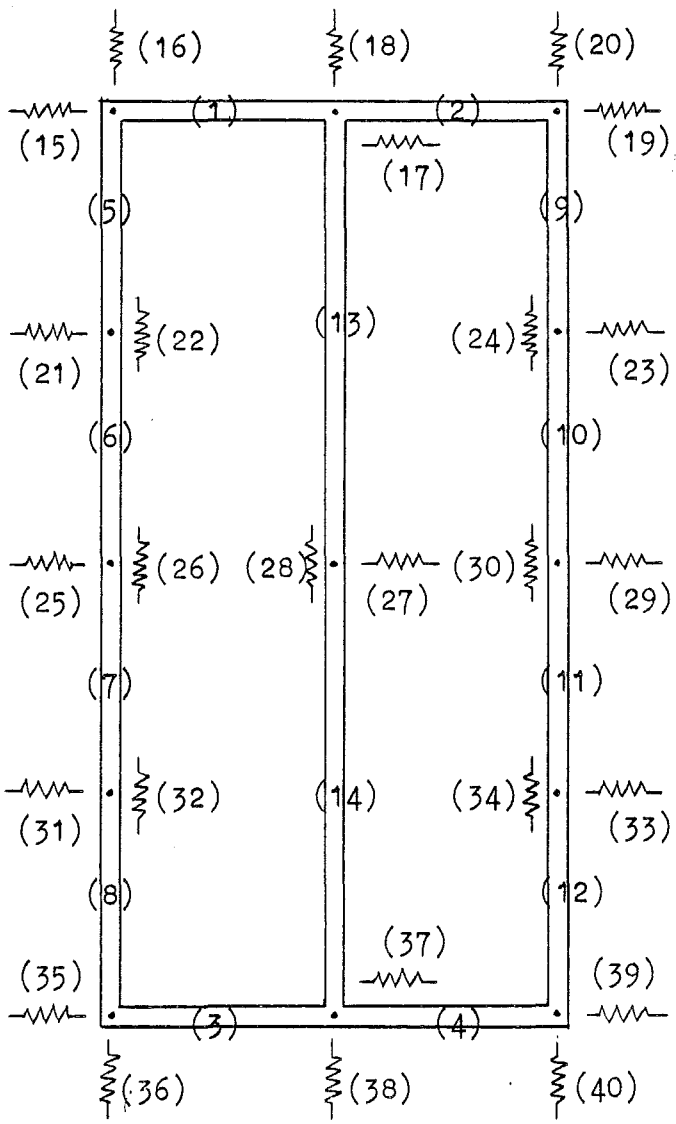
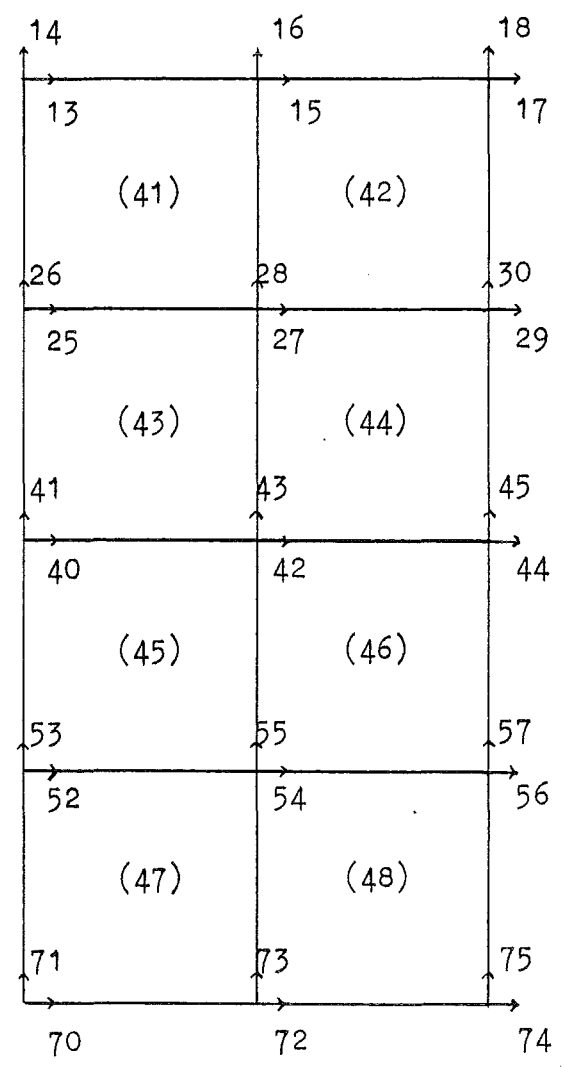


Fig. 8 Elementindelning, $R \neq T$.

Fig. 9 Elementindelning och nodnumrering, $R \neq T$.



$$H = 1 \text{ kN}$$

INDATA

Här anges de indata som har använts vid CAMFEM körningarna.

REGELSTOMME

Materialparametrar: $E_L = 10.000 \text{ MPa}$ (längs fiberriktningen)

$E_T = 200 \text{ MPa}$ (vinkelrät fiberriktningen)

Elementet BEAM2E gäller endast för isotropa material. Vi väljer $E = 10.000 \text{ MPa}$ som indata.

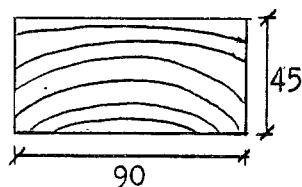


Fig. 10 Tvärsnitt regel.

$$A = 90 \times 45 = 4050 \text{ mm}^2$$

$$I = 90 \times 45^3 / 12 = 6.83 \times 10^5 \text{ mm}^4$$

Indata: $E = 10.000 \text{ MPa}$

$$A = 4050 \text{ mm}^2$$

$$I = 6.83 \times 10^5 \text{ mm}^4$$

SKIVA

Materialparametrar: $E = 5000 \text{ MPa}$

$$\nu = 0.0$$

Indata: $E = 5000 \text{ MPa}$

$$\nu = 0.0$$

$$t = 12 \text{ mm}$$

FÄSTDON

Indata: $k = 200 \text{ N/mm}$

RESULTAT

Vid körningar med normala styvheter och ett litet antal fästdon, är det hyfsad överensstämmelse mellan beräkningsmodellens och FEM beräkningens resultat. Om man ökar antalet fästdon blir överensstämmelsen i x-riktning dålig, se tabell 1. Studerar man regelstommens förskjutningar i främst x-riktning, se bilaga 1, kan man se att reglarna deformeras. Därmed är inte en av beräkningsmodellens förutsättningar uppfylld, nämligen den att regelstommen består av helt stela element. En ökning av styvheten både för skivan, vilken endast deformeras obetydligt, och regelstommen med 100 ggr ger en nästan exakt överensstämmelse mellan resultaten.

I tabell 1 har också tagits med resultaten vid approximativ beräkning av summa x_i^2 och summa y_i^2 , beräkningsmodell B. Dessa resultat visar dålig överensstämmelse med resultaten från beräkningsmodell A, exakt beräkning av summa x_i^2 och summa y_i^2 , vid ett litet antal fästdon. Däremot är överensstämmelsen god vid ett större antal fästdon. Detta är helt i sin ordning då approximationen bygger på att det finns ett stort antal fästdon.

R (mm)	T (mm)	S (mm)	ggr E- moduler	FEM			BERÄKNINGSMODELL A			BERÄKNINGSMODELL B		
				F _x (N)	F _y (N)	u (mm)	F _x (N)	F _y (N)	u (mm)	F _x (N)	F _y (N)	u (mm)
2400	2400	600	1	335	994	23.53	333	1000	23.33	400	1200	28.00
			100	333	1000	23.34						
800	800	600	1	316	494	13.37	300	500	13.00	286	545	13.77
			100	300	500	13.00						
800	400	300	1	182	263	7.41	161	267	6.94	154	273	6.99
			100	161	267	6.95						
400	400	300	1	176	263	7.35	150	267	6.83	143	273	6.88
			100	150	267	6.84						
400	200	300	1	156	144	4.76	116	148	4.12	111	150	4.11
			100	117	148	4.14						
600	200	200	1	121	138	4.30	97	142	3.80	94	143	3.79
			100	98	142	3.81						

$\sum x_i^2$
 $\sum y_i^2$
 $4 \cdot 600^2$ $6 \cdot 1200^2$

Tabell 1 Sammanställning av resultat från FEM beräkningar.

$$F_{x0} = \frac{0.5H \cdot h^2}{\sum y_i^2} = \frac{0.5 \cdot 4 \cdot 2400^2}{6 \cdot 1200^2} = 333 \quad H=1000$$

$$F_{y0} = \frac{0.5H \cdot h^2}{\sum x_i^2} = \frac{0.5 \cdot 4 \cdot 1200 \cdot 2400}{4 \cdot 600^2} = 1000 \quad H=1000$$

Beräkningsmodell A - Exakt beräkning av summa x_i^2 och summa y_i^2 .

Beräkningsmodell B - Approximativ beräkning av summa x_i^2 och summa y_i^2 .

SPIKAD RAM

En riktigare modellering vore att införa fjädrar ($k=500 \text{ N/mm}$) som representerar spikarna mellan syll och regel och mellan hammarband och regel.

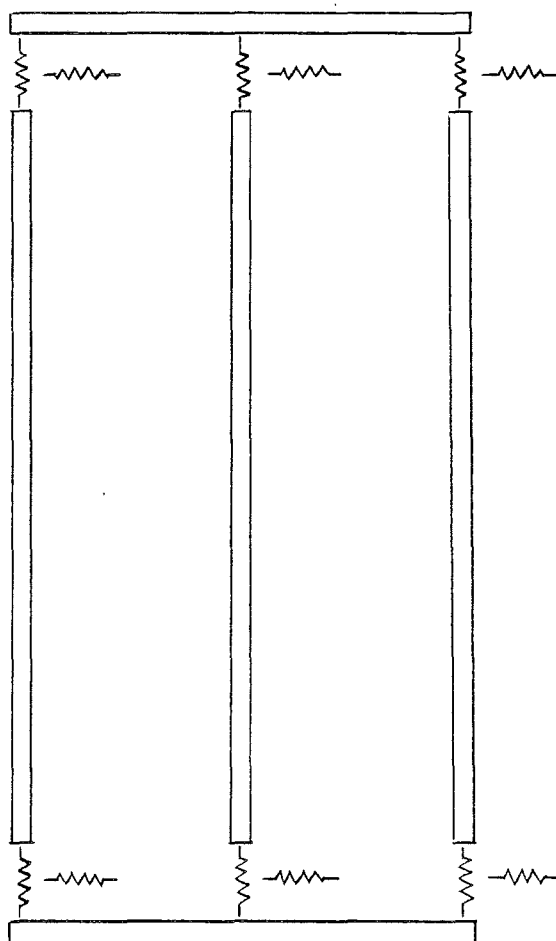


Fig. 11 Modell av spikad ram.

RESULTAT

Helt naturligt så får vi en vekare konstruktion där förskjutningarna ökar beaktansvärt i både x - och y -riktning, se bilaga 1. Den relativa förskjutningen mellan ram och skiva i x -riktning är något sånär oförändrad varvid samma gäller för fästdonskrafterna i denna riktning. I y -riktning har, på grund av hammarbandets ökade förskjutning, den relativa förskjutningen minskat och därmed också fästdonskrafterna. På syllan har förskjutningarna i y -riktning föreskrivits till noll, därav de stora krafterna på syllan.

JÄMFÖRELSE MED TIDIGARE UTFÖRD FEM BERÄKNING.

En FEM beräkning av ett liknade problem finns presenterad i novembernumret 1982 av en tidskrift utgiven av ASCE, American Society of Civil Engineering.

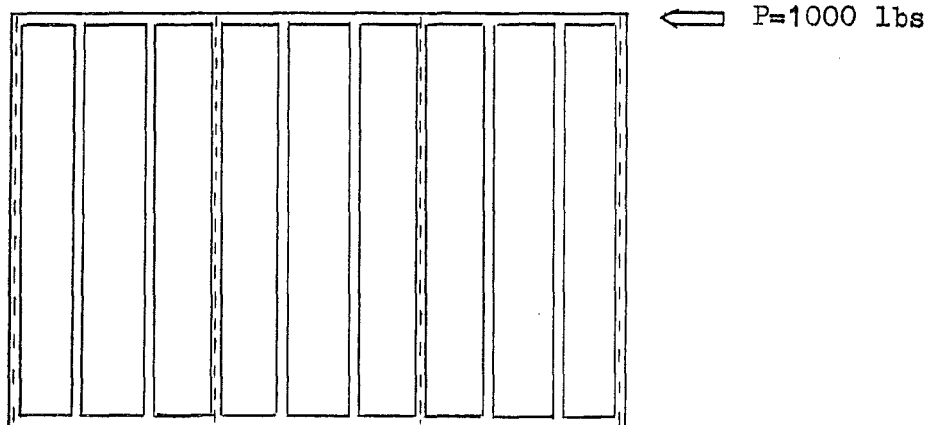


Fig. 12 Modell använd vid tidigare utförd FEM beräkning.

En jämförelse gjordes med en något förenklad modell, endast en skiva studerades.

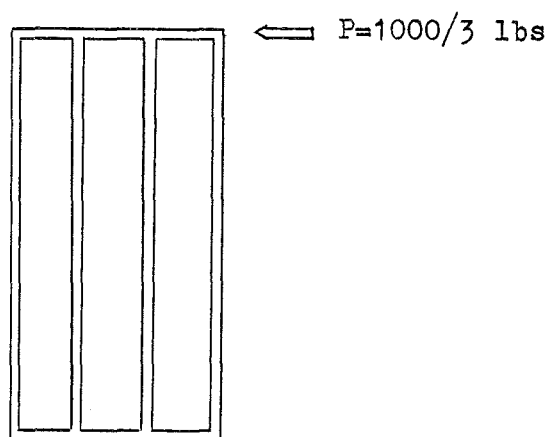


Fig. 13 Modell använd vid jämförelse.

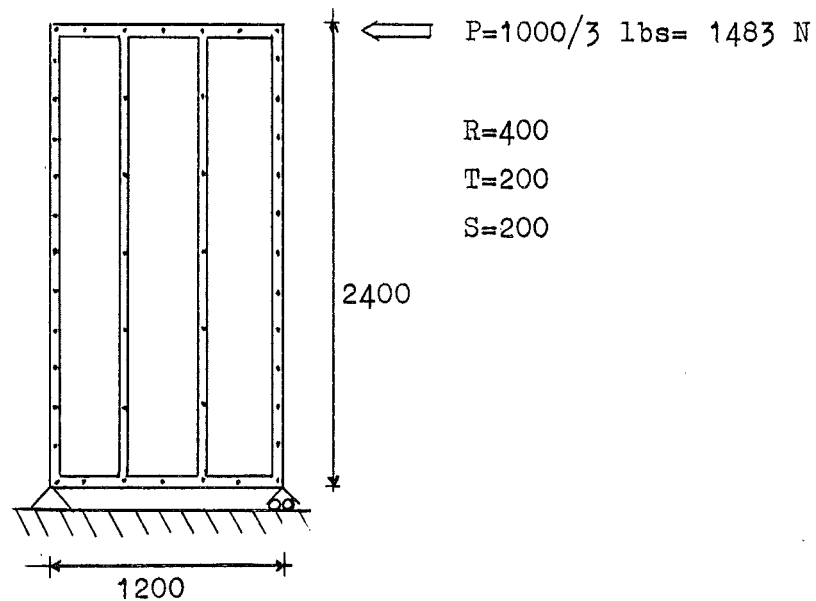
INDATA:

Fig. 14 Beräkningsmodell.

REGELSTOMME

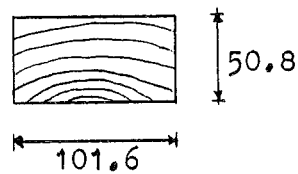


Fig. 15 Tvärsnitt regel.

$$A = 50.8 \times 101.6 = 5161.28 \text{ mm}^2$$

$$I = 101.6 \times 50.8^3 / 12 = 1.11 \times 10^6 \text{ mm}^4$$

$$E = 10.000 \text{ MPa}$$

SKIIVA

$$G = 620 \text{ MPa}$$

$$G = E / 2(1 + \nu) \quad \nu = 0.0 \Rightarrow E = 2G$$

$$E = 1240 \text{ MPa}$$

$$t = 9.5 \text{ mm}$$

FÄSTDON

$$k=8890 \text{ lb/in} = 1557 \text{ N/mm}$$

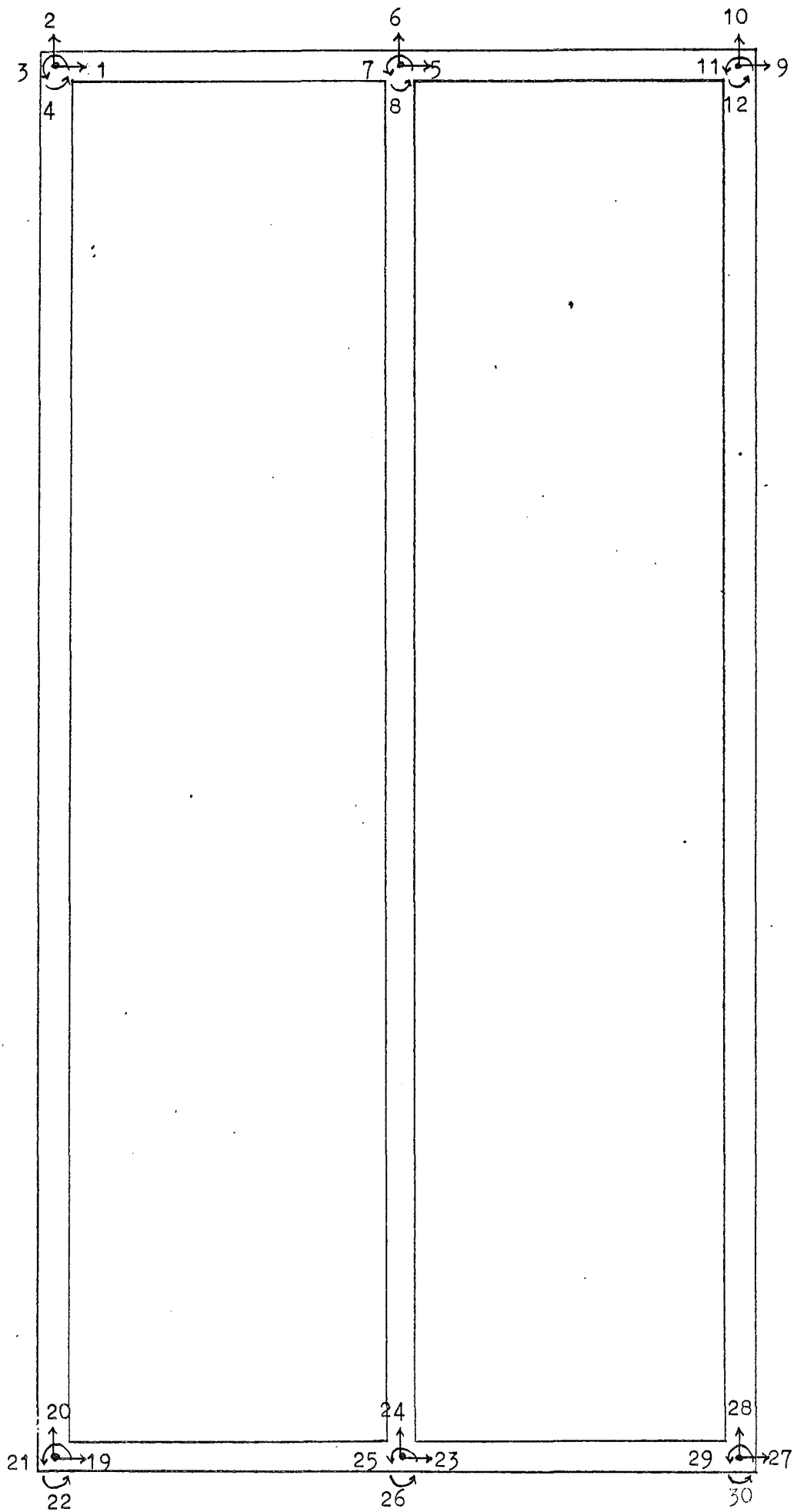
RESULTAT

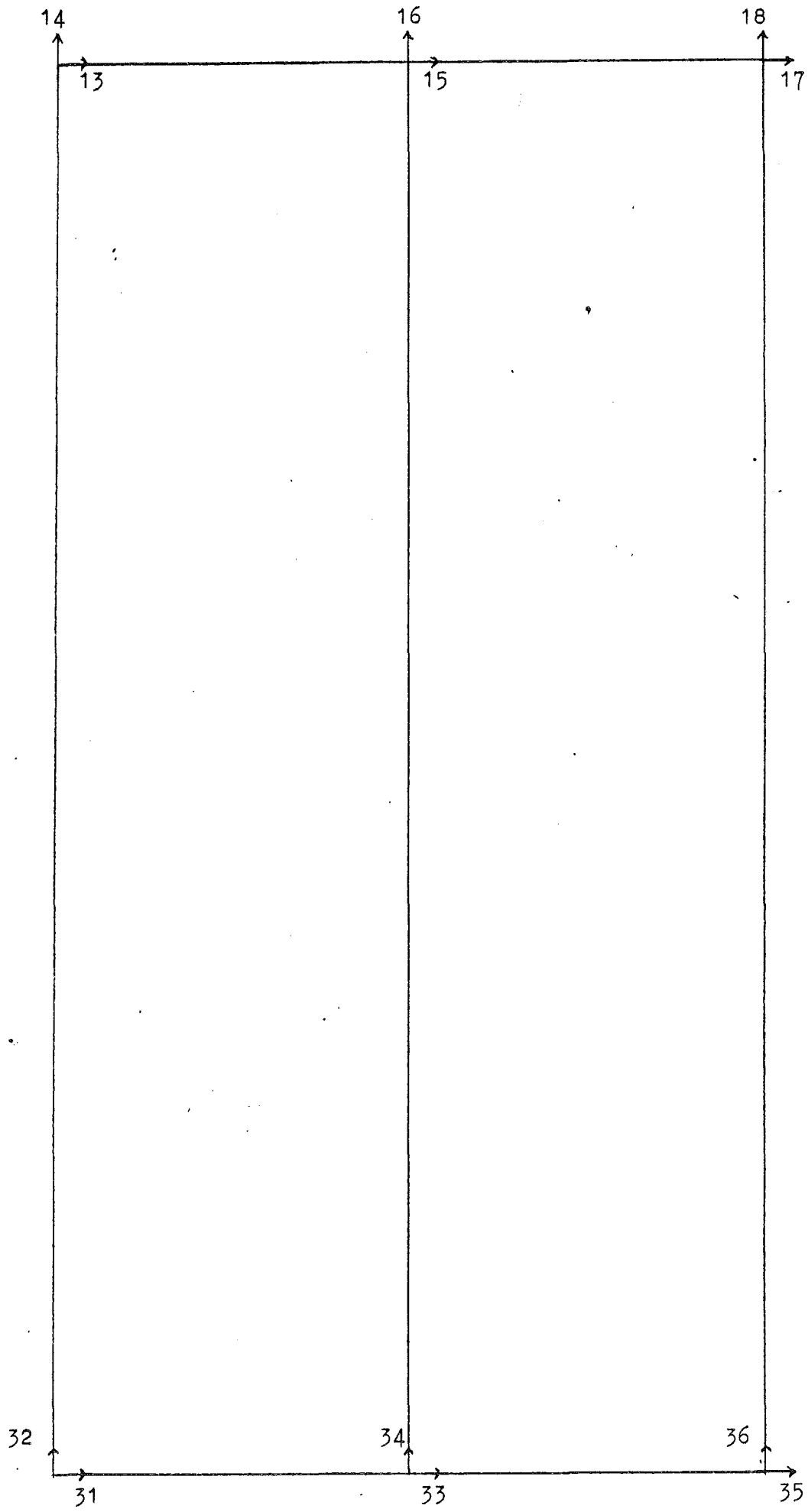
Överensstämmelsen mellan resultaten från de båda beräkningarna, se bilaga 1, är hyfsad. Den skillnad som finns beror på att endast en skiva studeras vid jämförelsen och därmed tillåter man också att hammarbandet vinkeländras.

B I L A G A

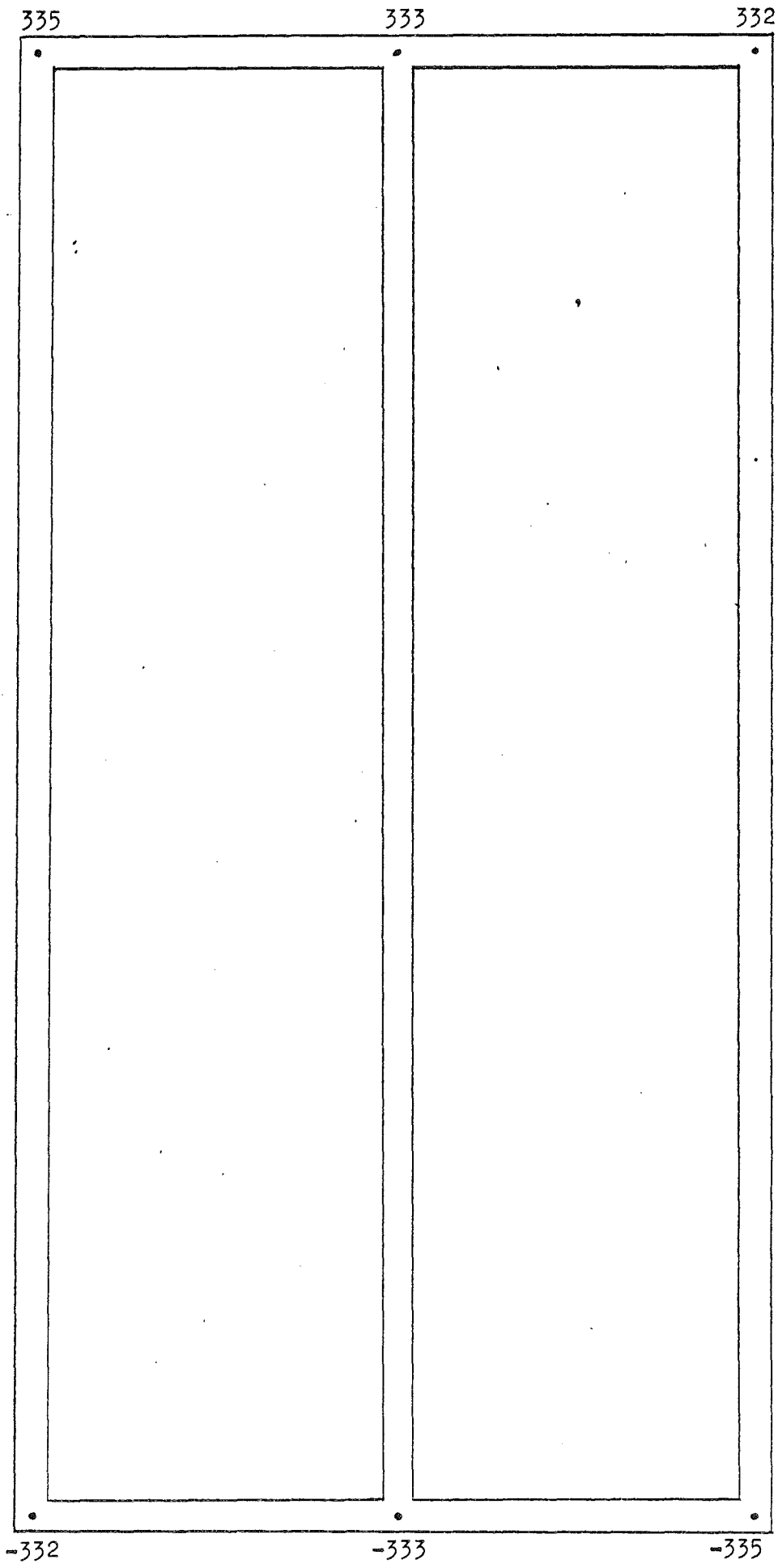
NÖDNUMRERINGAR, FÄSTDONSKRAFTER OCH FÖRSKJUTNINGAR

R=2400 T=2400 S=600

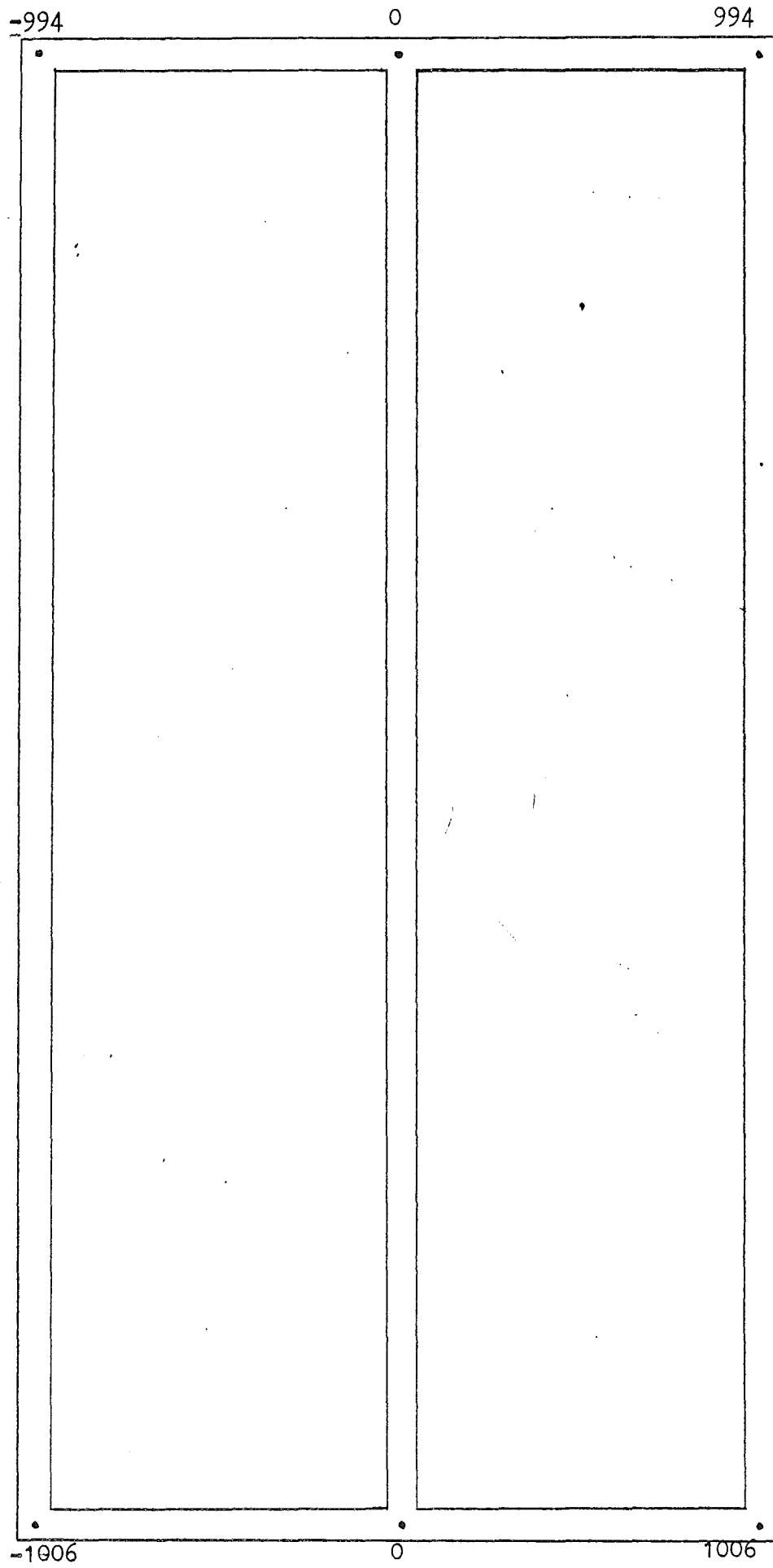




FÄSTDONSKRAFTER I X-RIKTNING (N). 1 ggr E-MODULER.



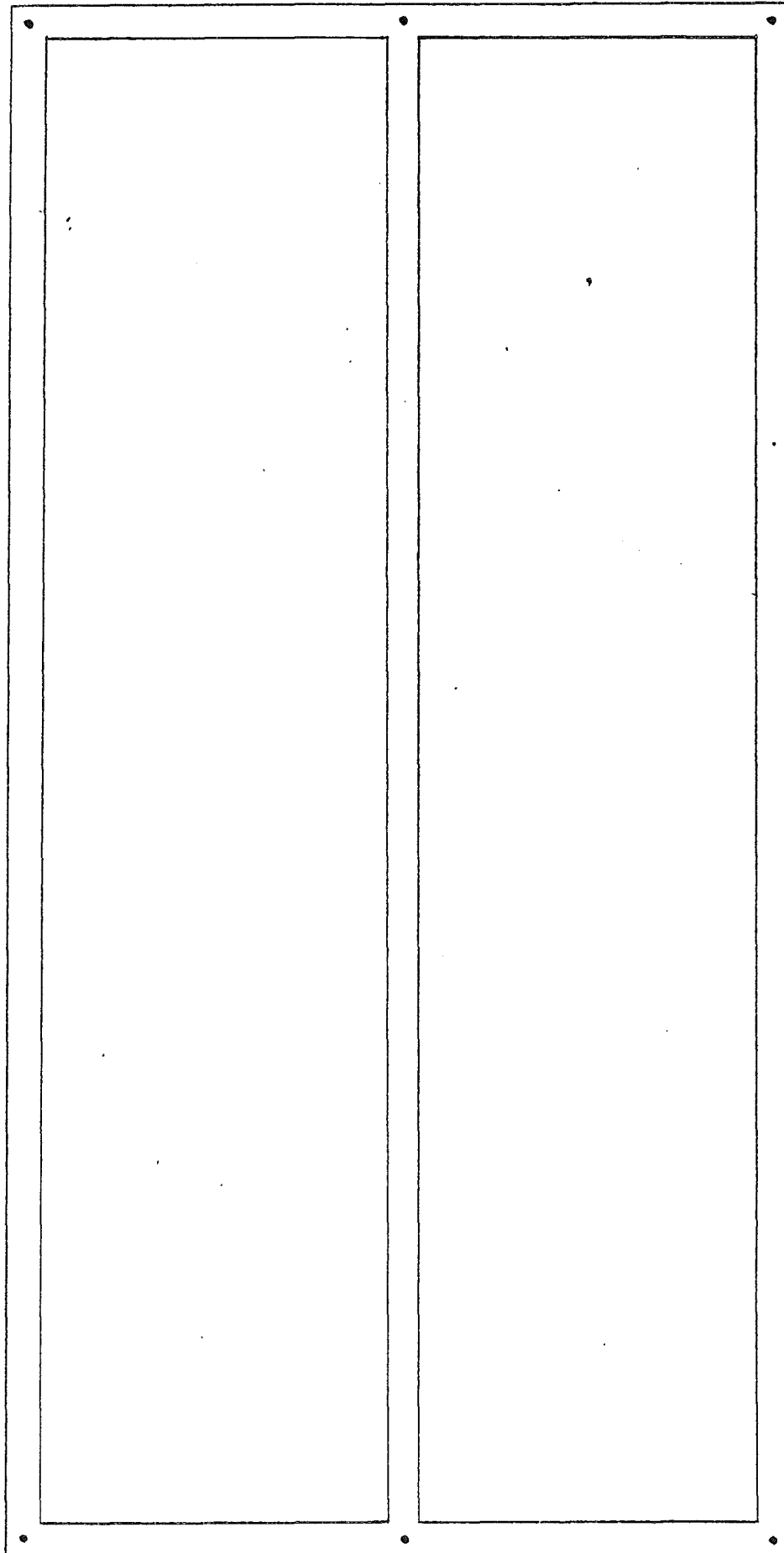
FÄSTDONSKRAFTER I Y-RIKTNING (N). 1 ggr E-MODULER.



23.53

23.53

23.52

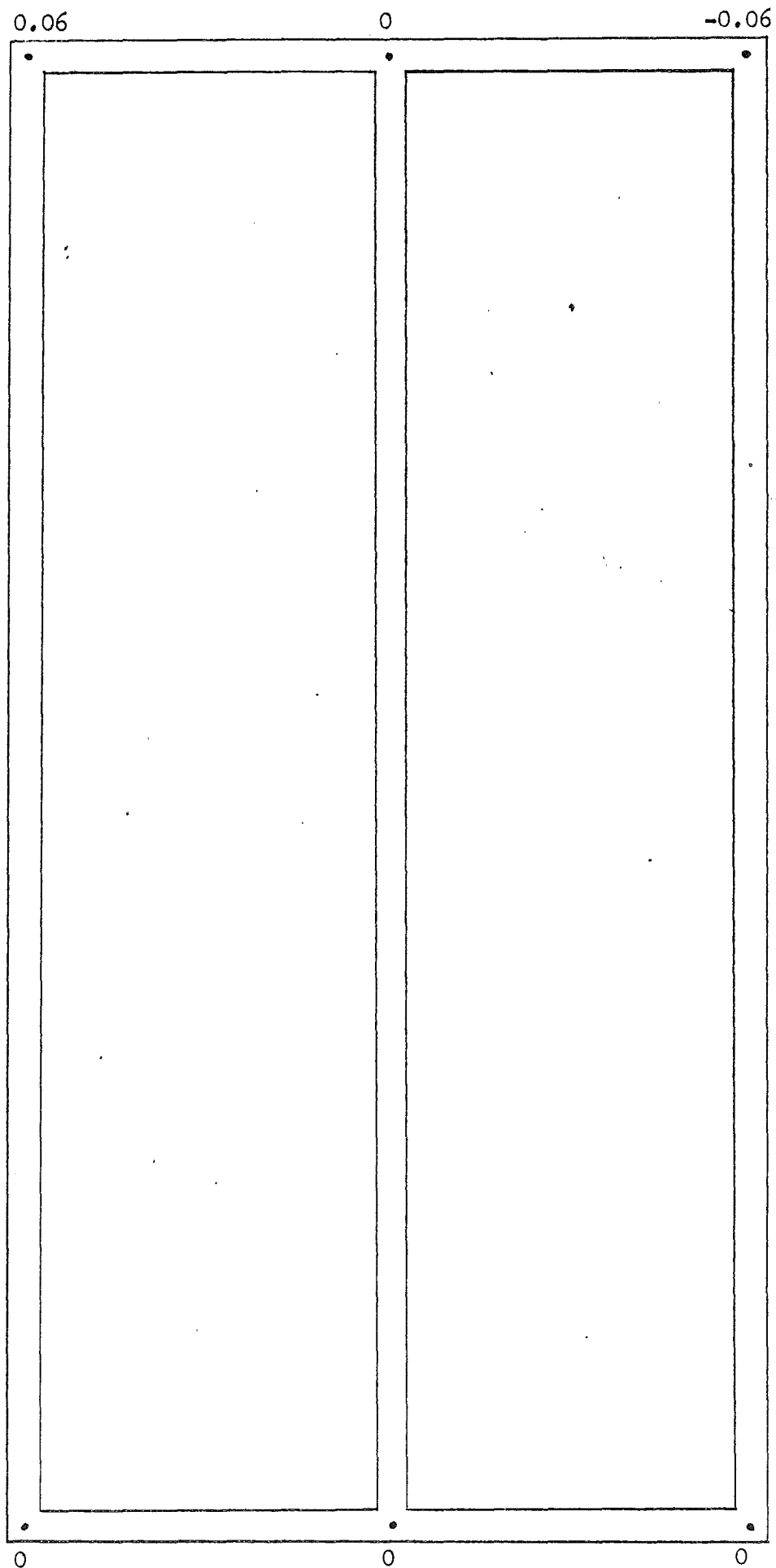


0.015

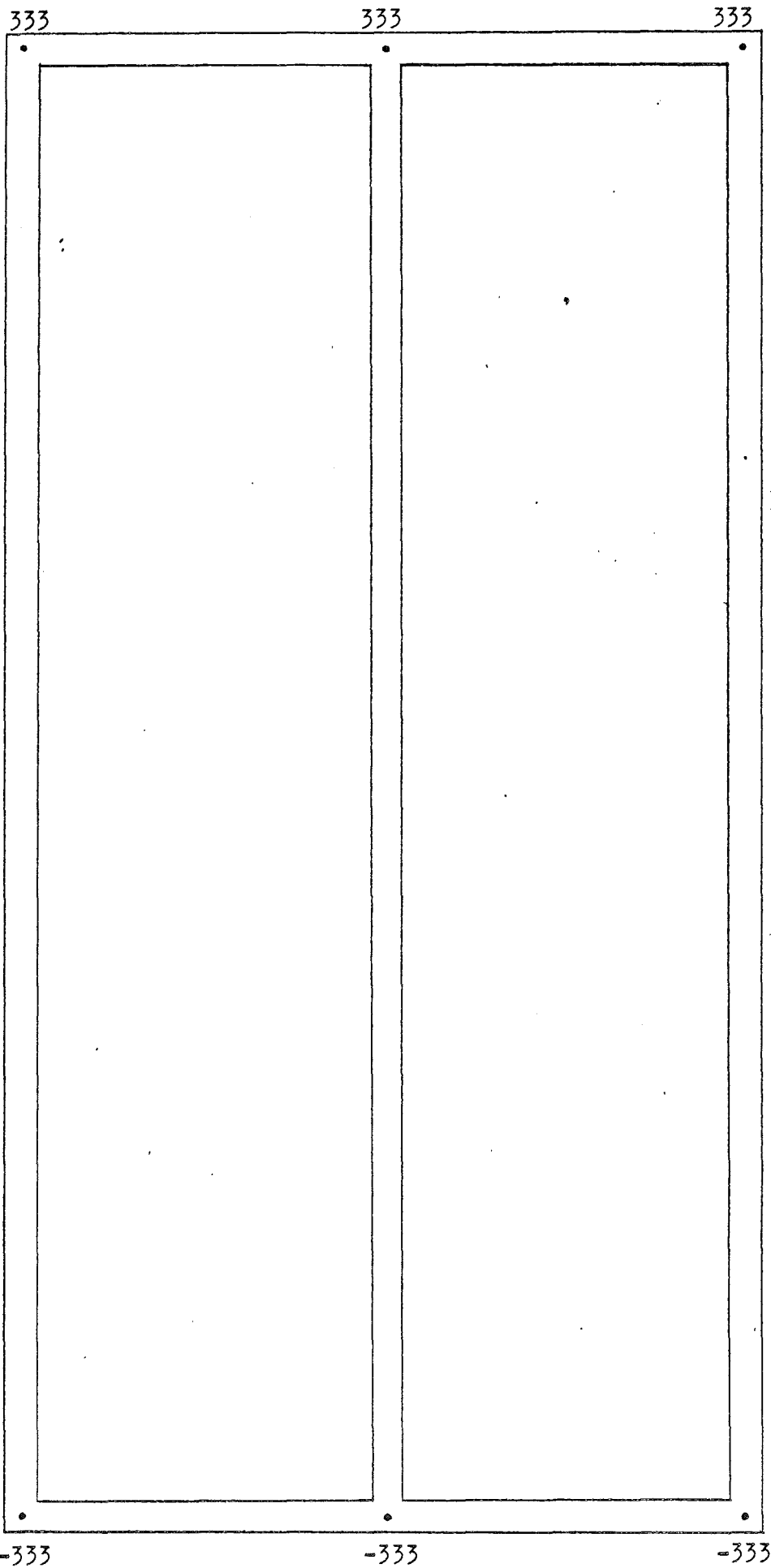
0.010

0

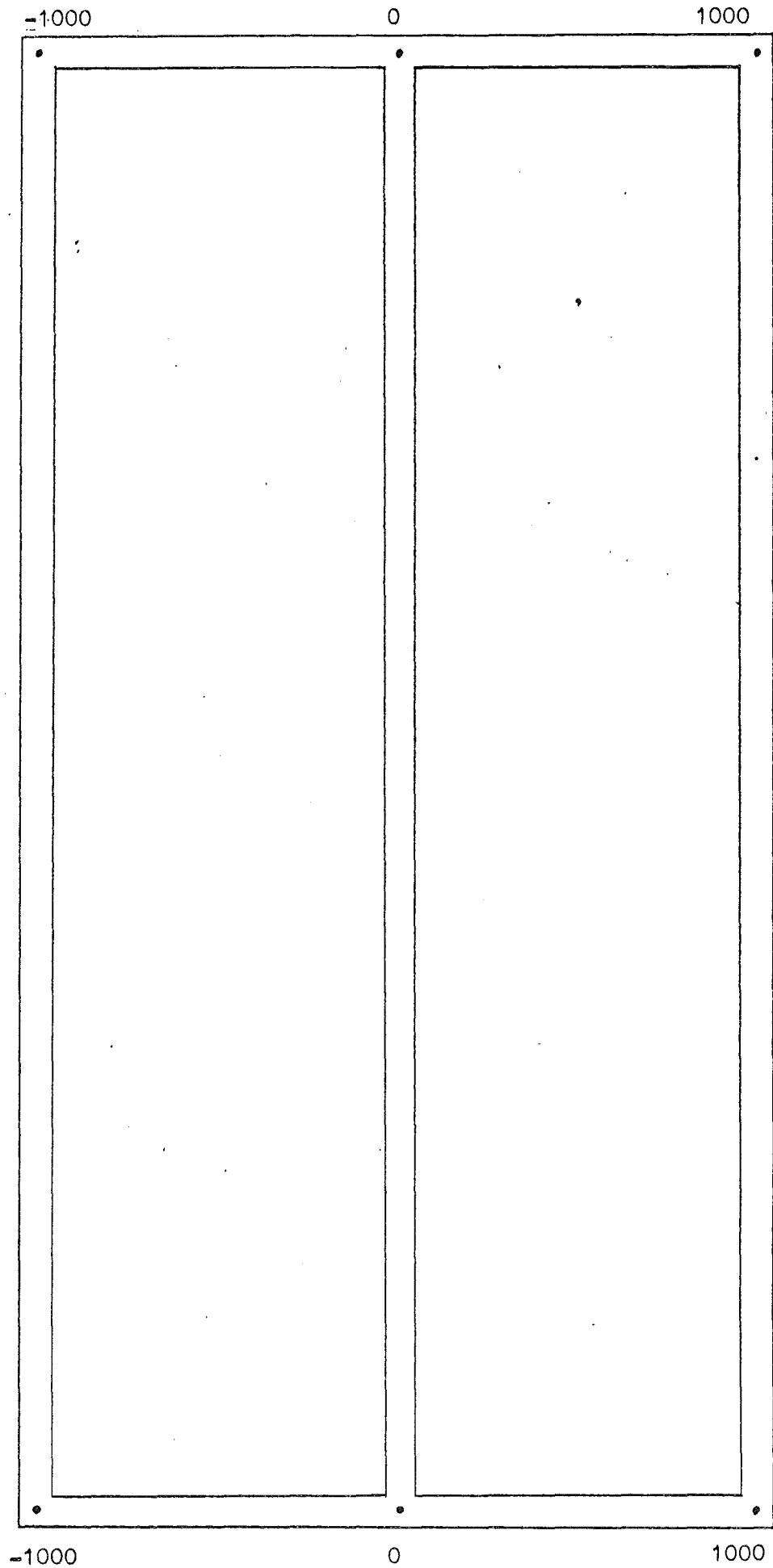
FÖRSKJUTNINGAR I Y-RIKTNING (mm). 1 ggr E-MODULER.



FÄSTDONSKRAFTER I X-RIKTNING (N). 100 ggr E-MODULER.



FÄSTDONSKRAFTER I Y-RIKTNING (N). 100 ggr E-MODULER.

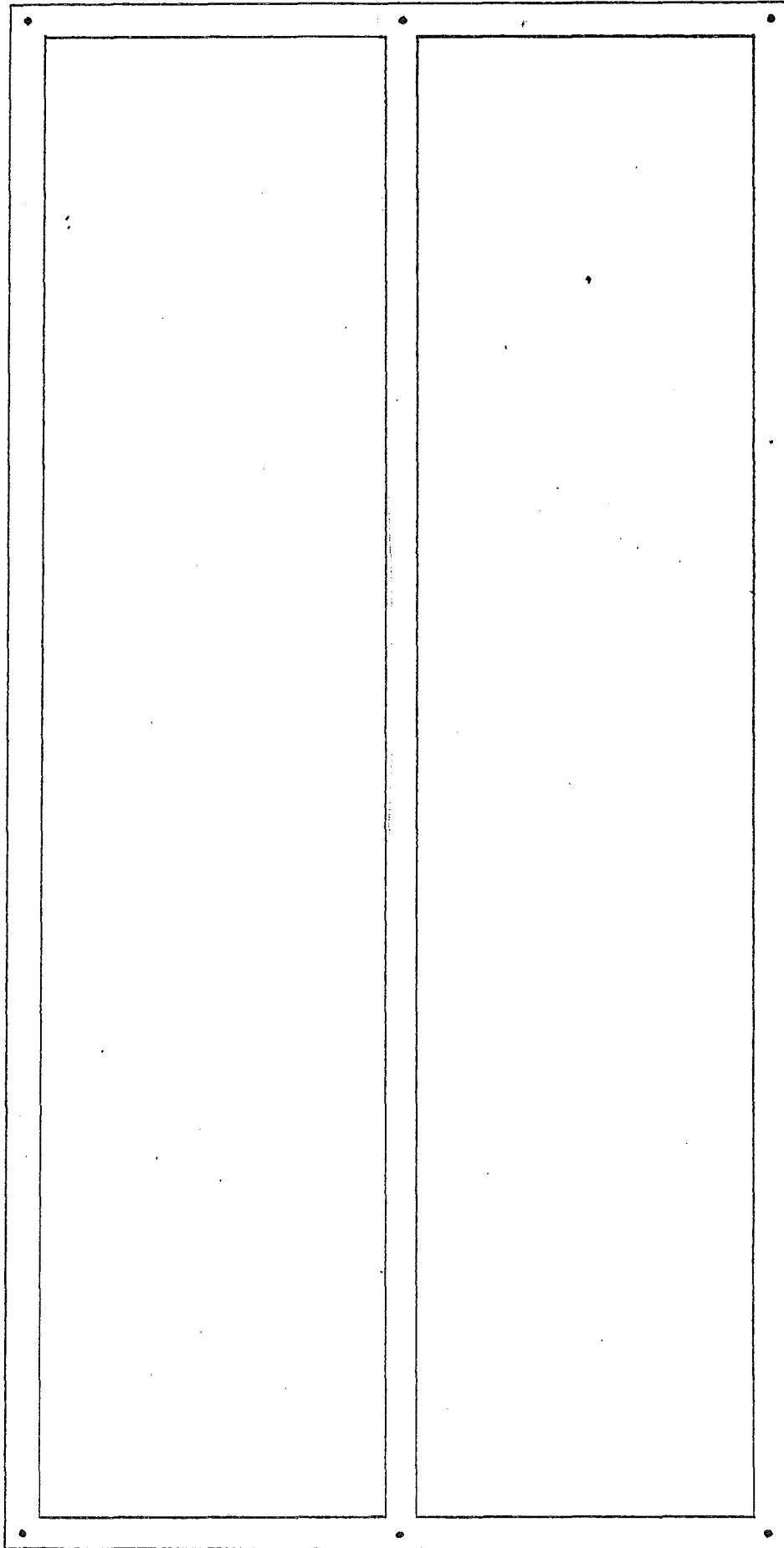


FÖRSKJUTNINGAR I X-RIKTNING (mm). 100 ggr E-MODULER.

23.34

23.34

23.34



0

0

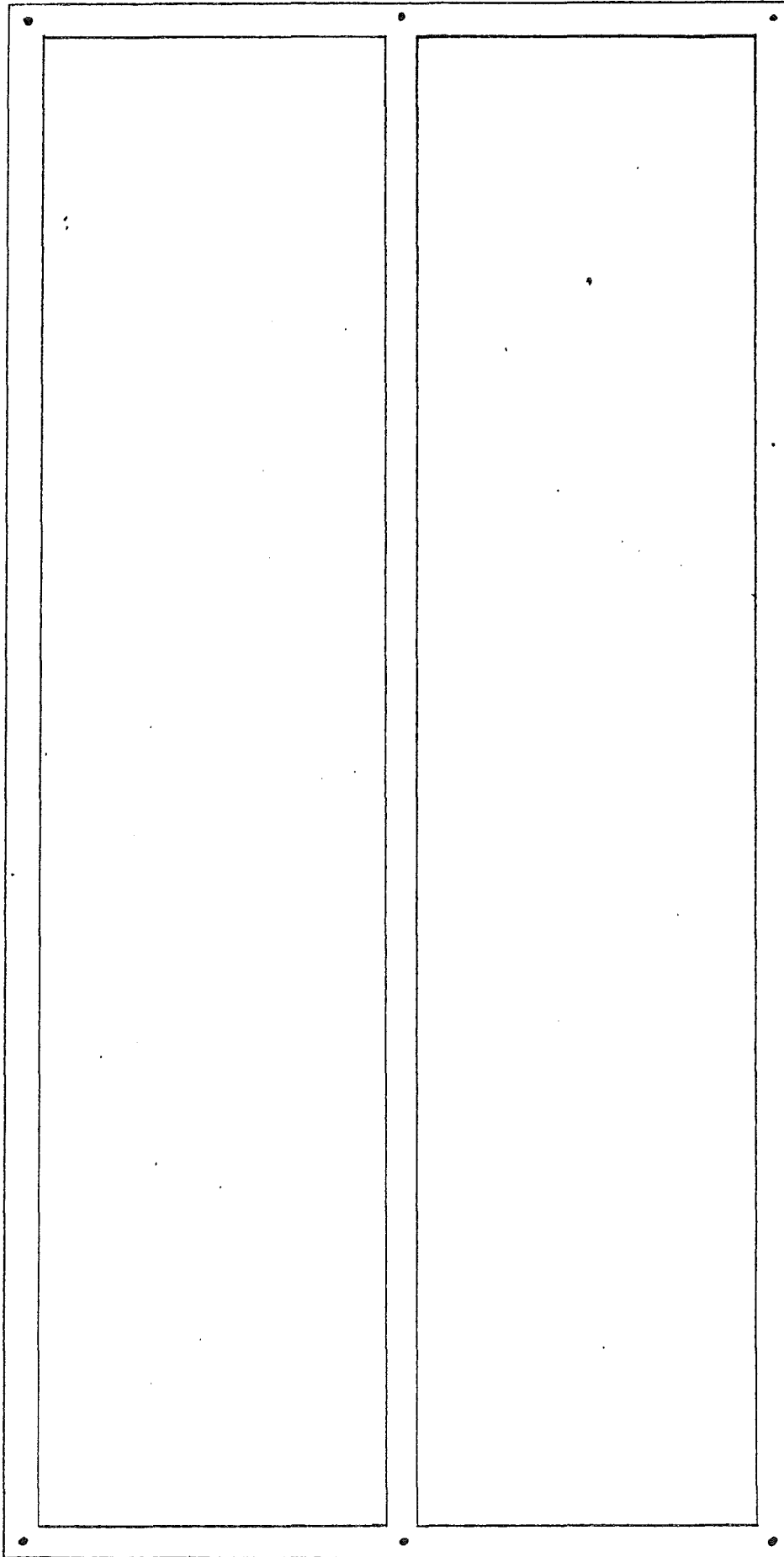
0

FÖRSKJUTNINGAR I Y-RIKTNING (mm). 100 ggr E-MODULER.

0.0006

0

-0.0006

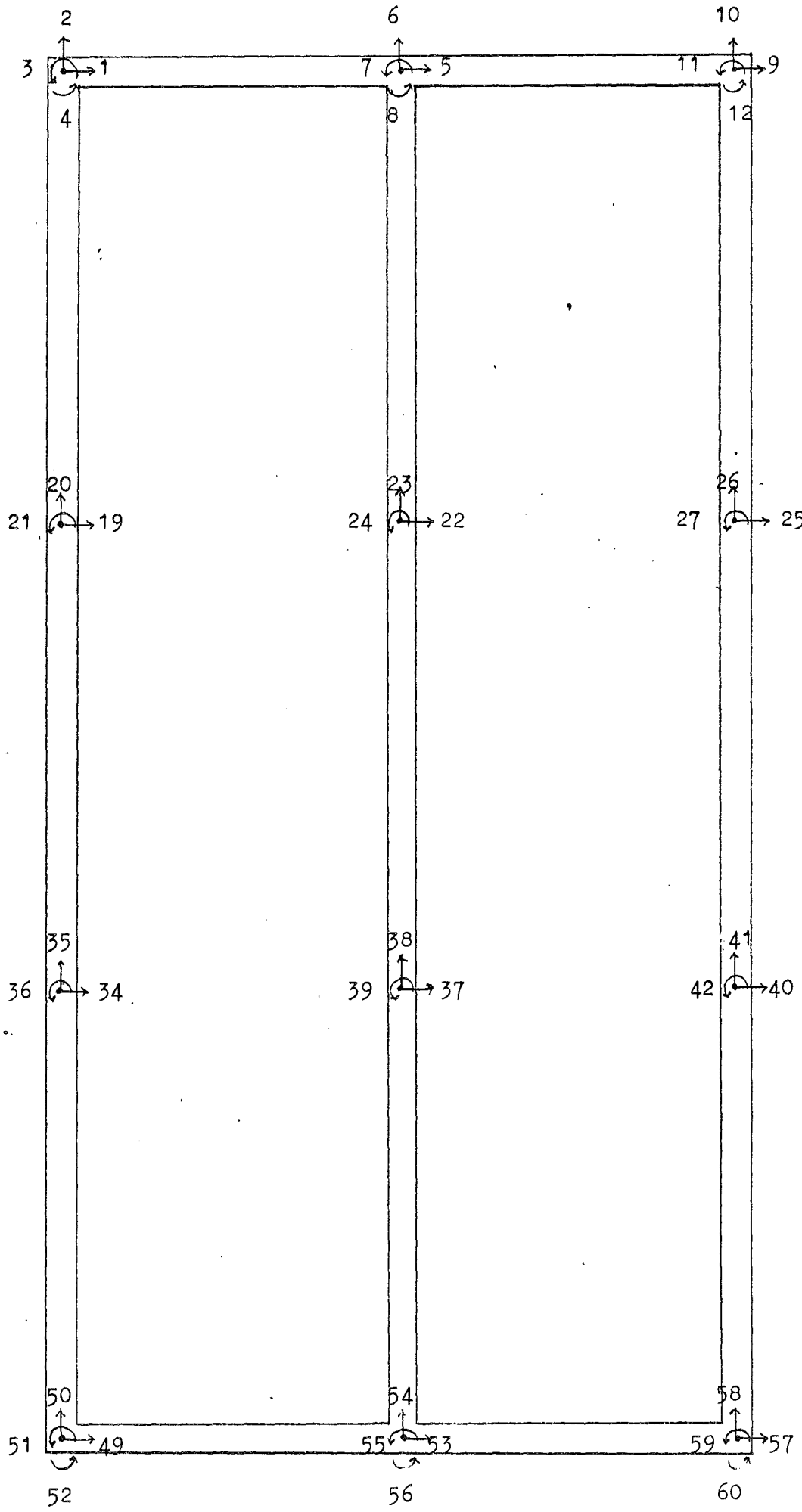


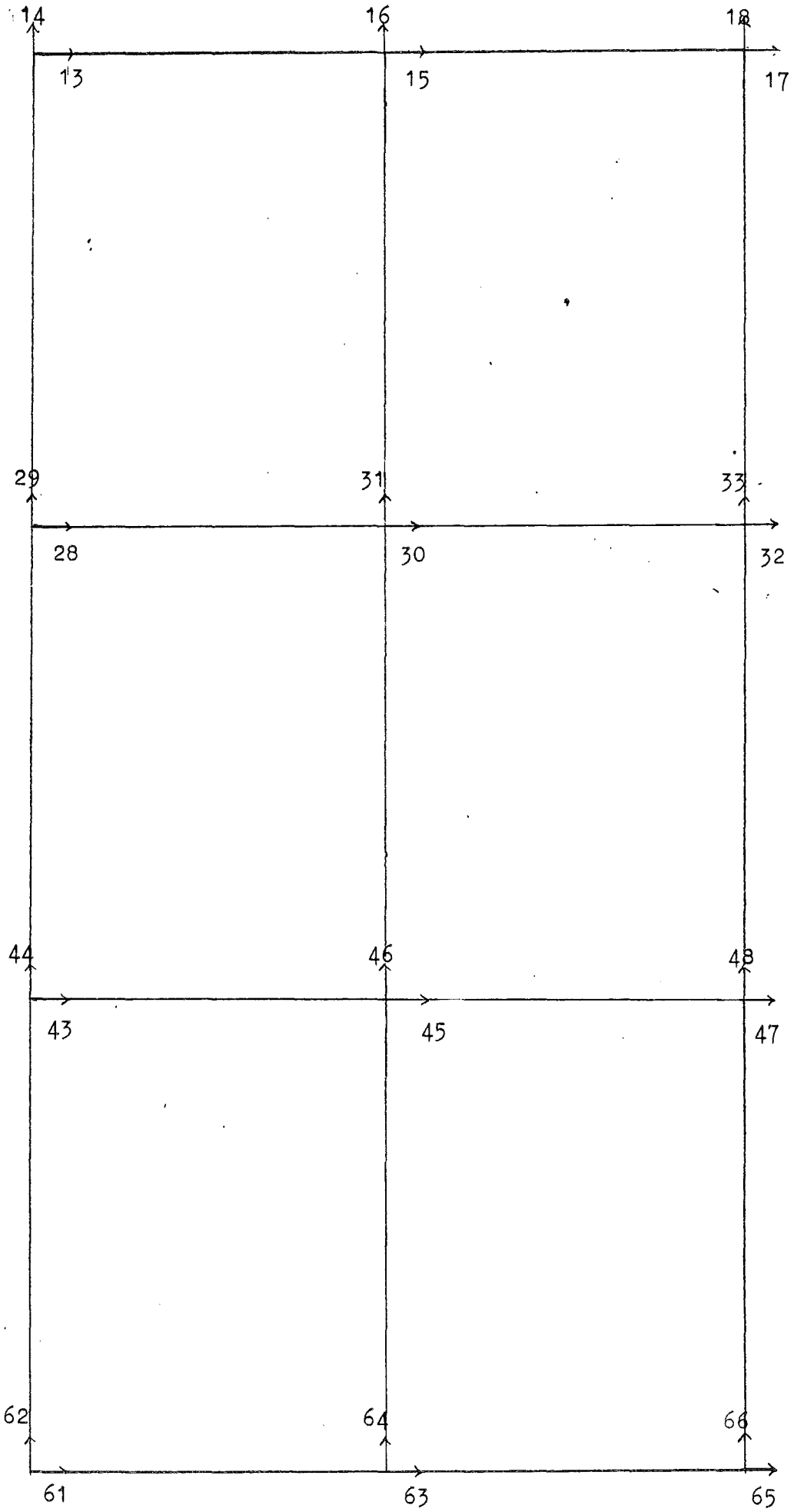
0

0

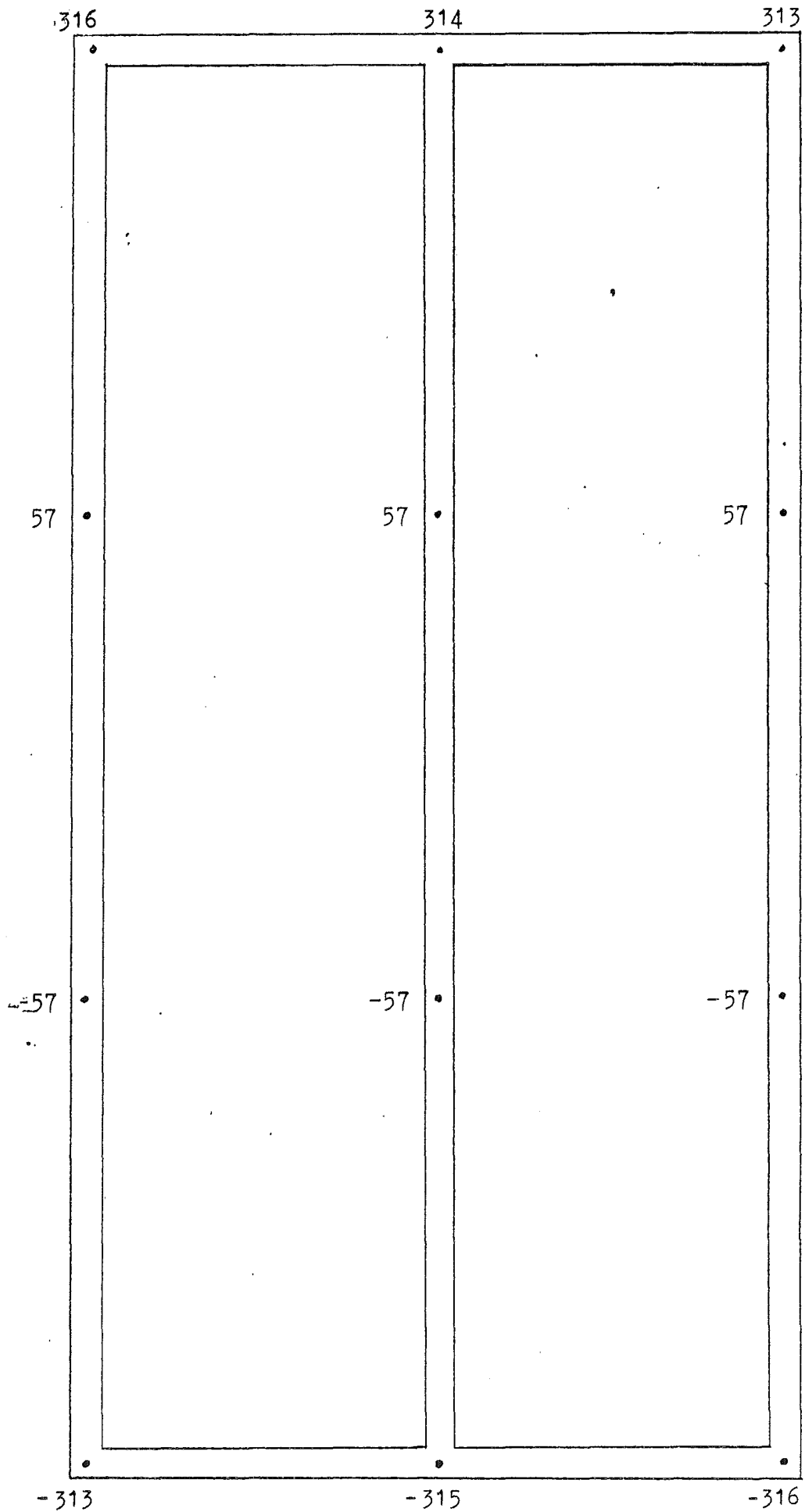
0

R=800 T=800 S=600

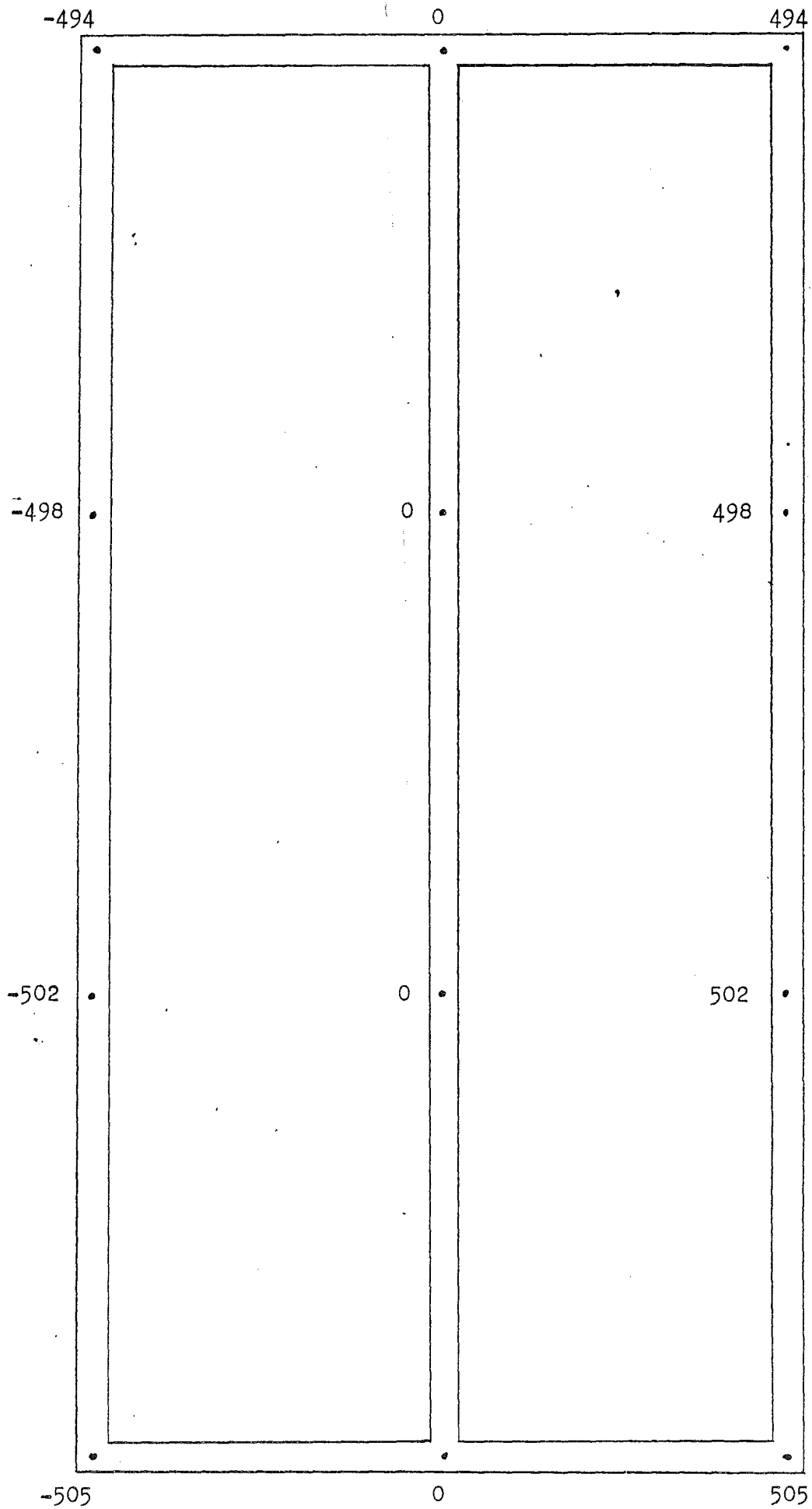




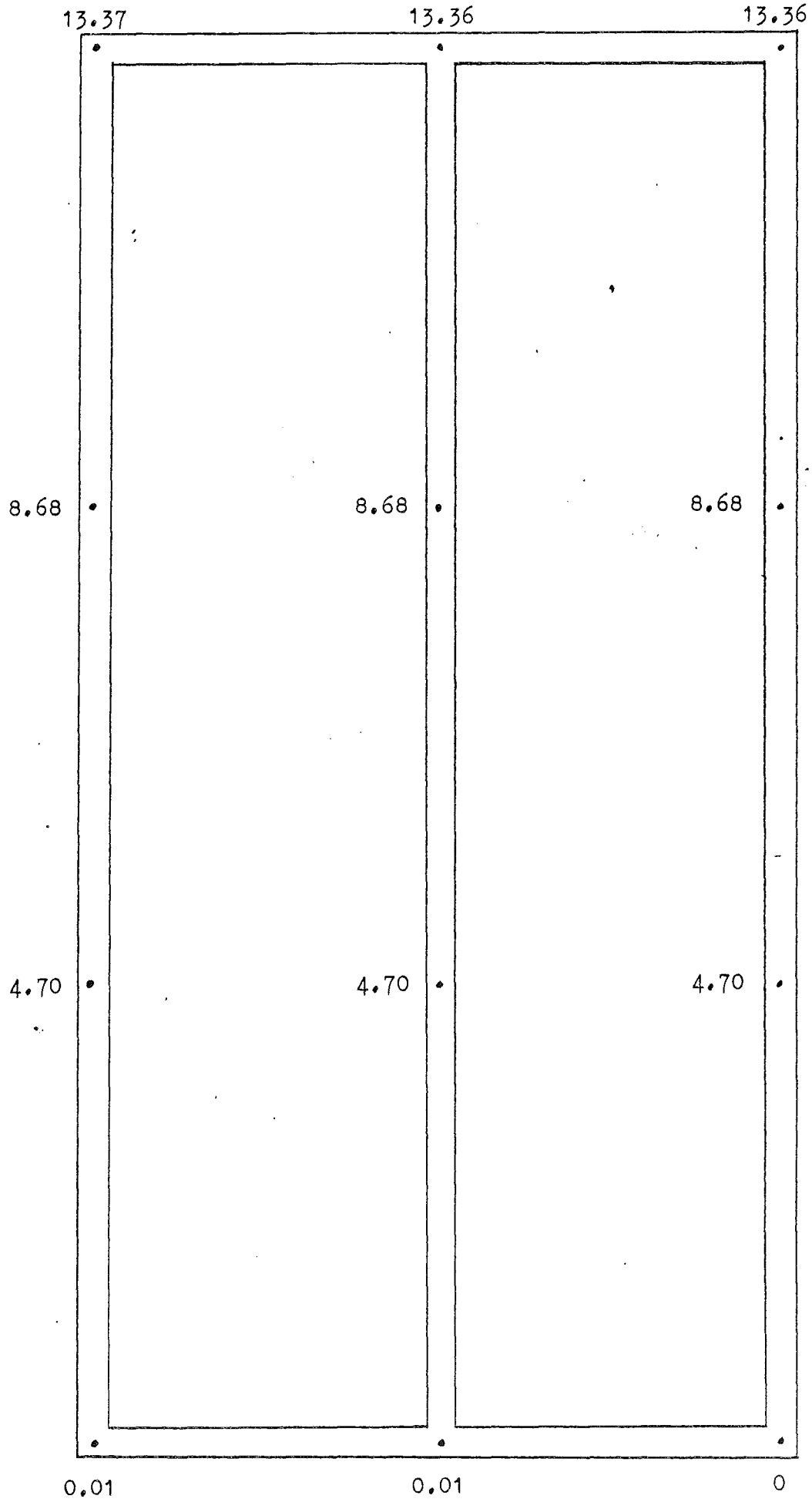
FÄSTDONSKRAFTER I X-RIKTNING (N), 1 ggr E-MODULER.



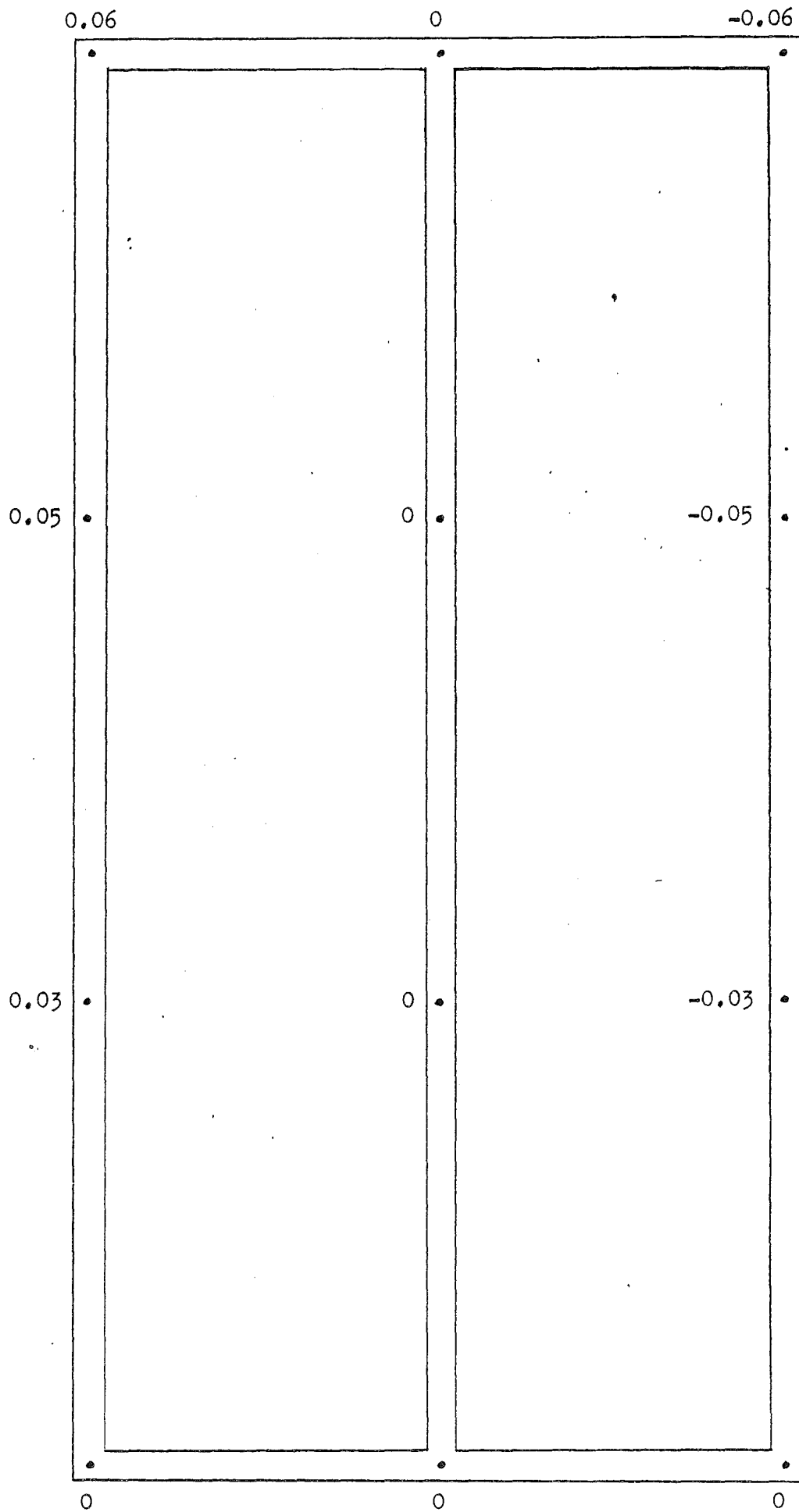
FÄSTDONSKRAFTER I Y-RIKTNING (N). 1 ggr E-MODULER.



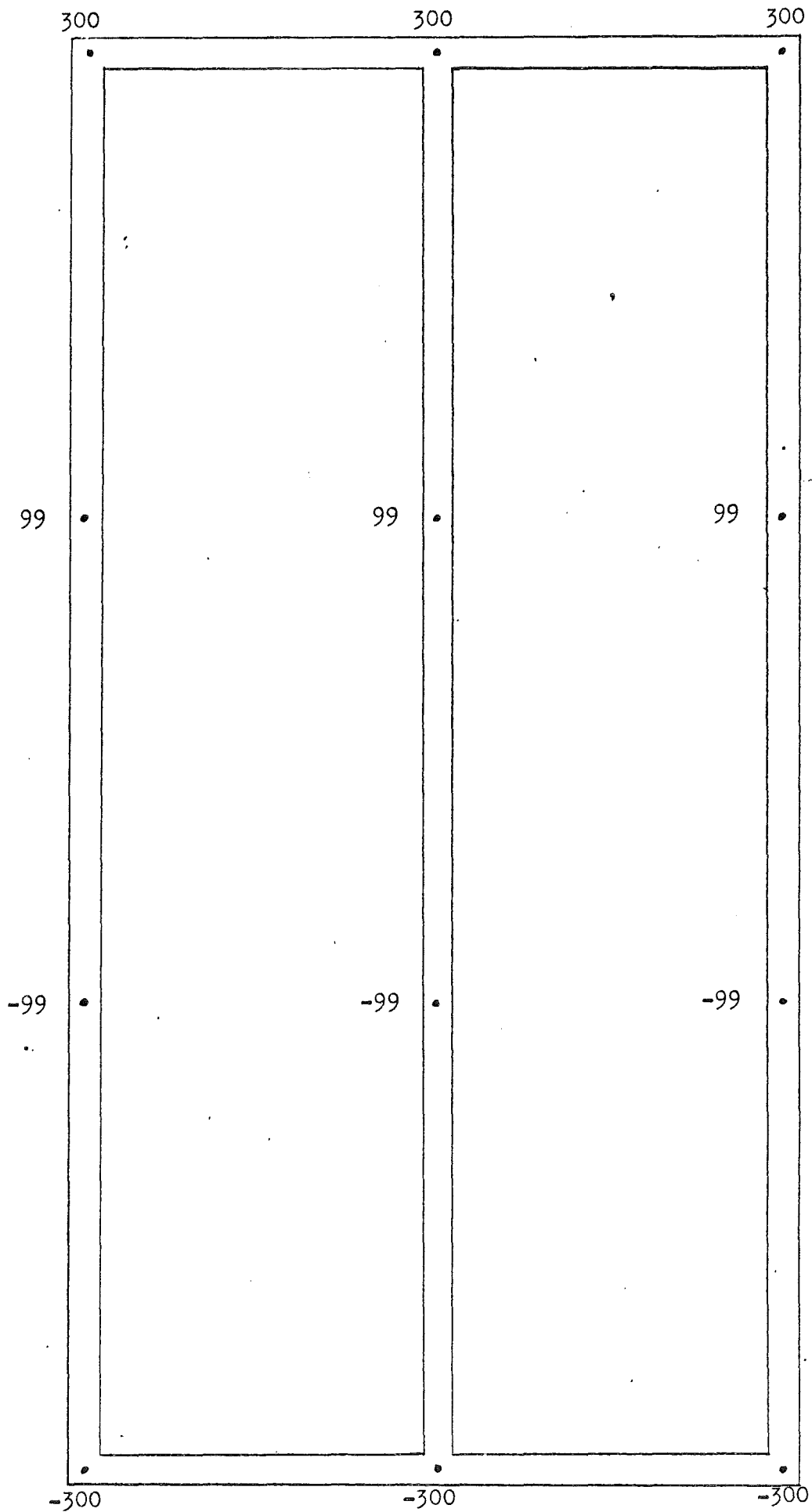
FÖRSKJUTNINGAR I X-RIKTNING (mm). 1 ggr E-MODULER.



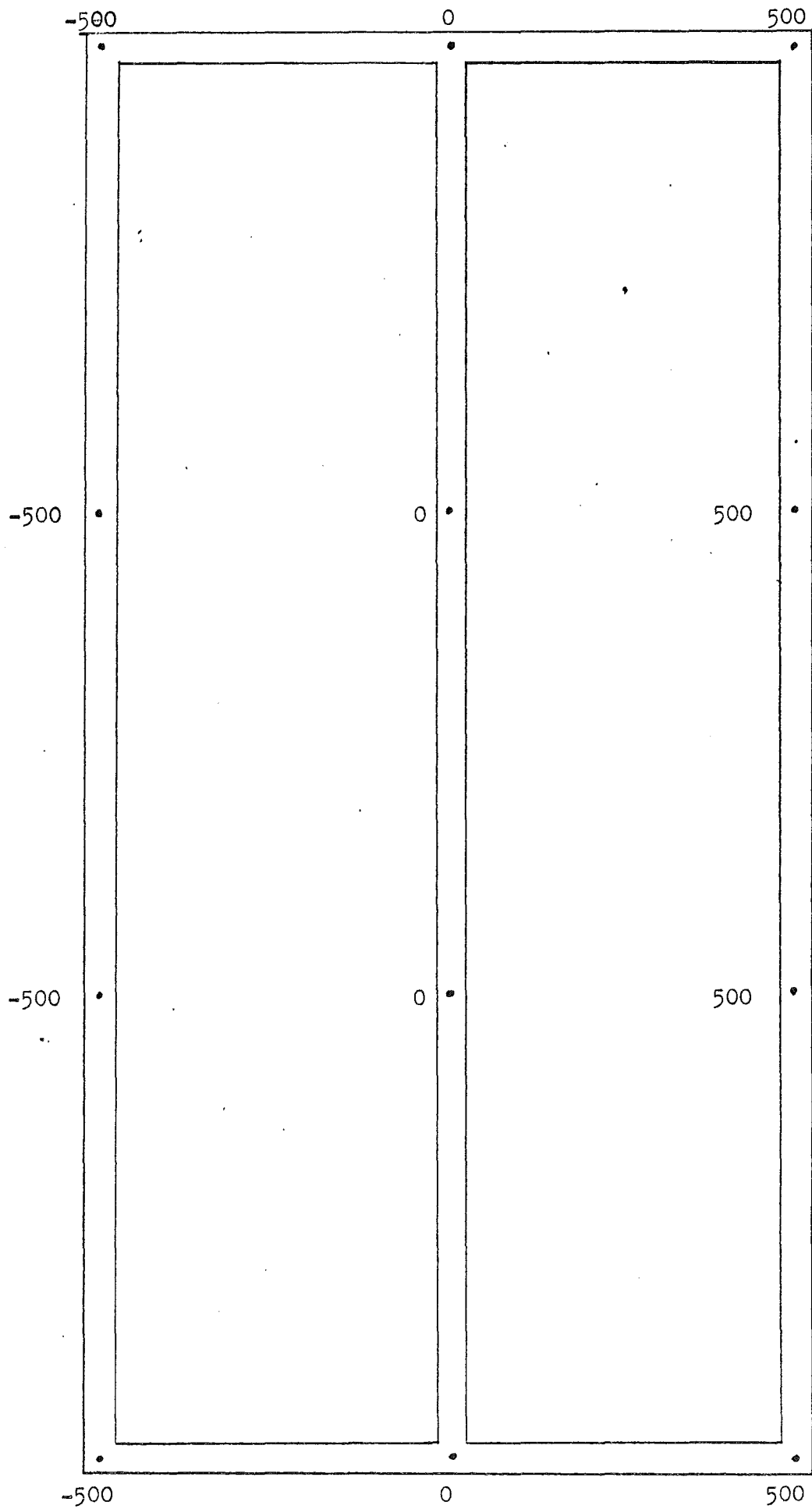
FÖRSKJUTNINGAR I Y-RIKTNING (mm). 1 ggr E-MODULER.



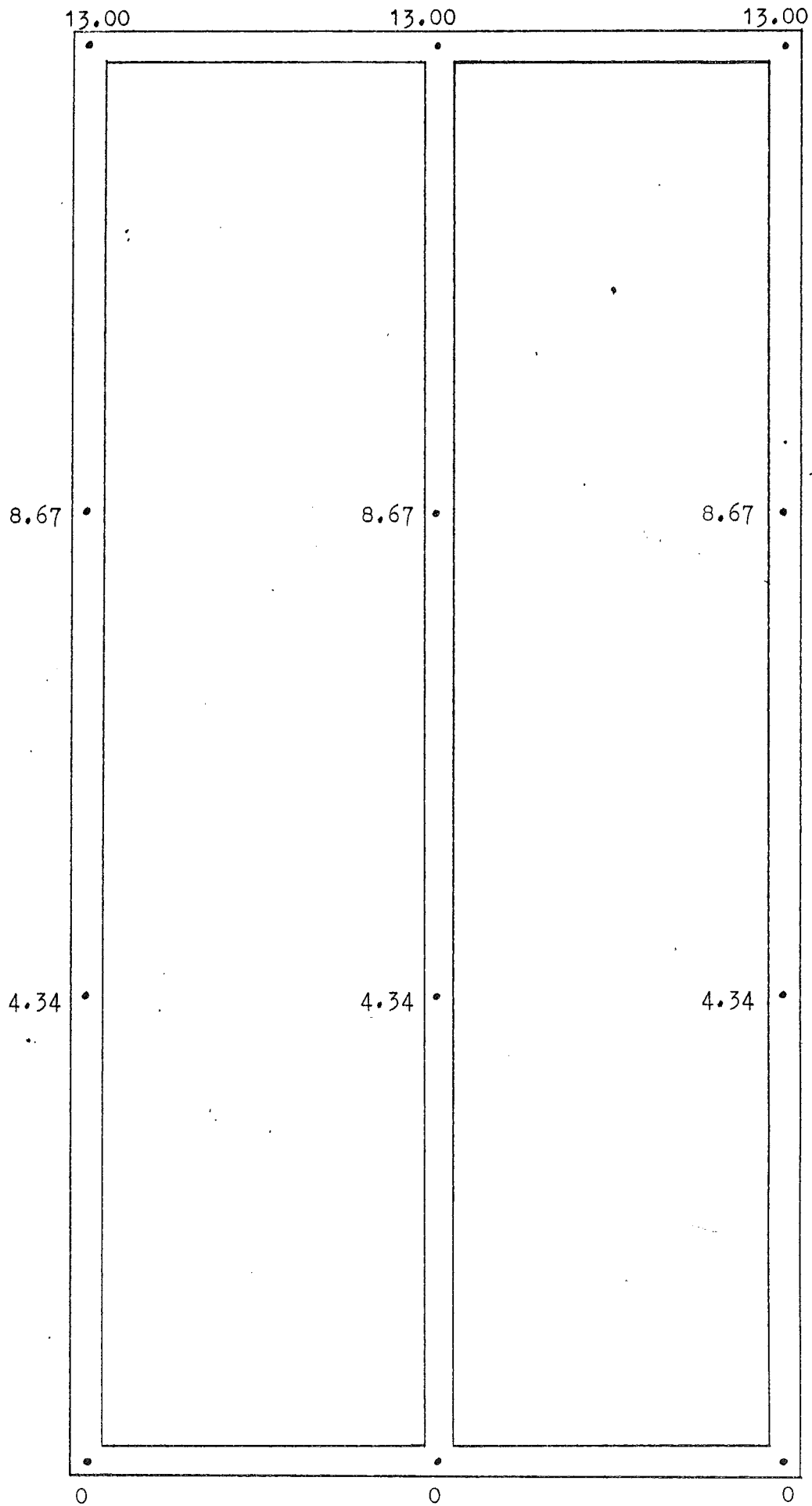
FÄSTDONSKRAFTER I X-RIKTNING (N). 100 ggr E-MODULER.



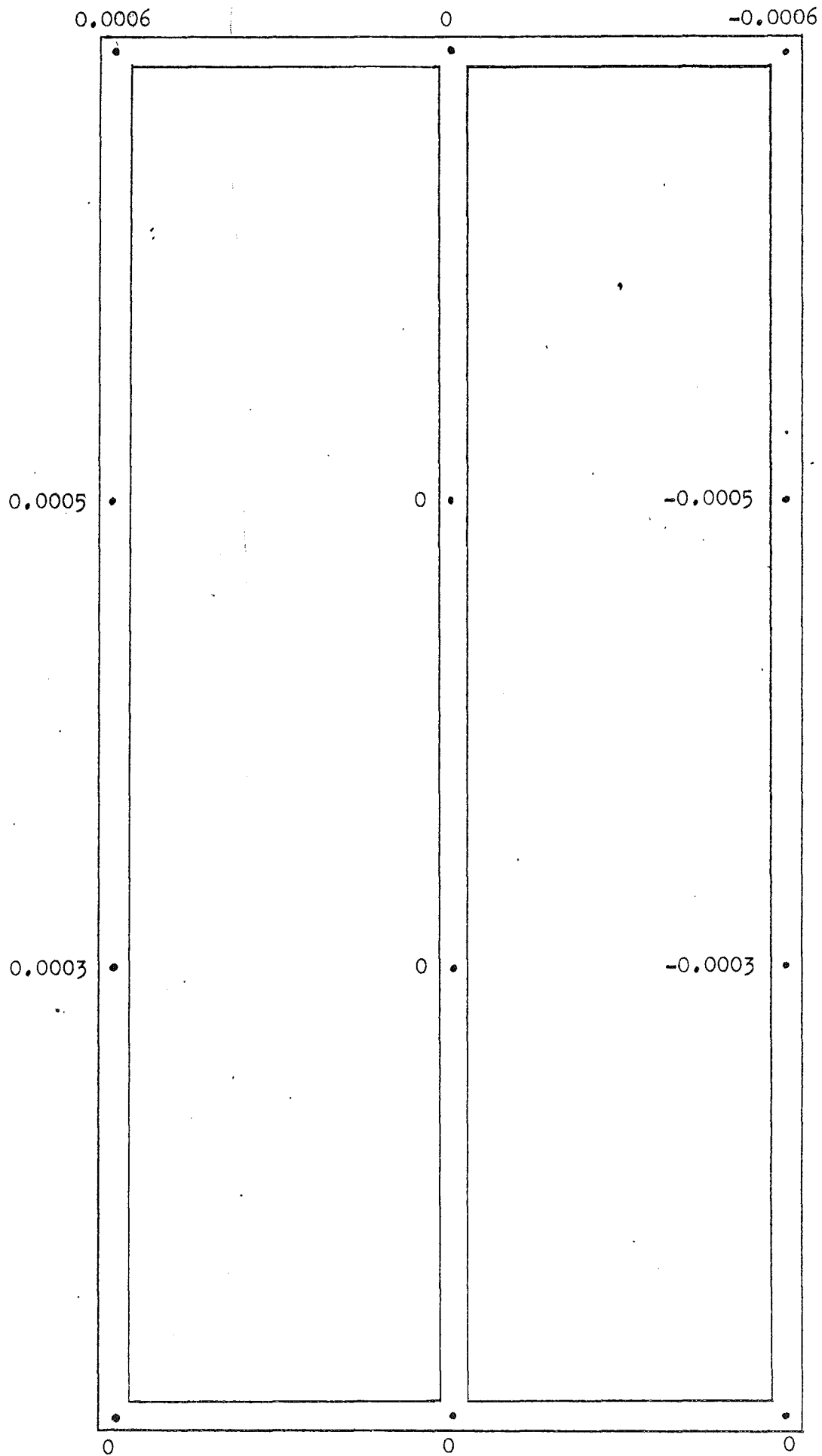
FÄSTDONSKRAFTER I Y-RIKTNING (N), 100 ggr E-MODULER.



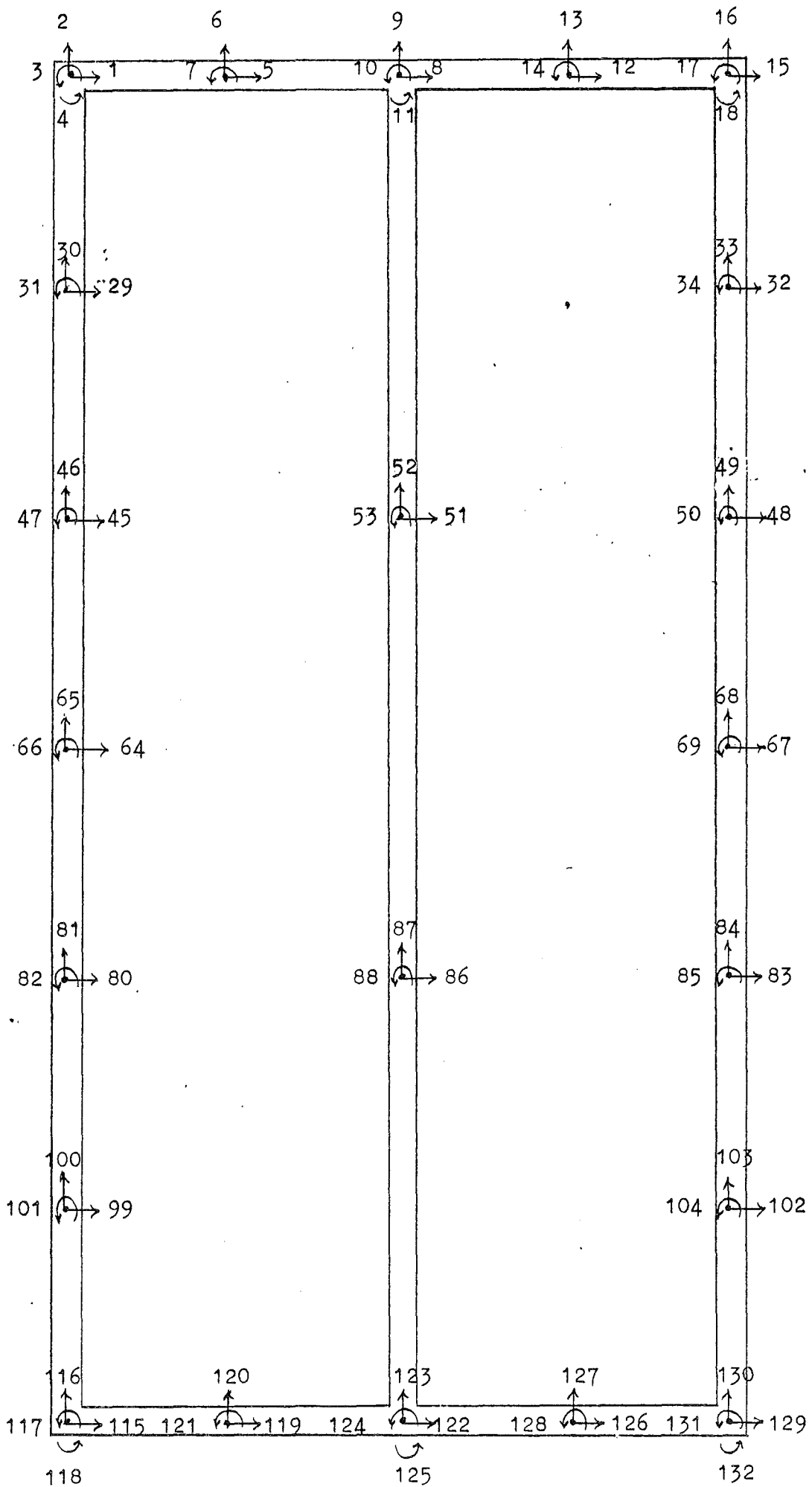
FÖRSKJUTNINGAR I X-RIKTNING (mm). 100 ggr E-MODULER.

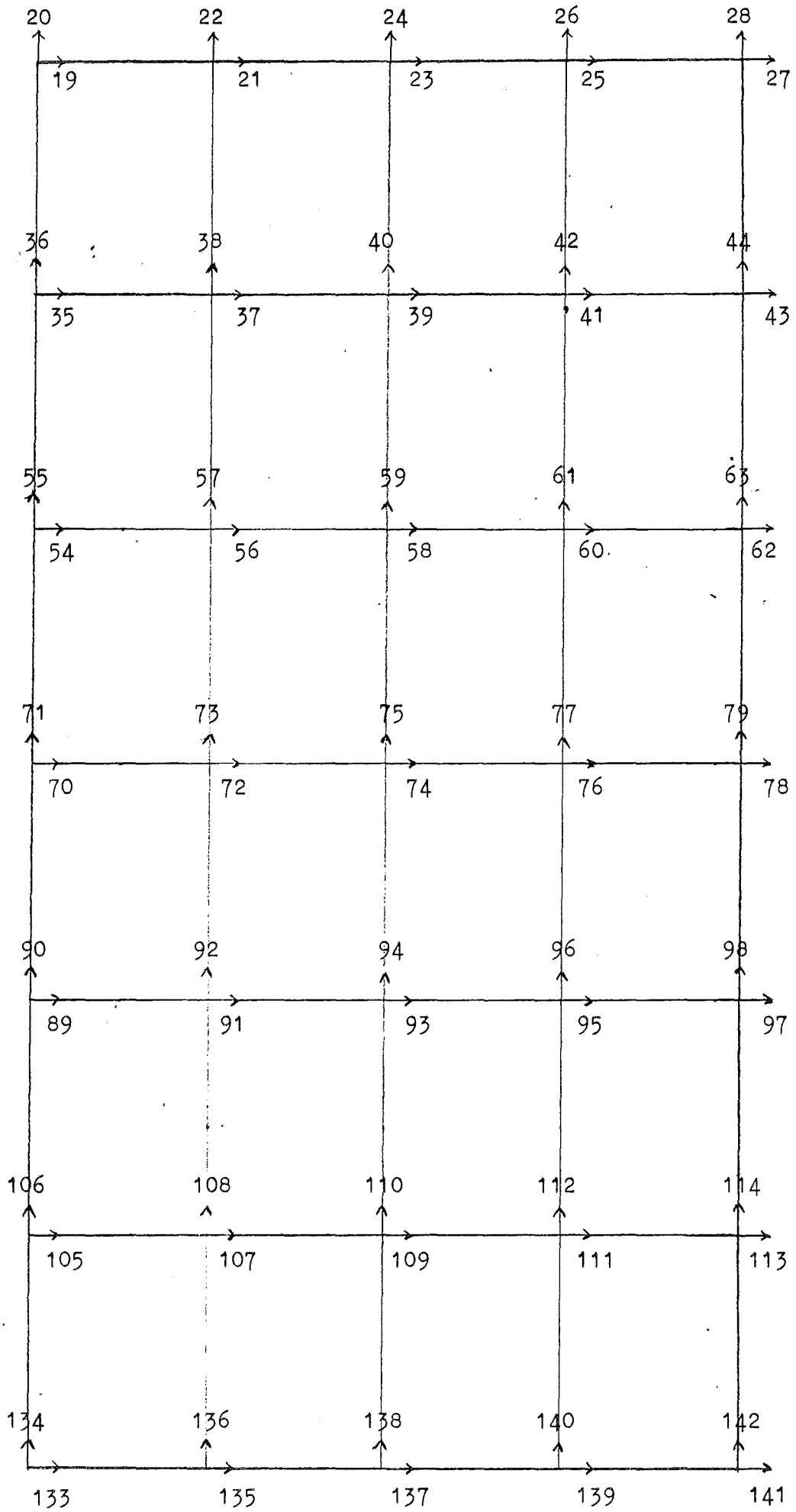


FÖRSKJUTNINGAR I Y-RIKTNING (mm). 100 ggr E-MODULER.

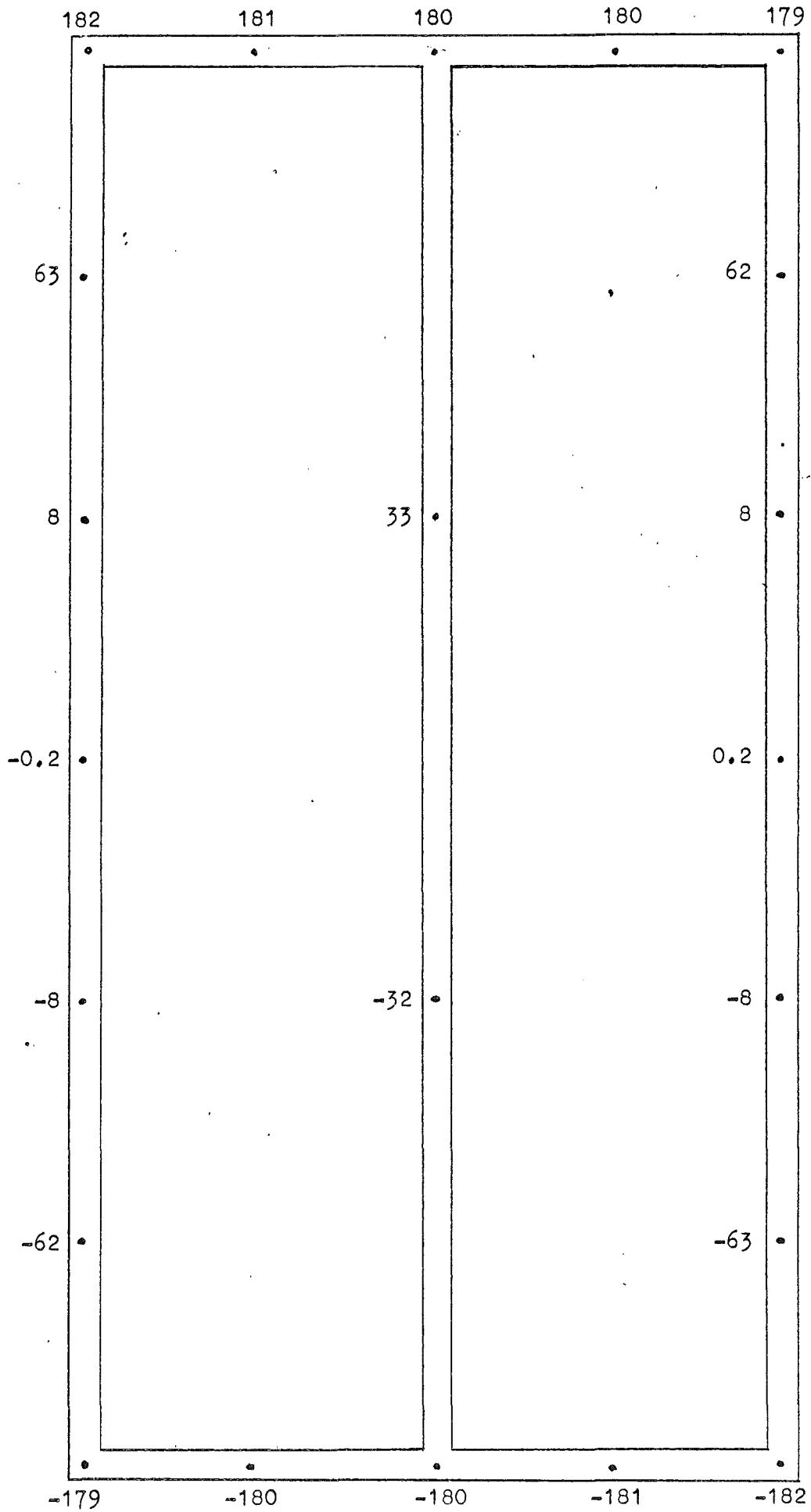


R=800 T=400 S=300

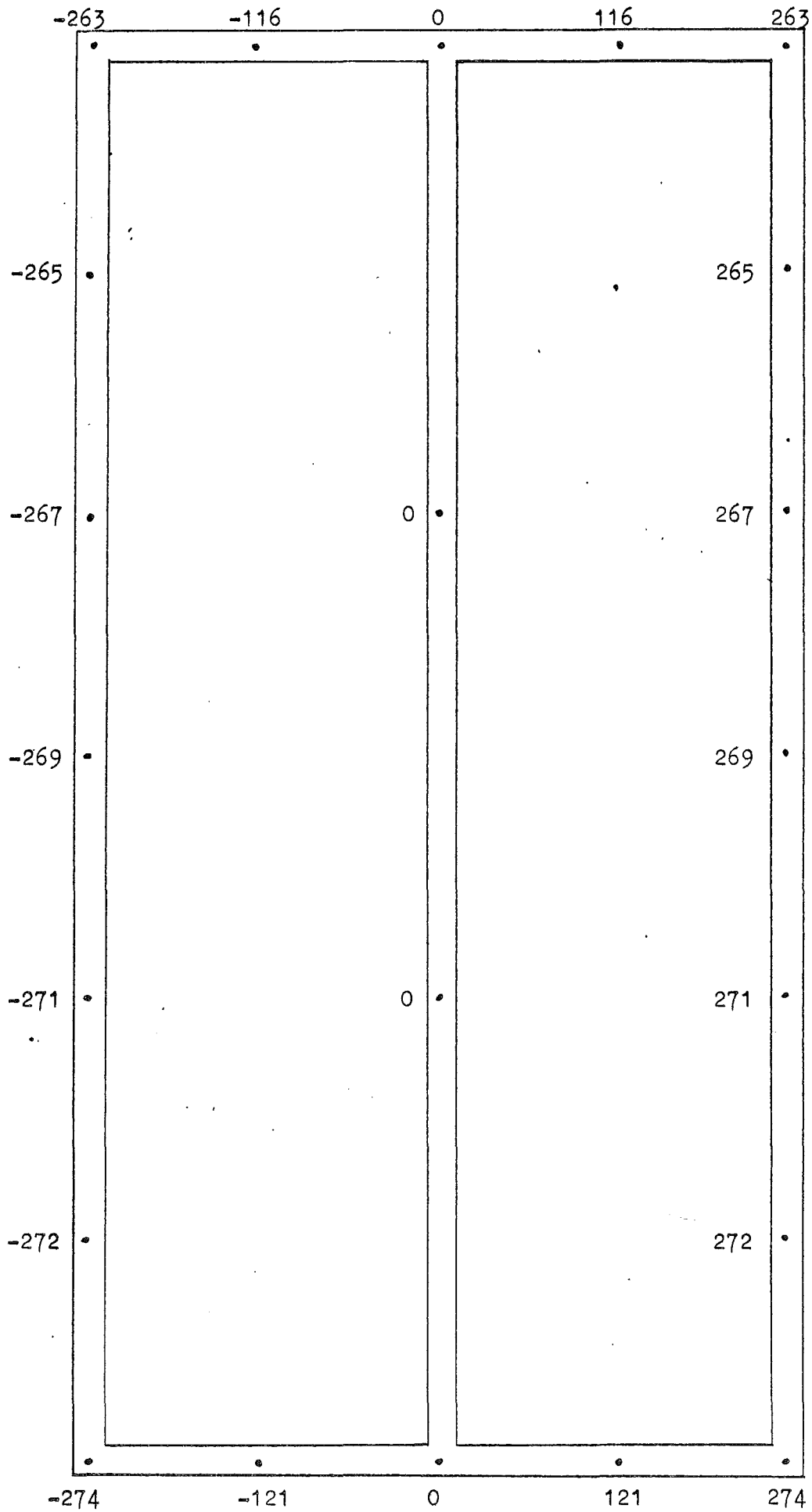




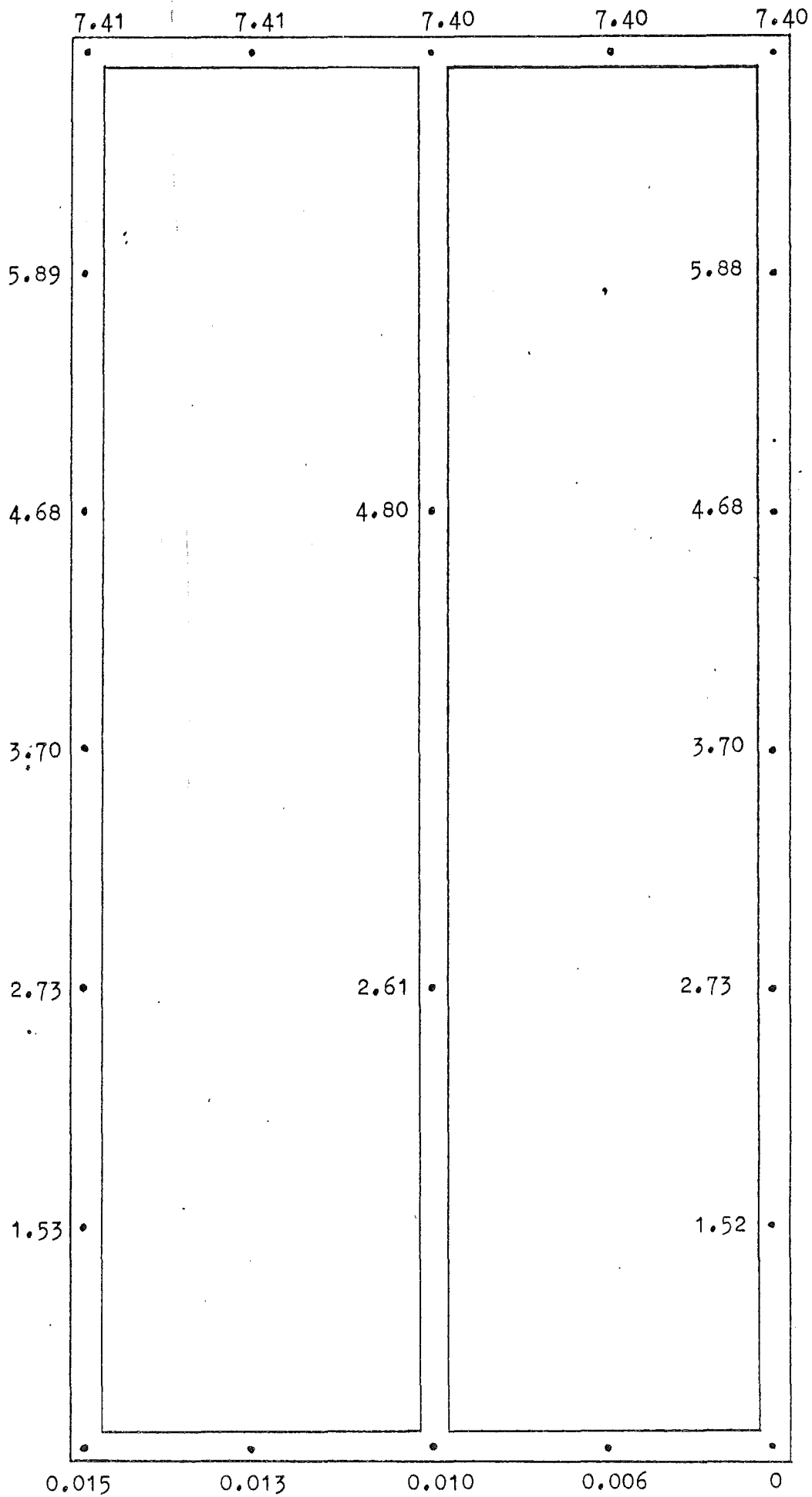
FÄSTDONSKRAFTER I X-RIKTNING (N). 1 ggr E-MODULER.



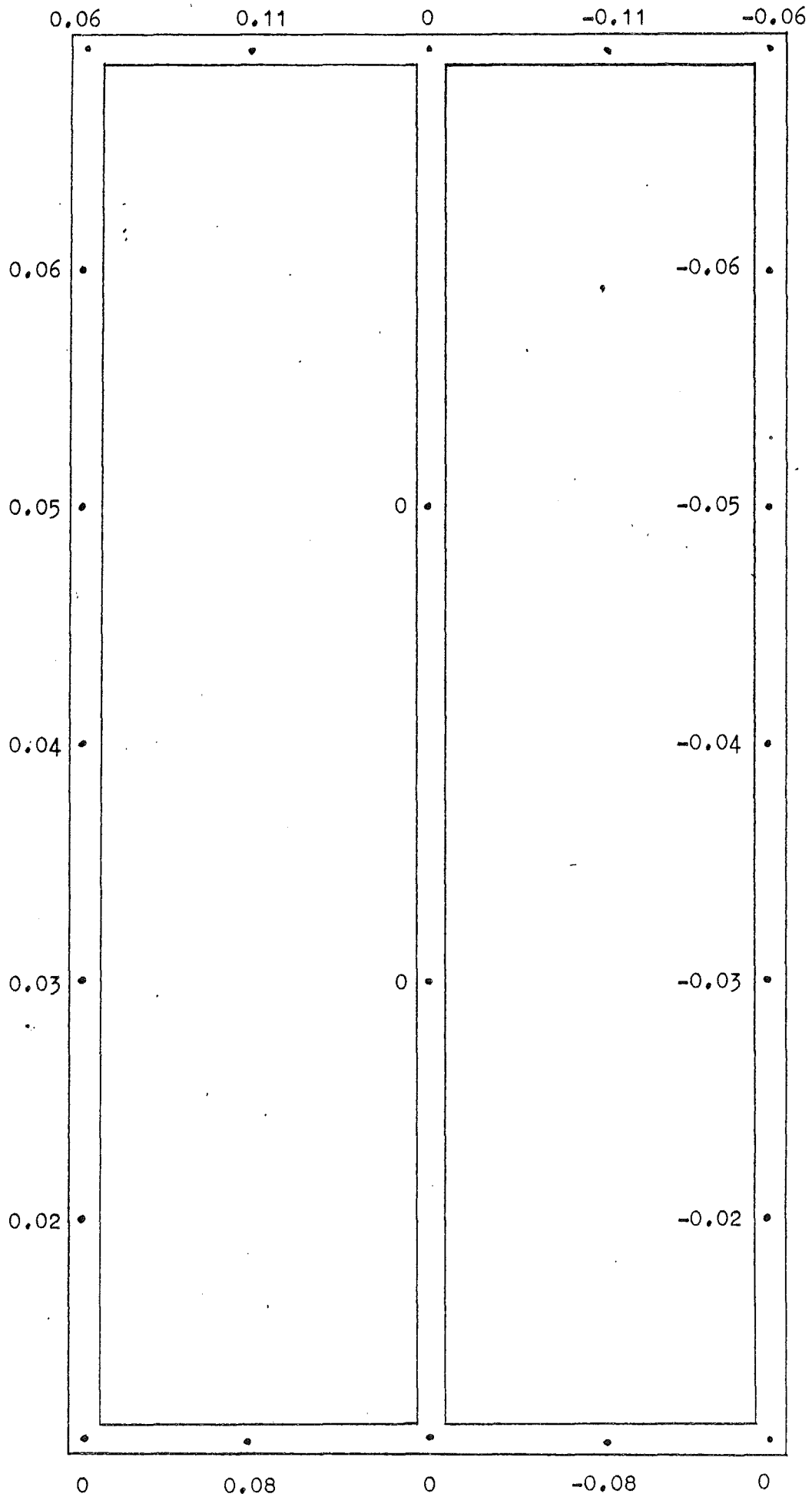
FÄSTDONSKRAFTER I Y-RIKTNING (N). 1 ggr E-MODULER.



FÖRSKJUTNINGAR I X-RIKTNING (mm). 1 ggr E-MODULER.



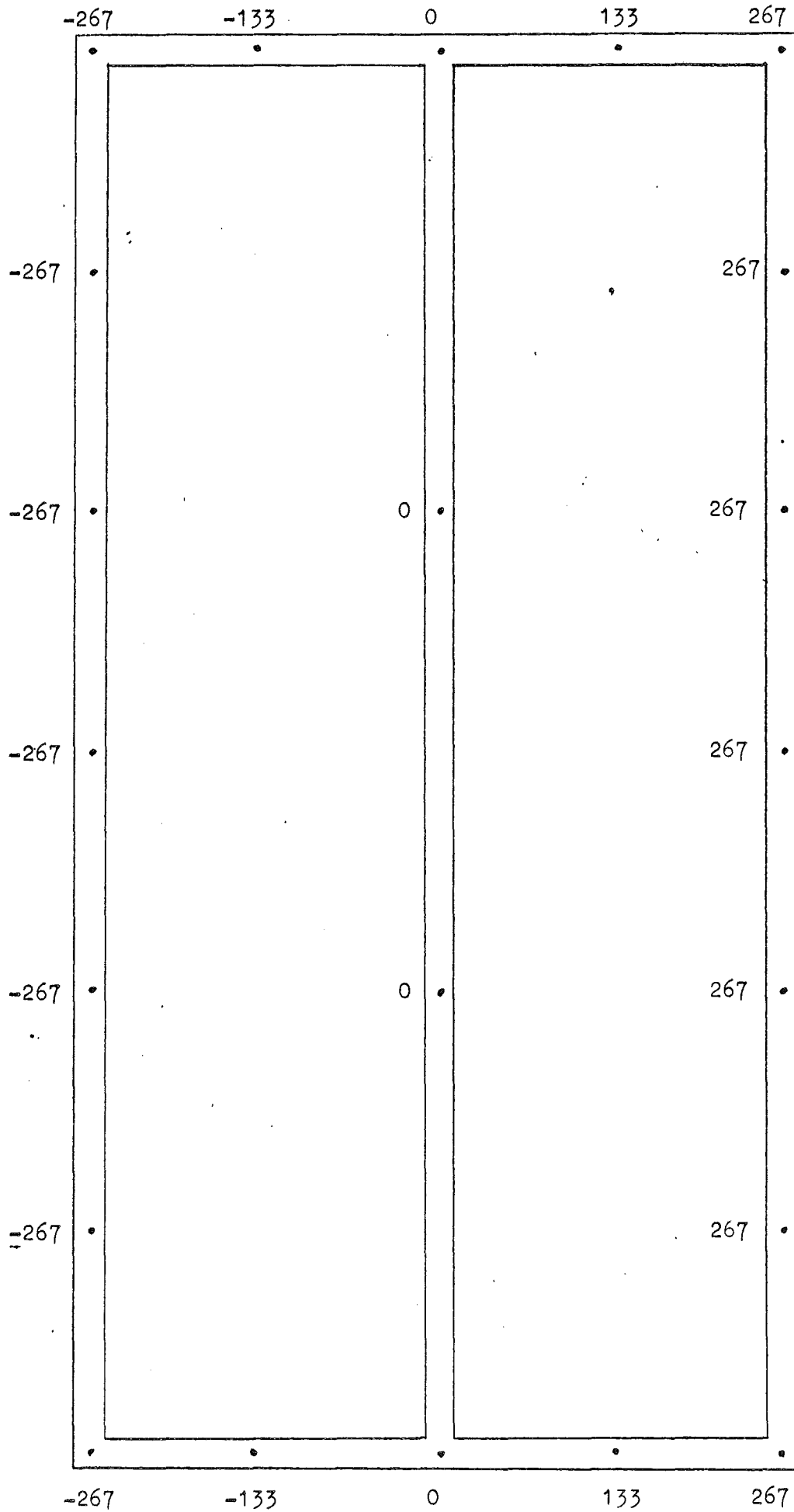
FÖRSKJUTNINGAR I Y-RIKTNING (mm). 1 ggr E-MODULER.



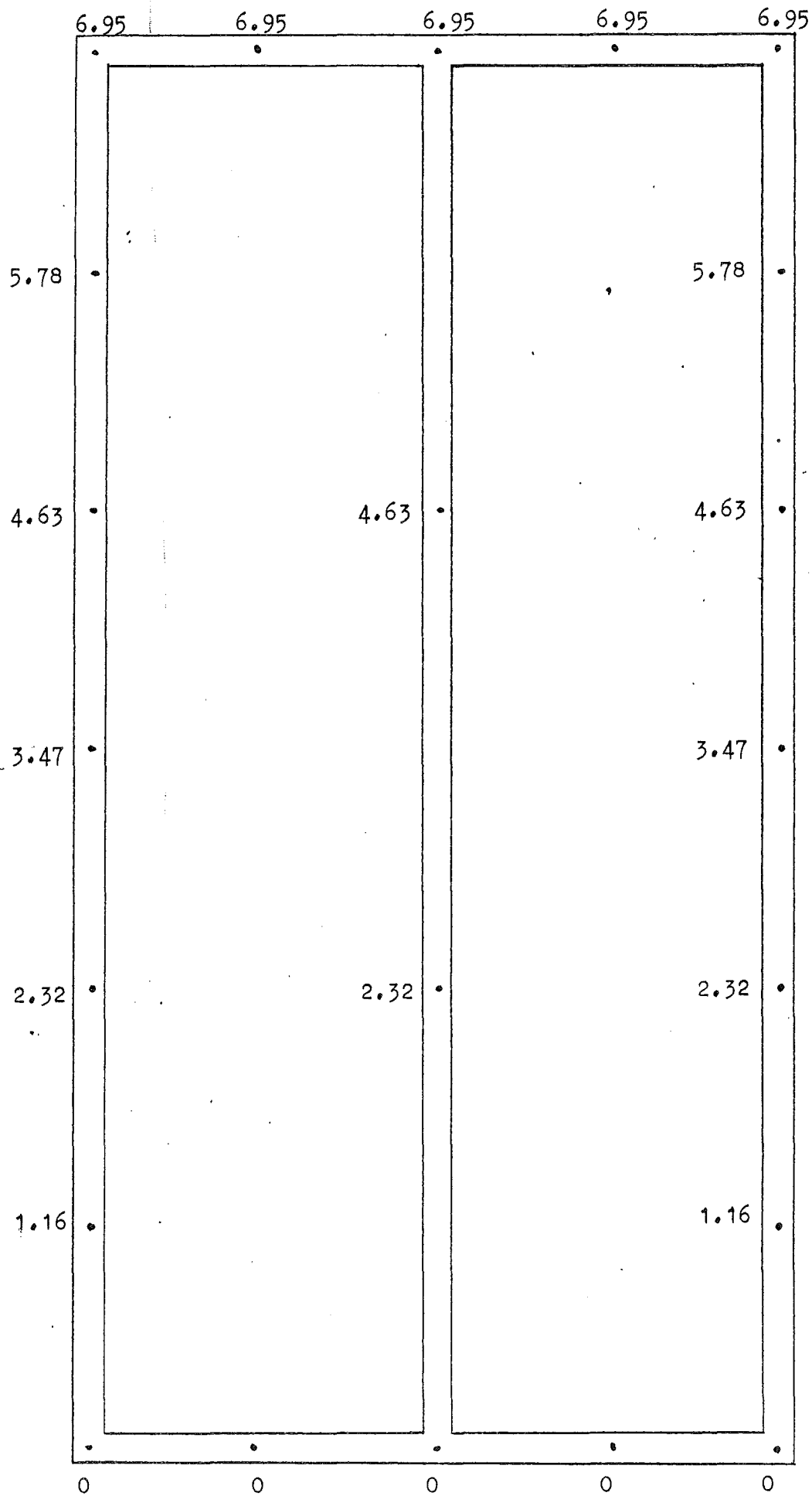
FÄSTDONSKRAFTER I X-RIKTNING (N). 100 ggr E-MODULER.



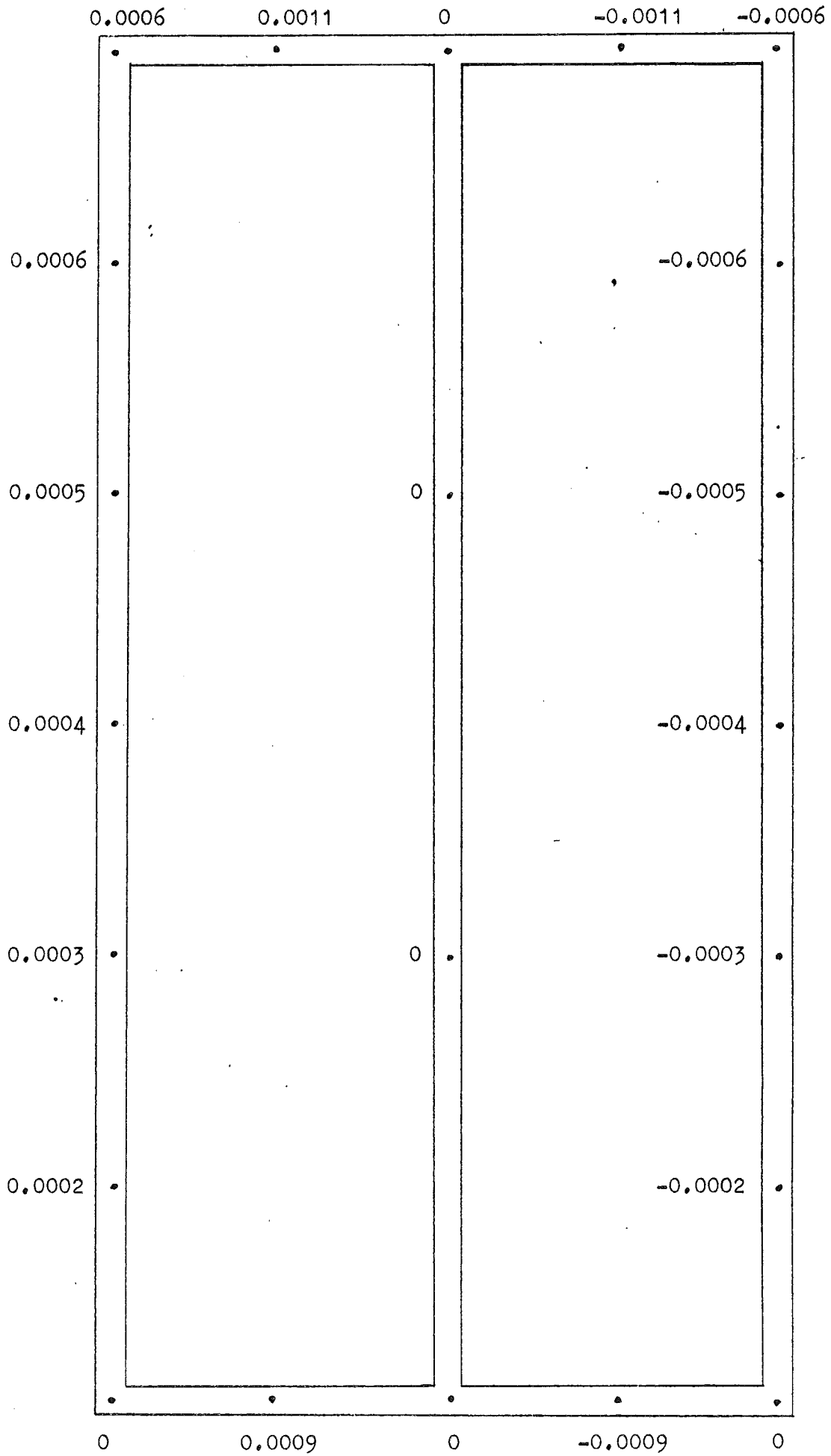
FÄSTDONSKRAFTER I Y-RIKTNING (N). 100 ggr E-MODULER.



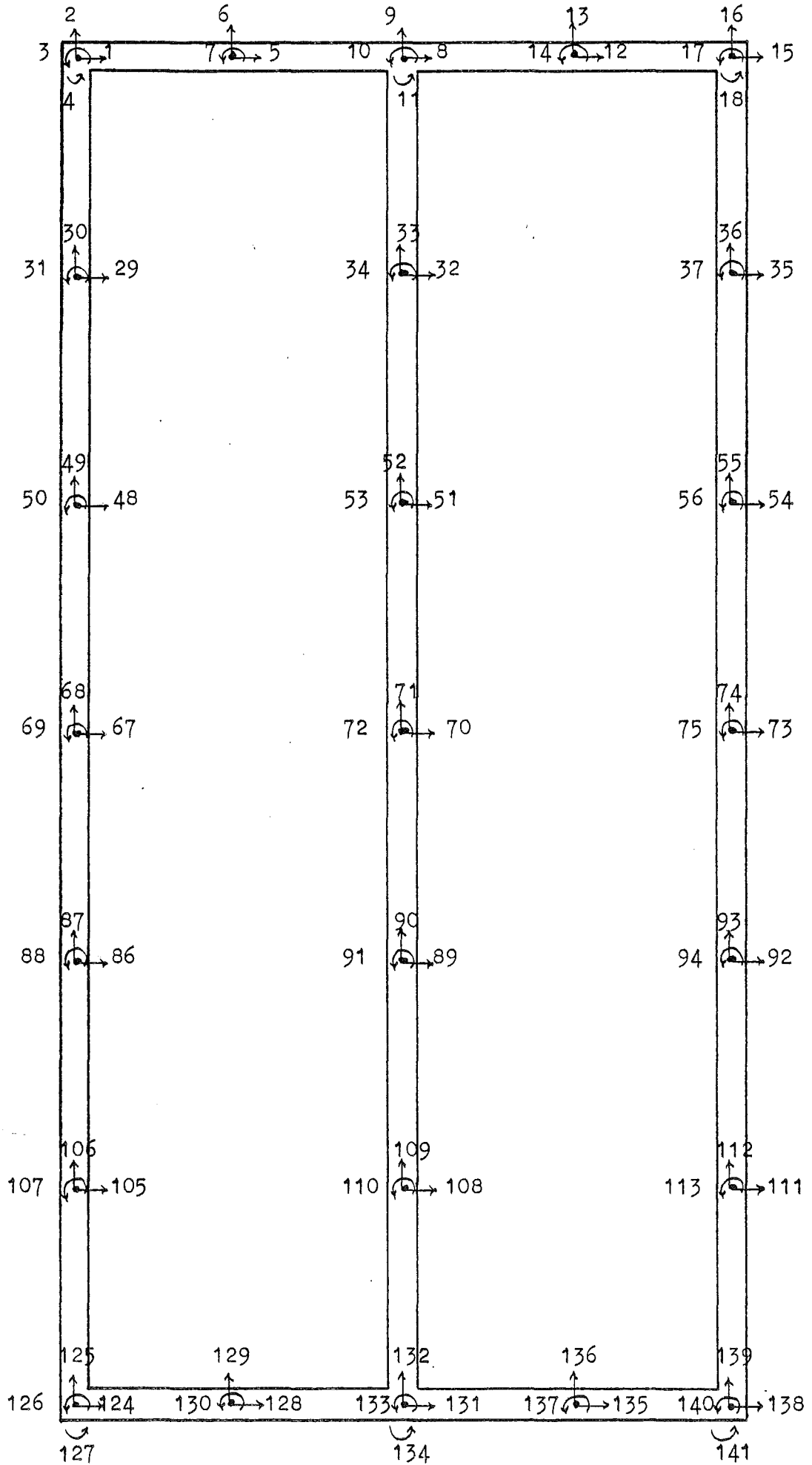
FÖRSKJUTNINGAR I X-RIKTNING (mm). 100 ggr E-MODULER.

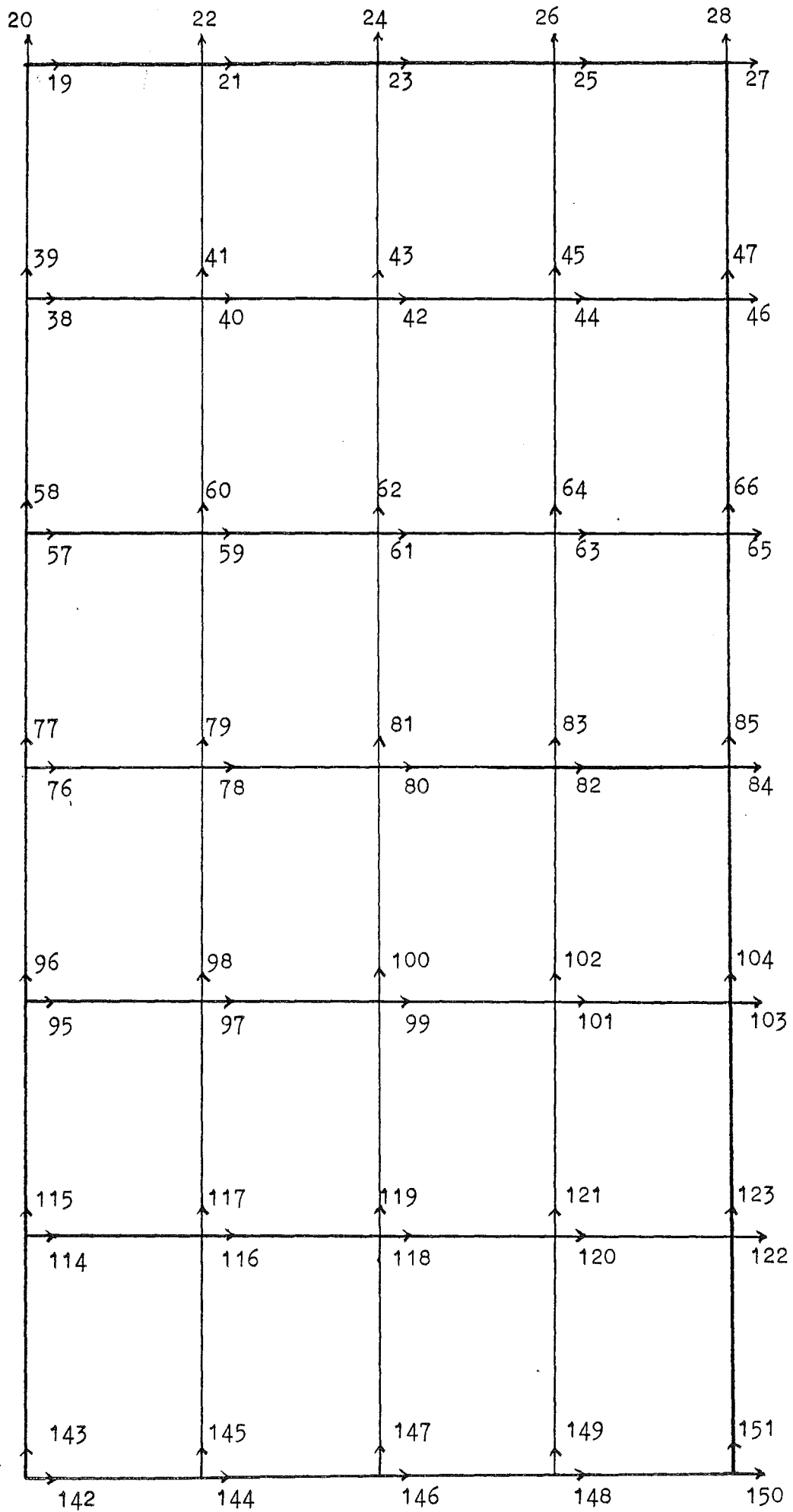


FÖRSKJUTNINGAR I Y-RIKTNING (mm), 100 ggr E-MODULER.

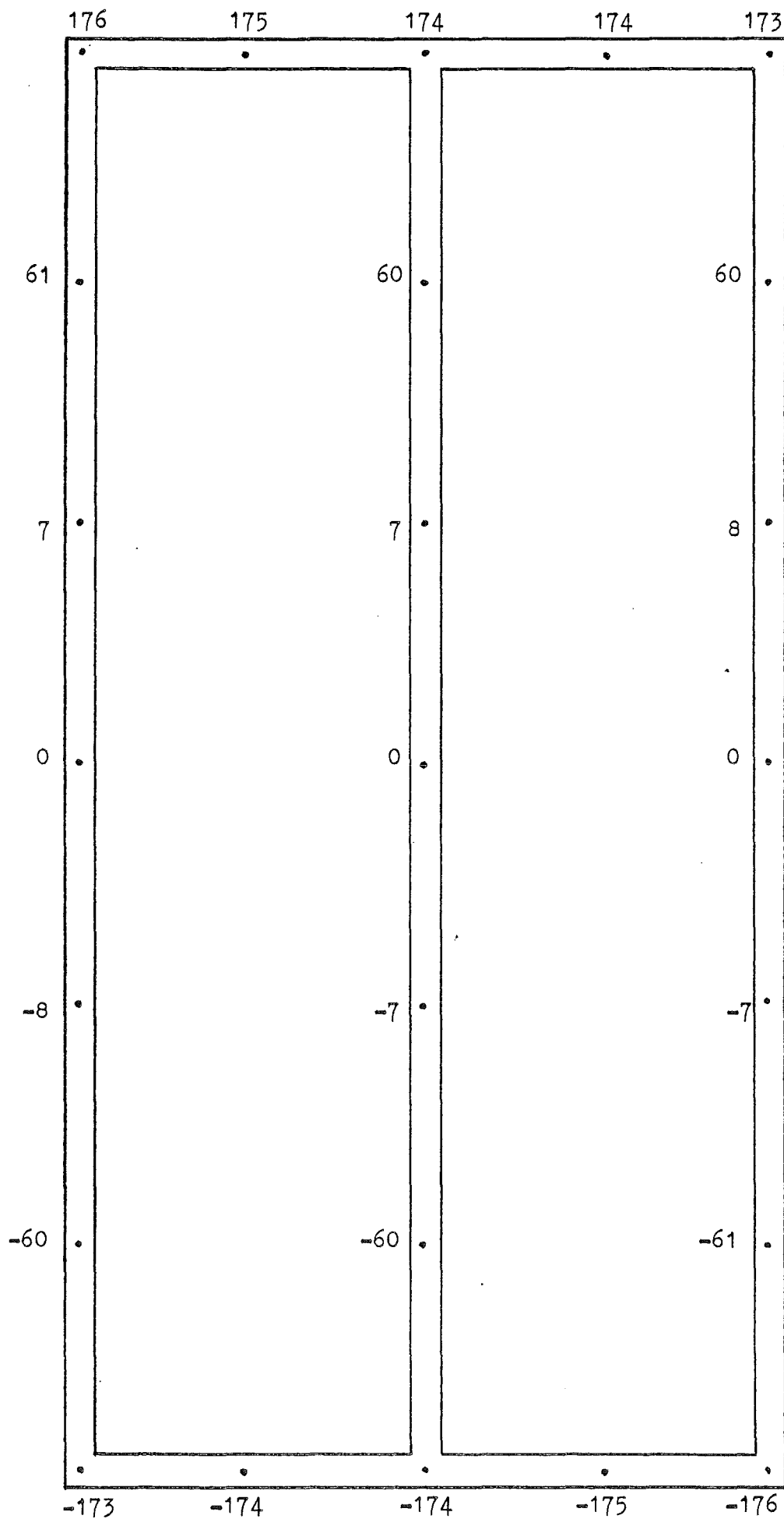


R=400 T=400 S=300

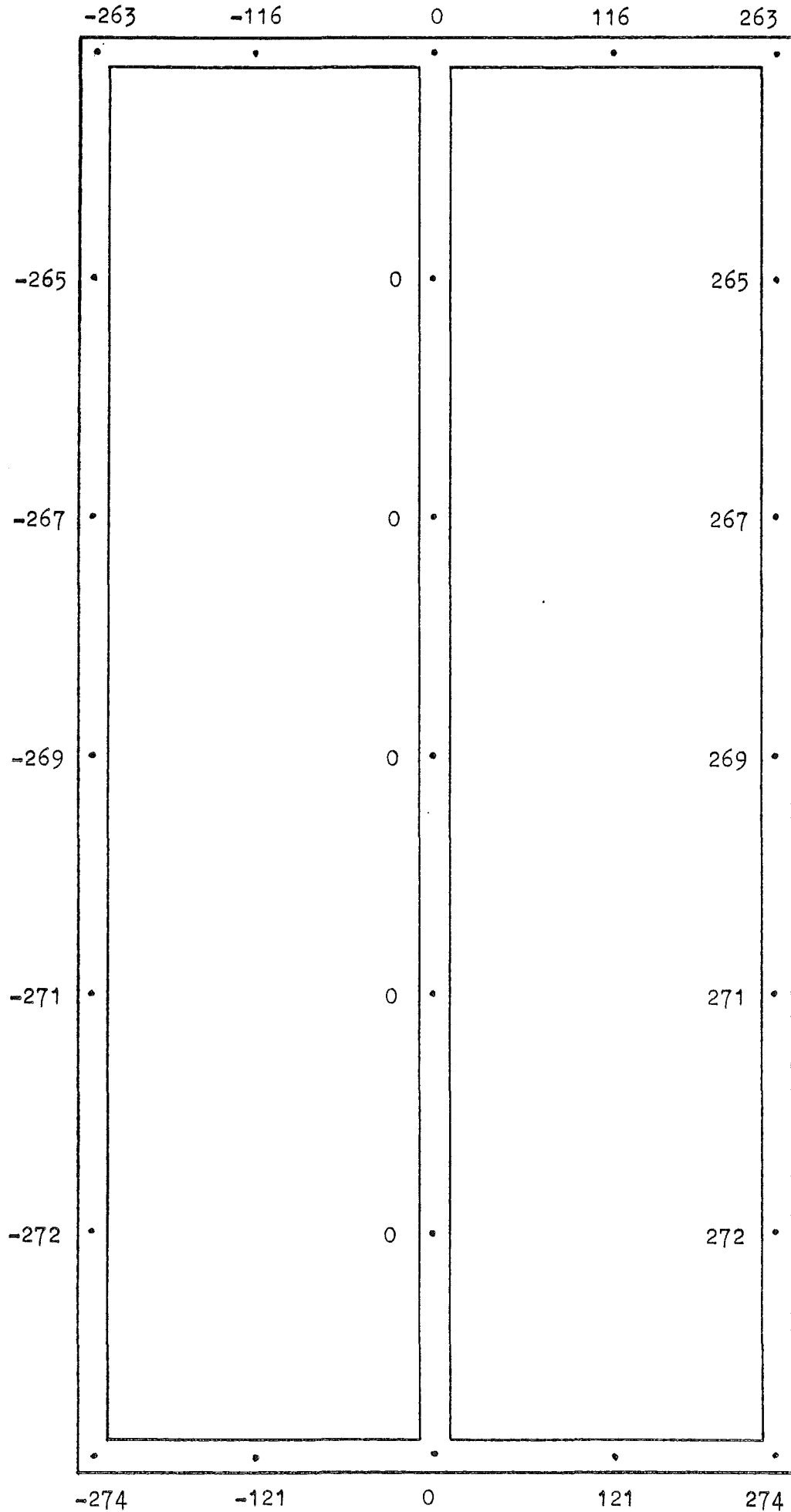




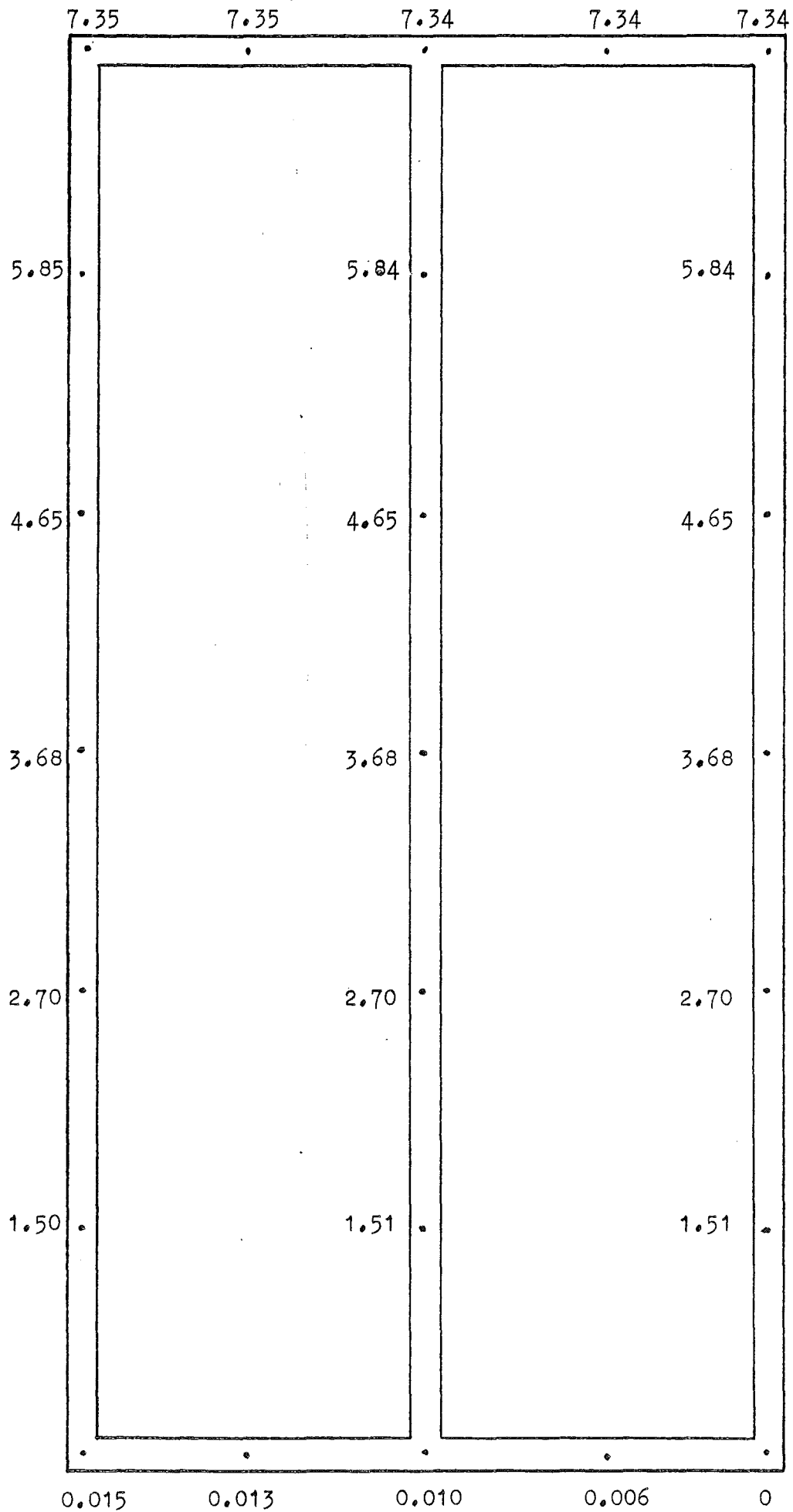
FÄSTDONSKRAFTER I X-RIKTNING (N). 1: ggr E-MODULER.



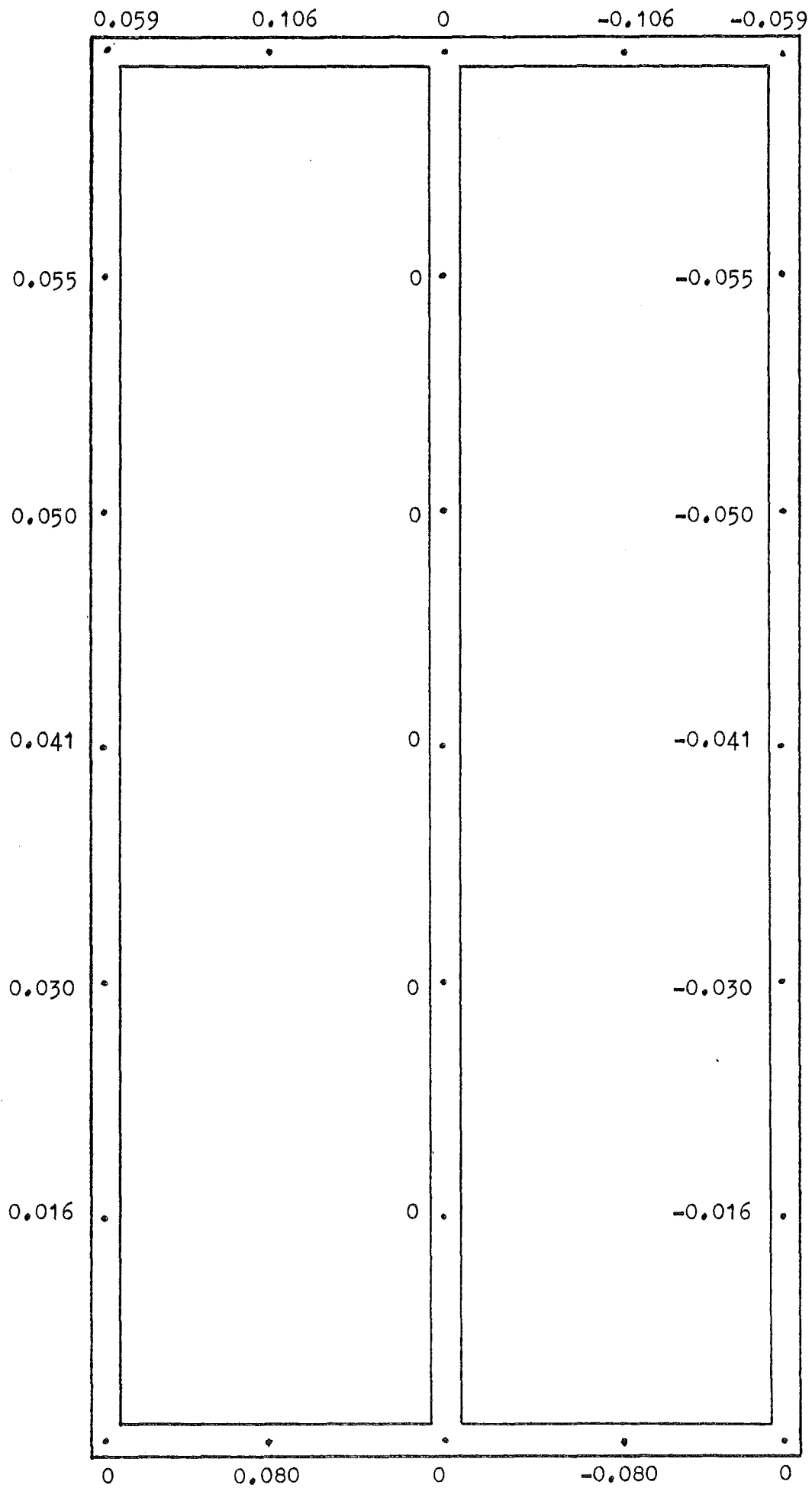
FÄSTDONSKRAFTER I Y-RIKTNING (N). 1 ggr E-MODULER.



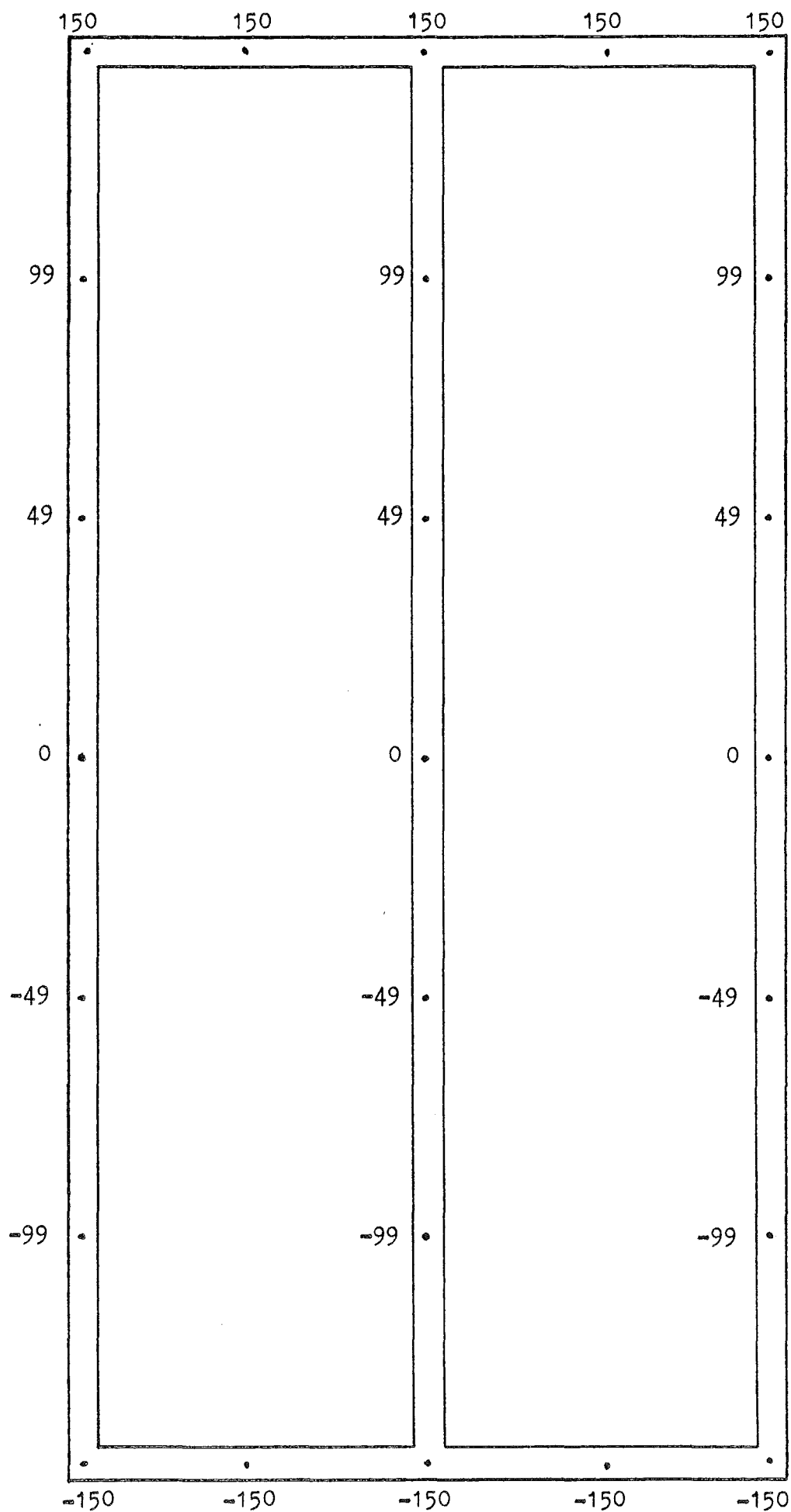
FÖRSKJUTNING I X-RIKTNING (mm). 1 ggr E-MODULER.



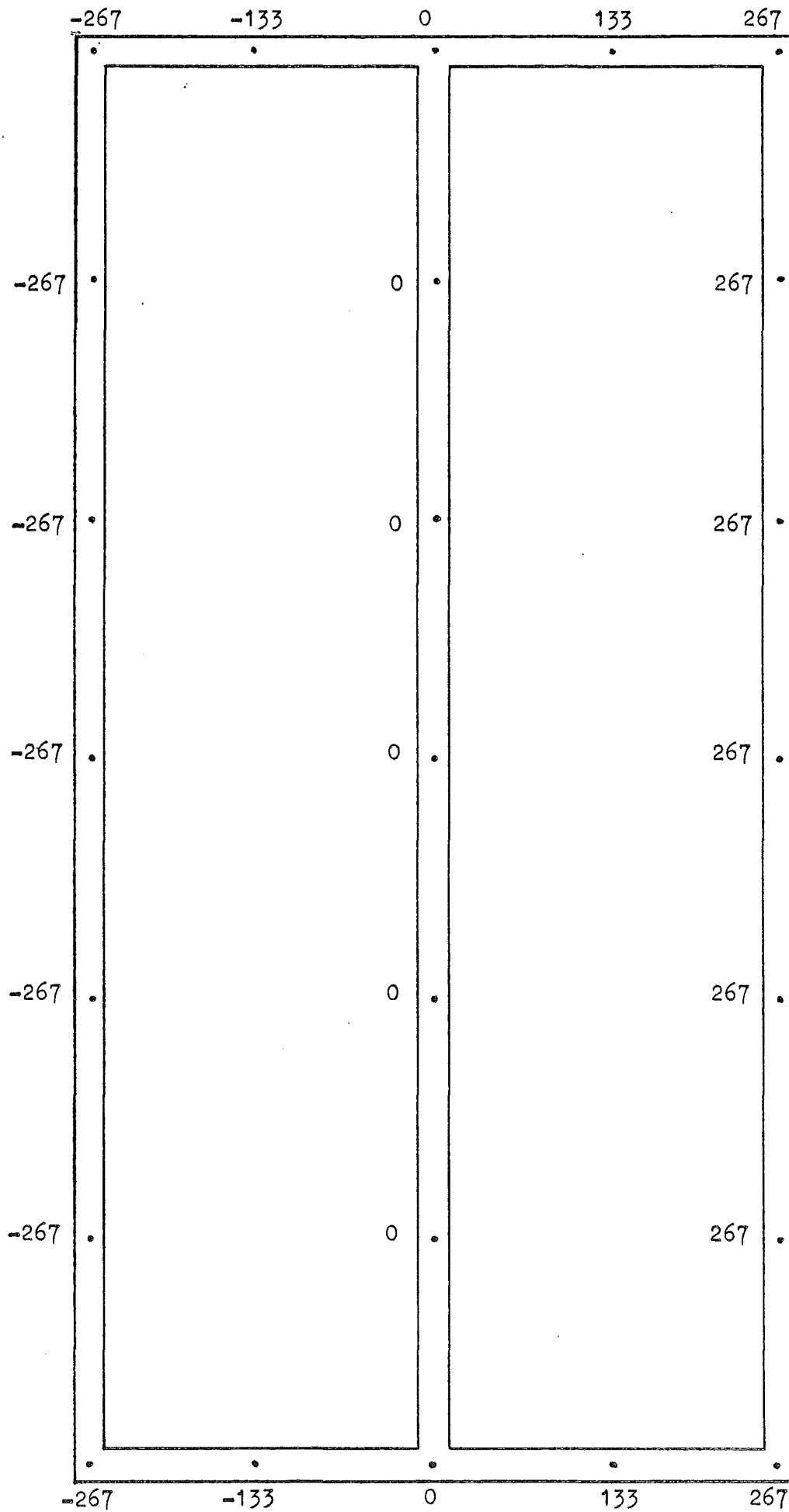
FÖRSKJUTNING I Y-RIKTNING (mm). 1 ggr E-MODULER.



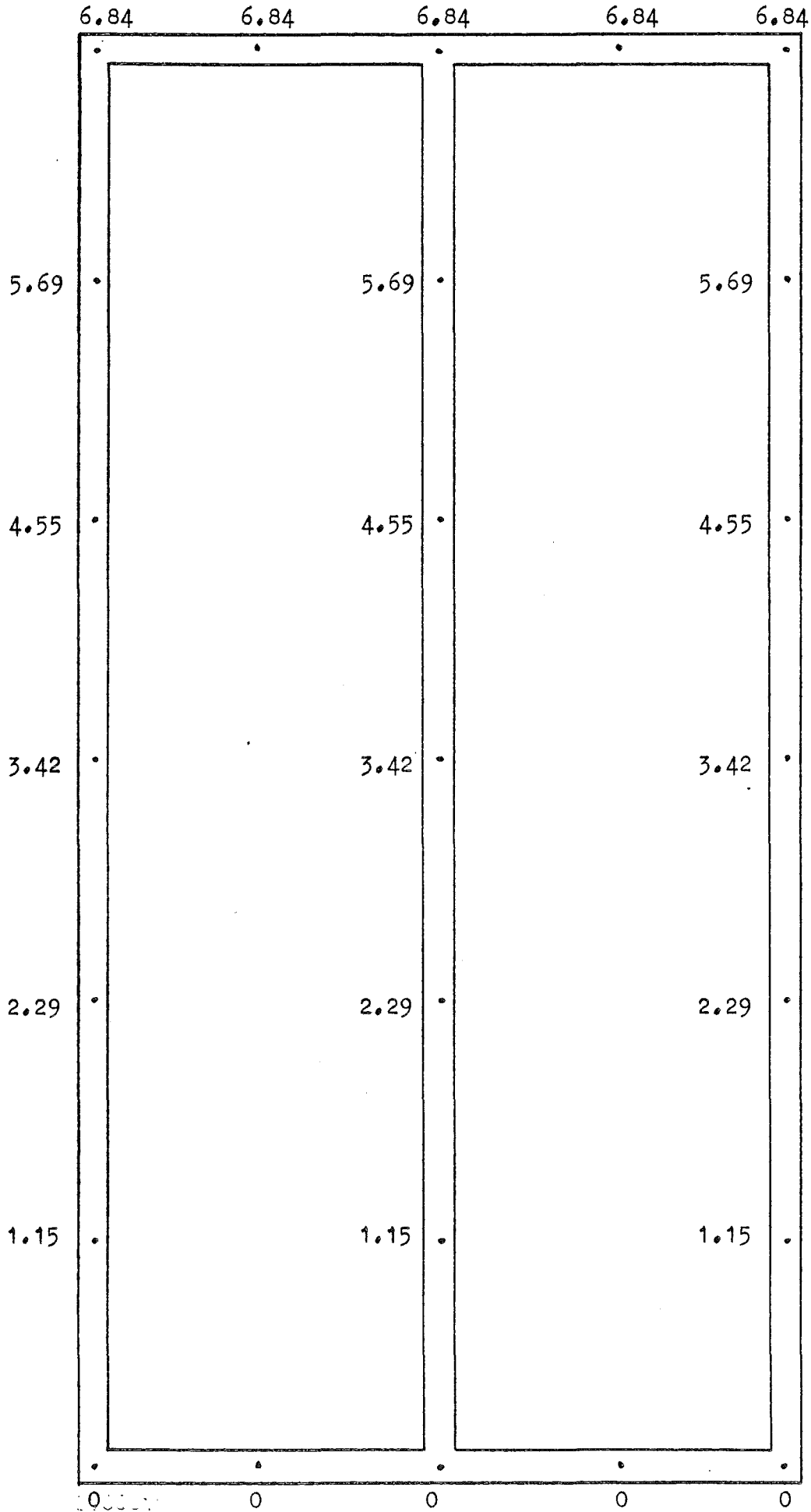
FÄSTDONSKRAFTER I X-RIKTNING (N). 100 ggr E-MODULER.



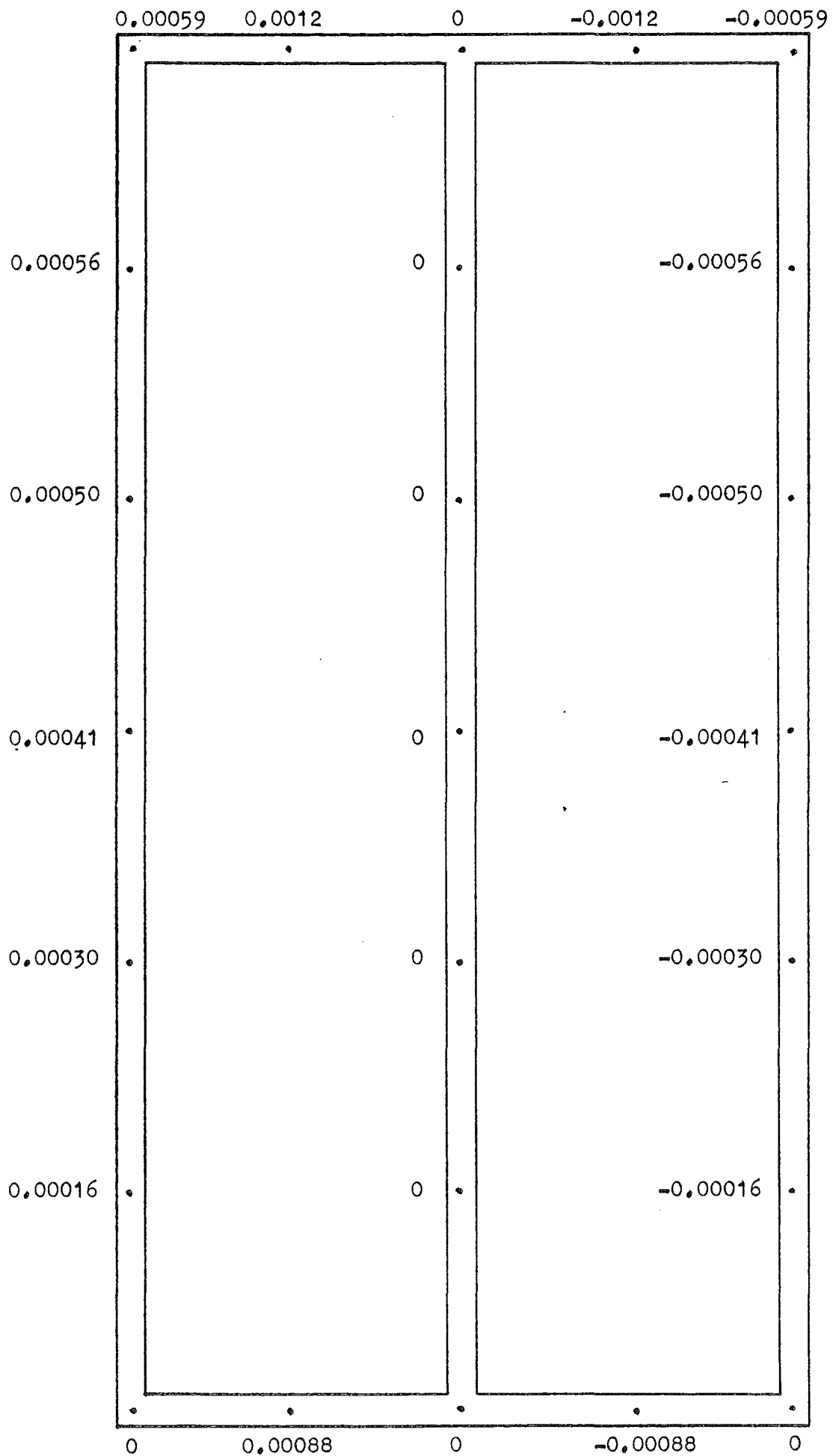
FÄSTDONSKRAFTER I Y-RIKTNING (N). 100 ggr E-MODULER.



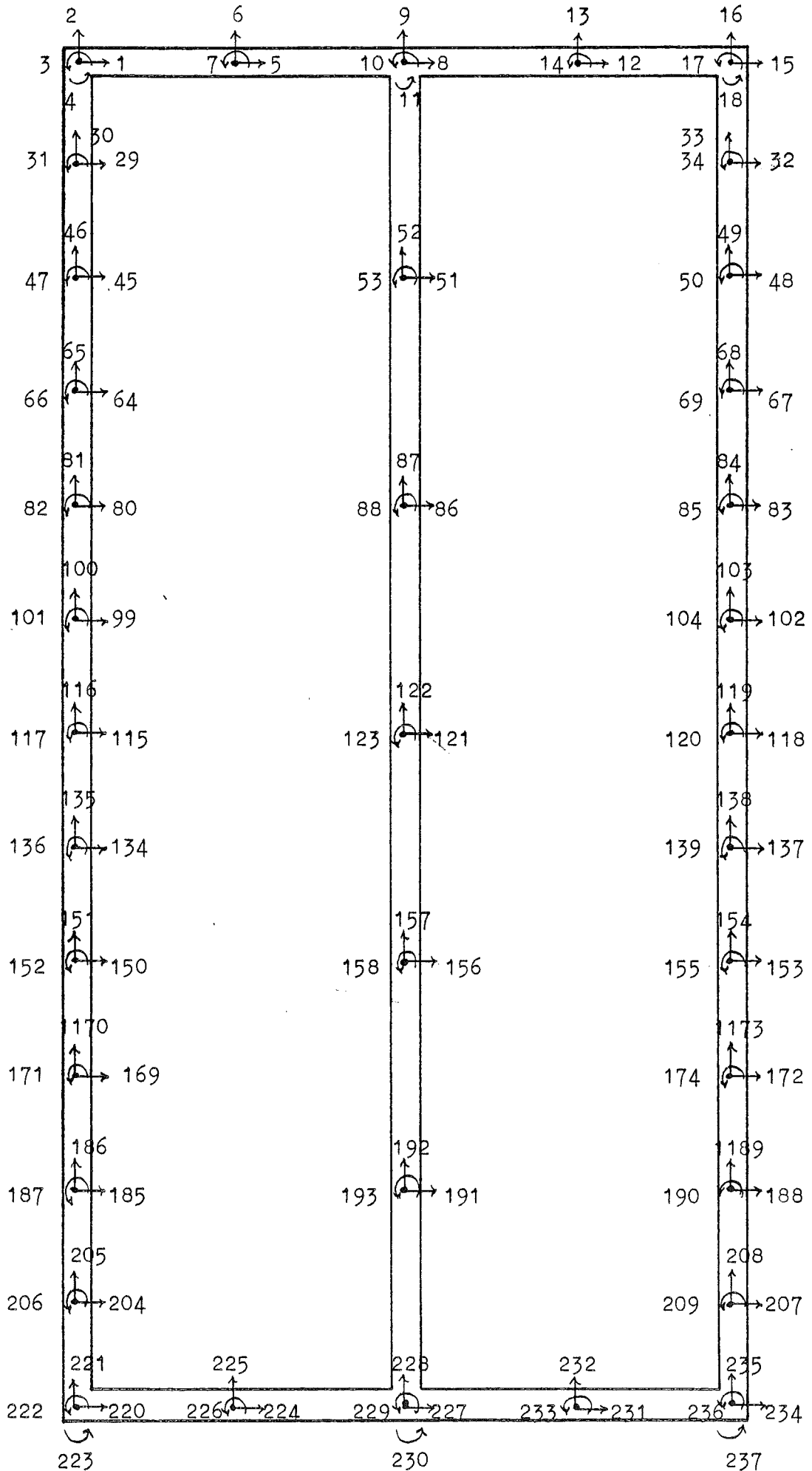
FÖRSKJUTNING I X-RIKTNING (mm), 100 ggr E-MODULER.

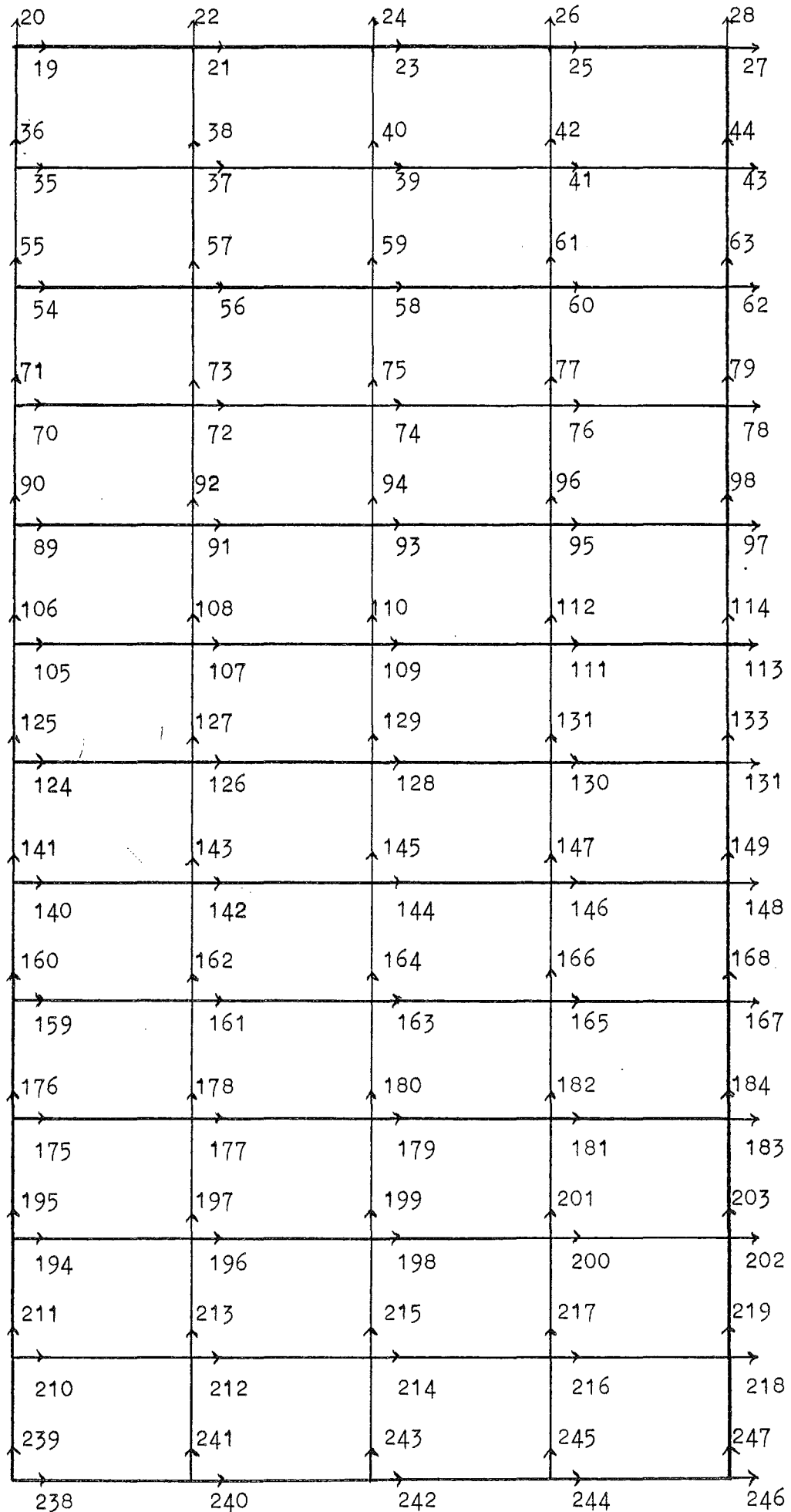


FÖRSKJUTNING I Y-RIKTNING (mm). 100 ggr E-MODULER.

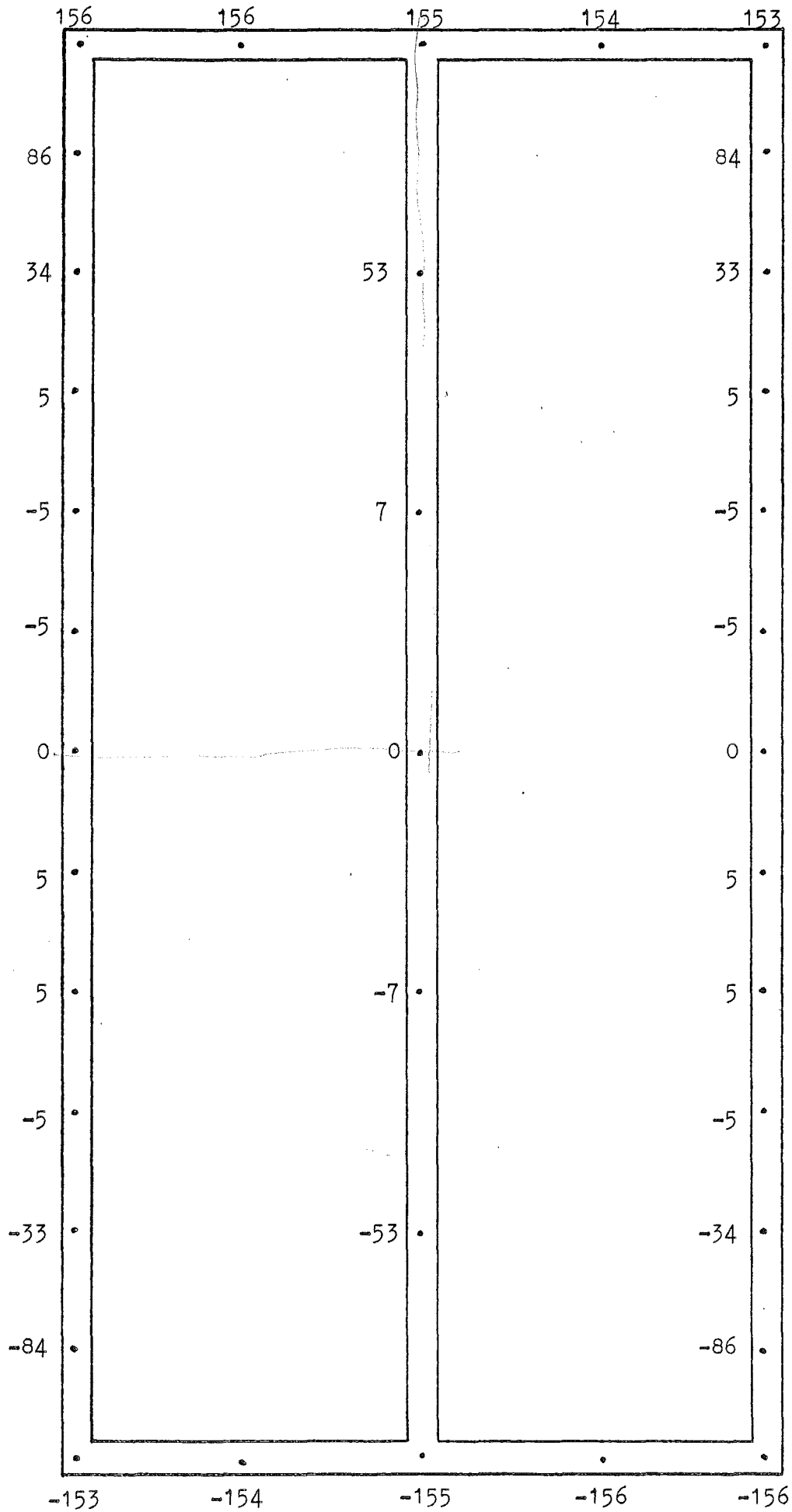


R=400 T=200 S=300

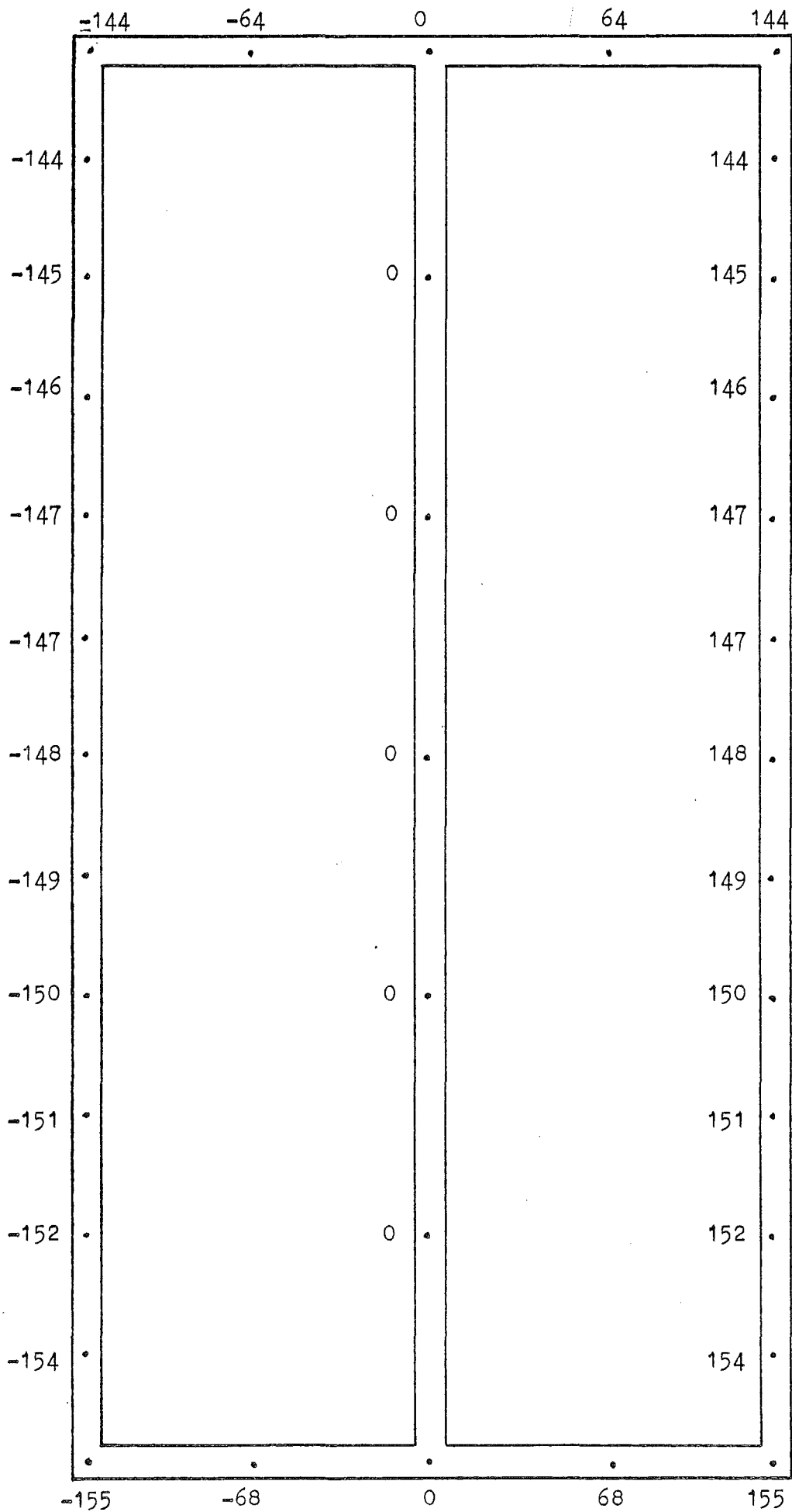




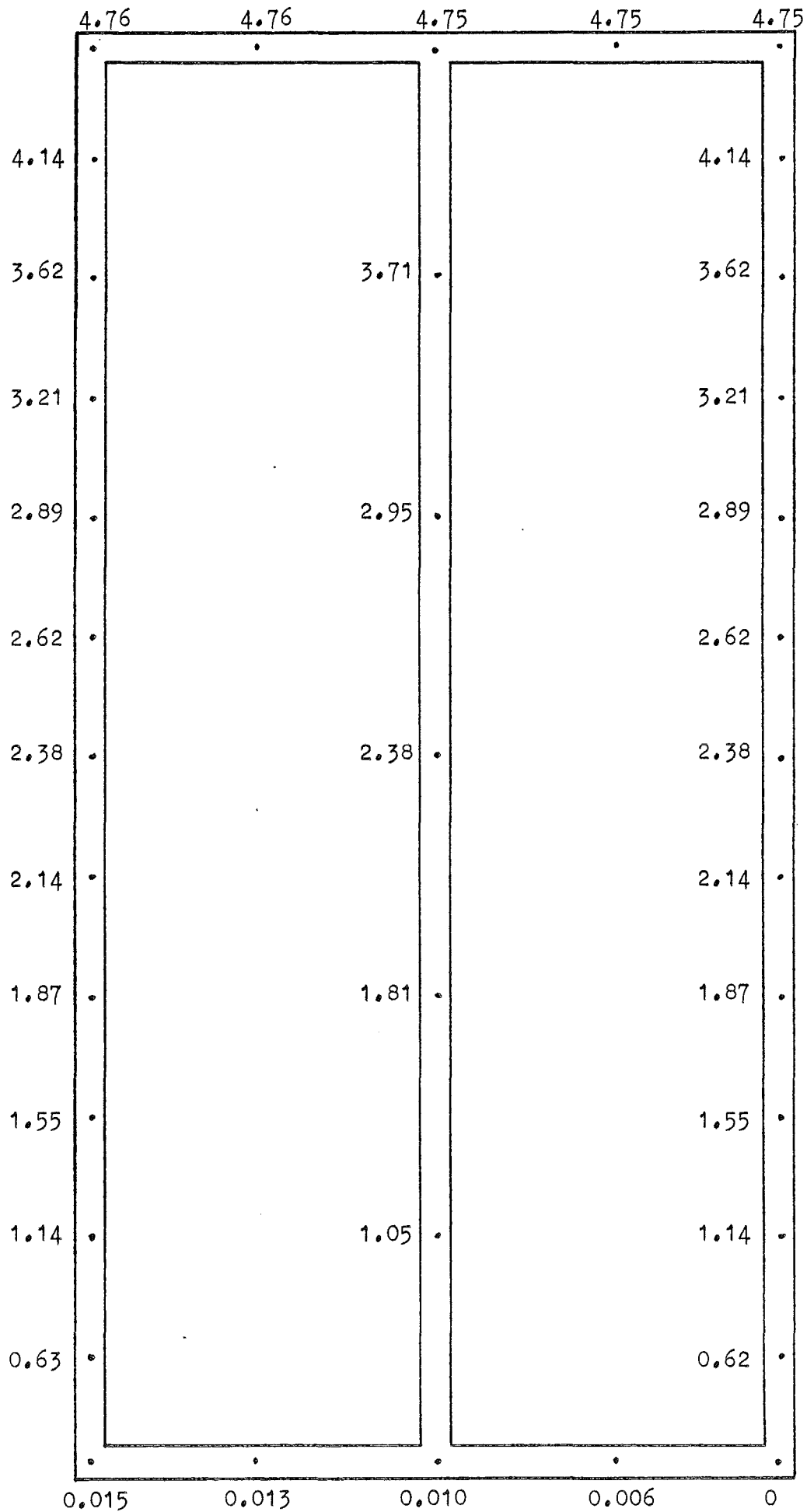
FÄSTDONSKRAFTER I X-RIKTNING (N). 1 ggr E-MODULER.



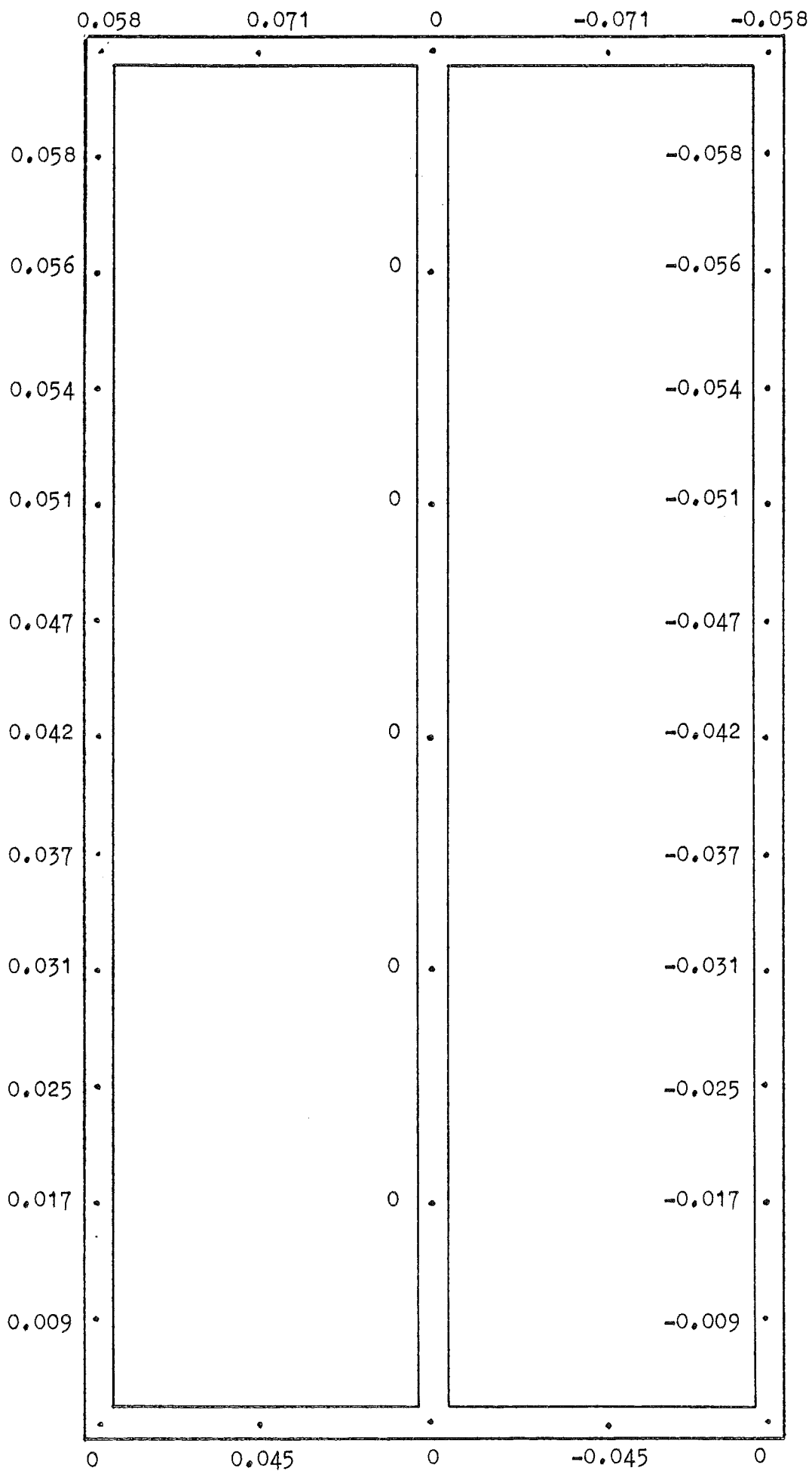
FÄSTDONSKRAFTER I Y-RIKTNING (N). 1 par E-MODULER.



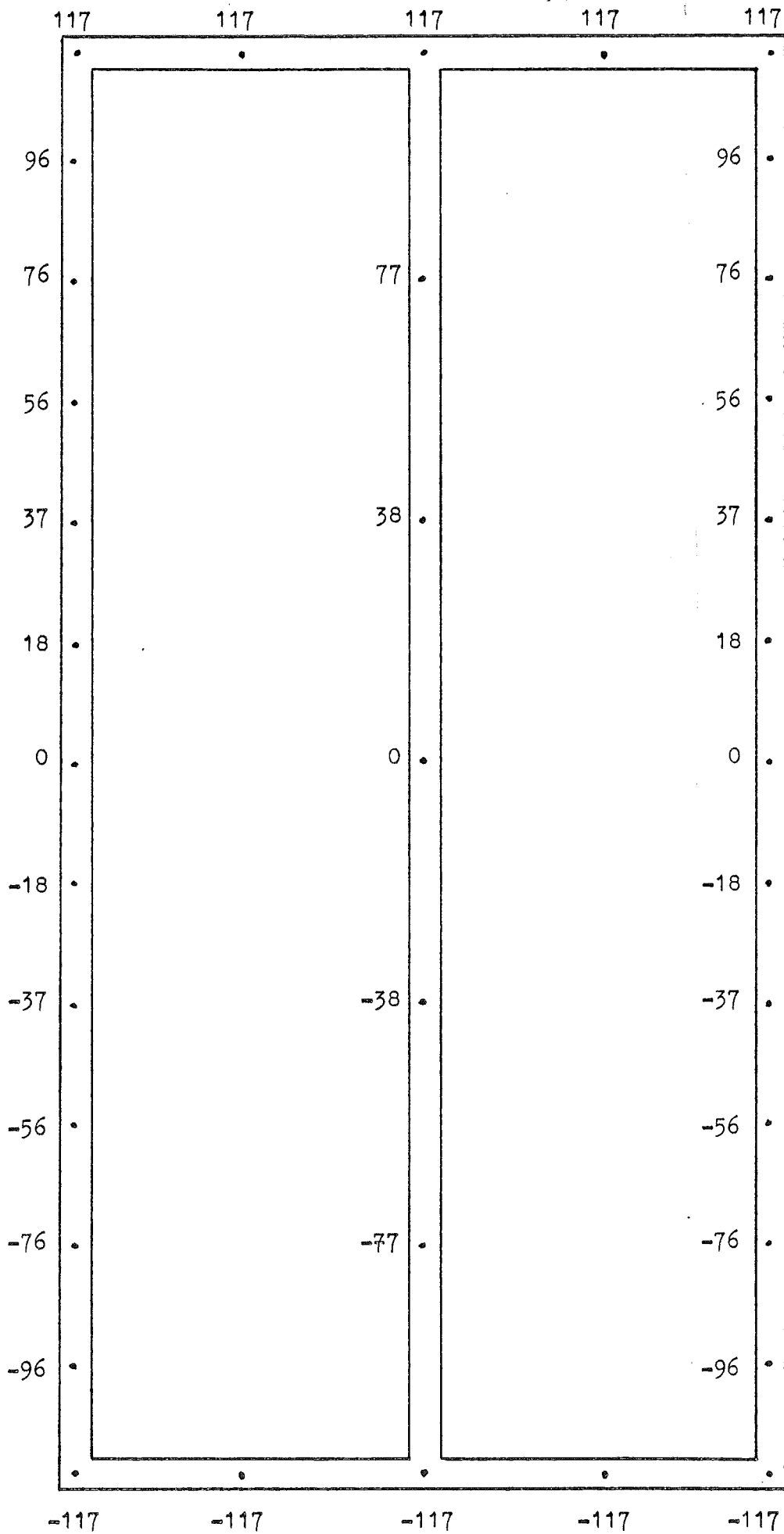
FÖRSKJUTNINGAR I X-RIKTNING (mm). 1 ggr E-MODULER.



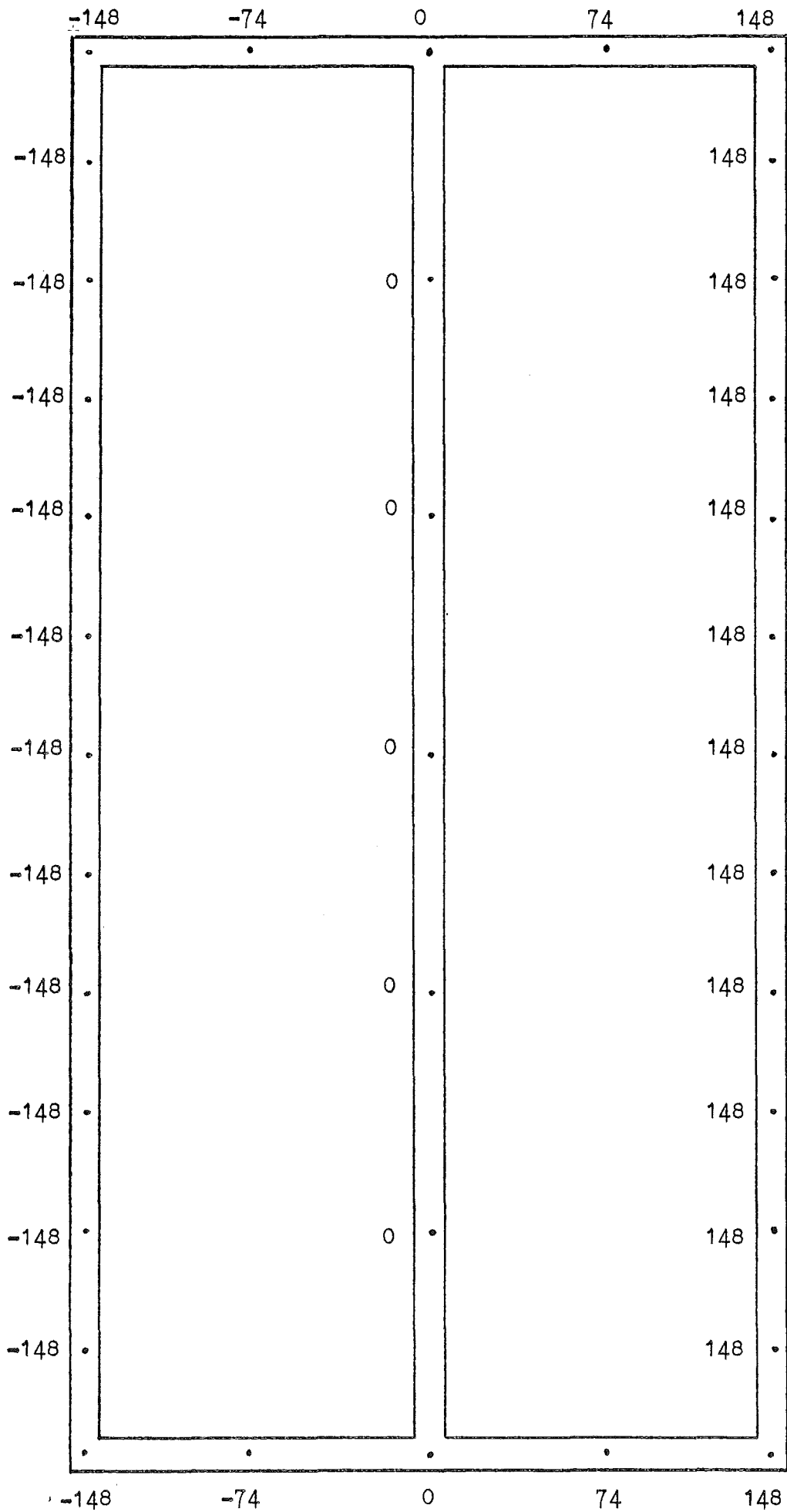
FÖRSKJUTNINGAR I Y-RIKTNING (mm). 1 ggr E-MODULER.



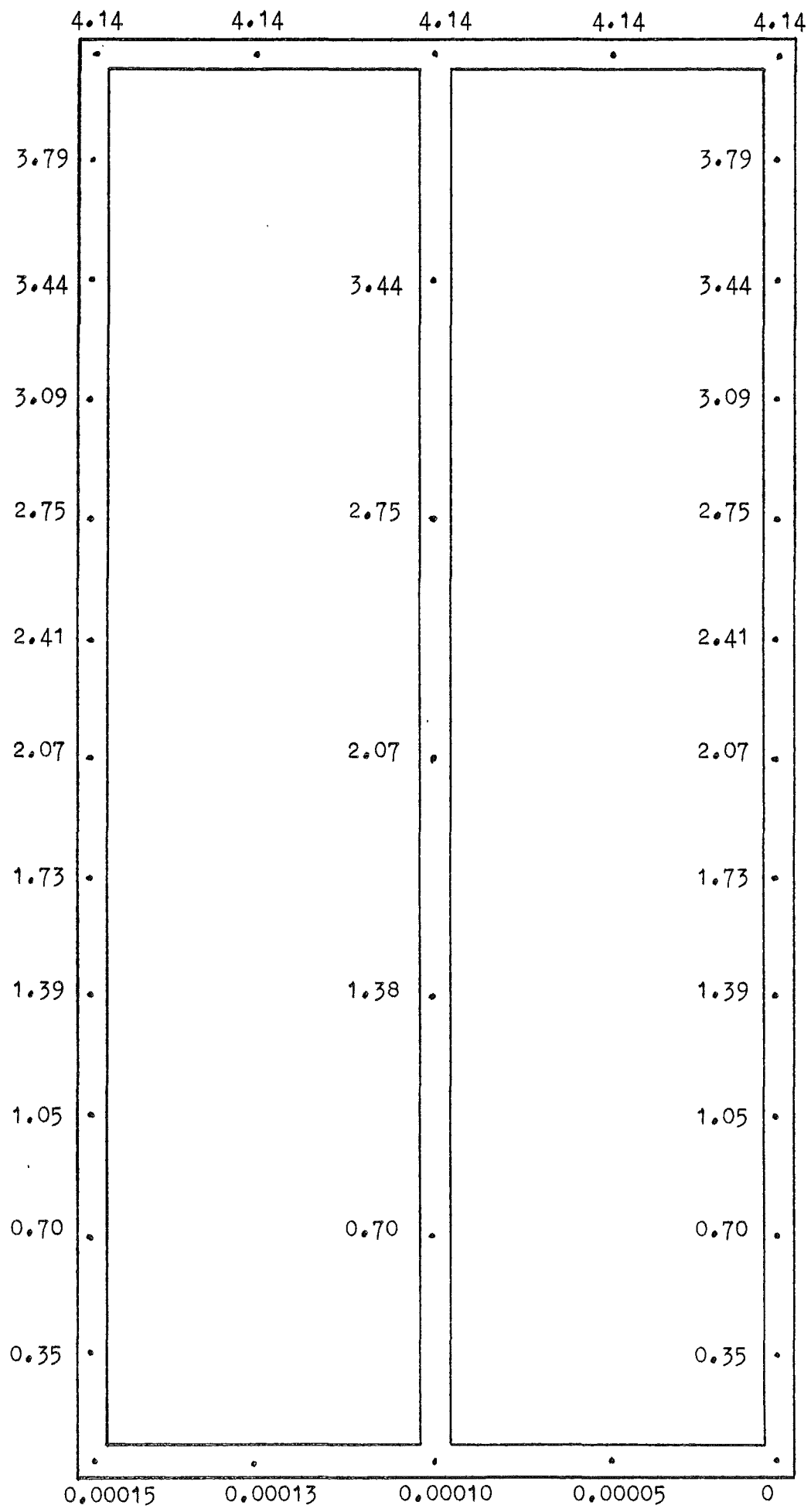
FÄSTDONSKRAFTER I X-RIKTNING (N). 100 ggr E-MODULER.



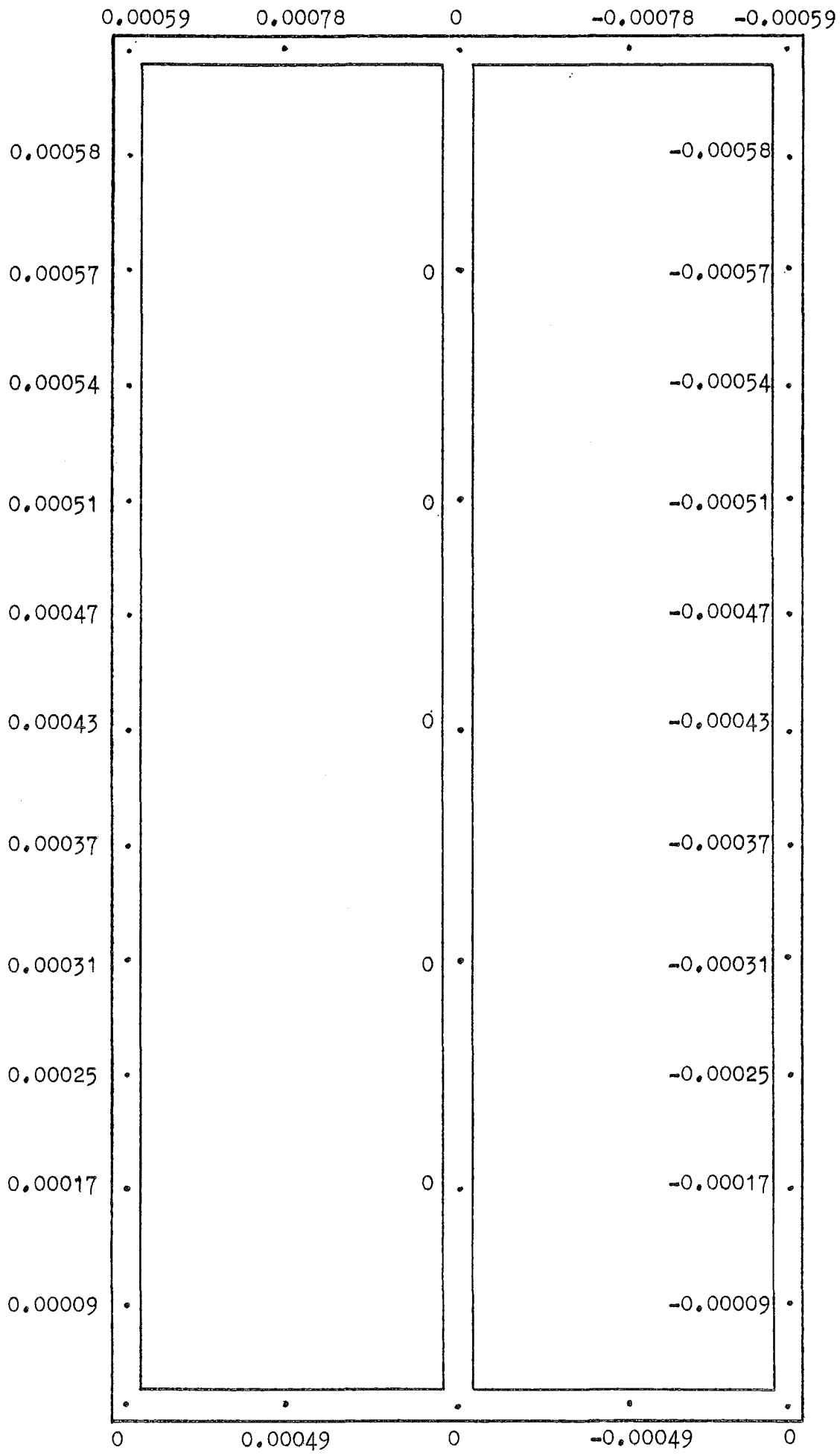
FÄSTDONSKRAFTER I Y-RIKTNING (N). 100 ggr E-MODULER.



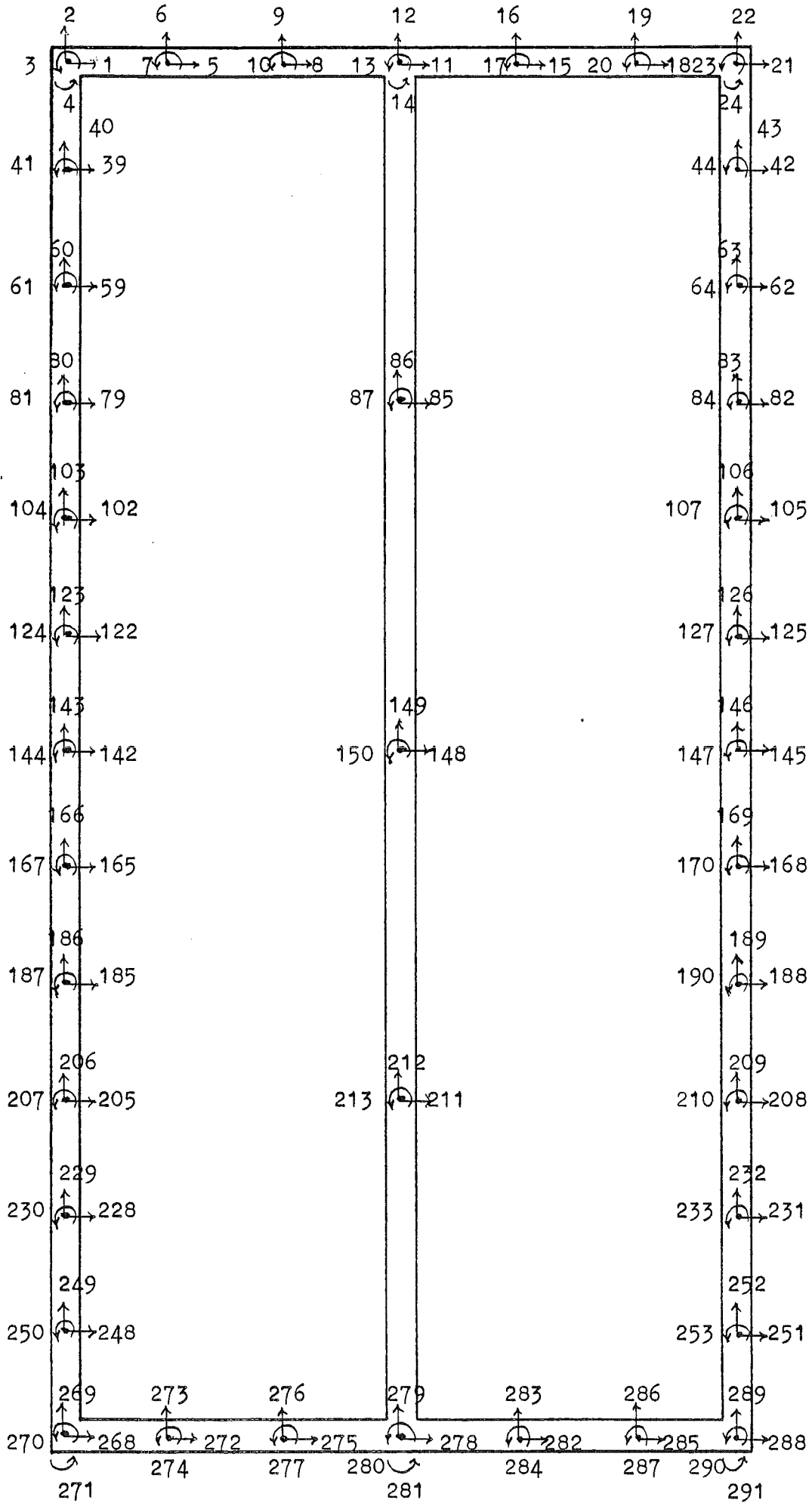
FÖRSKJUTNINGAR I X-RIKTNING (mm). 100 ggr E-MODULER.

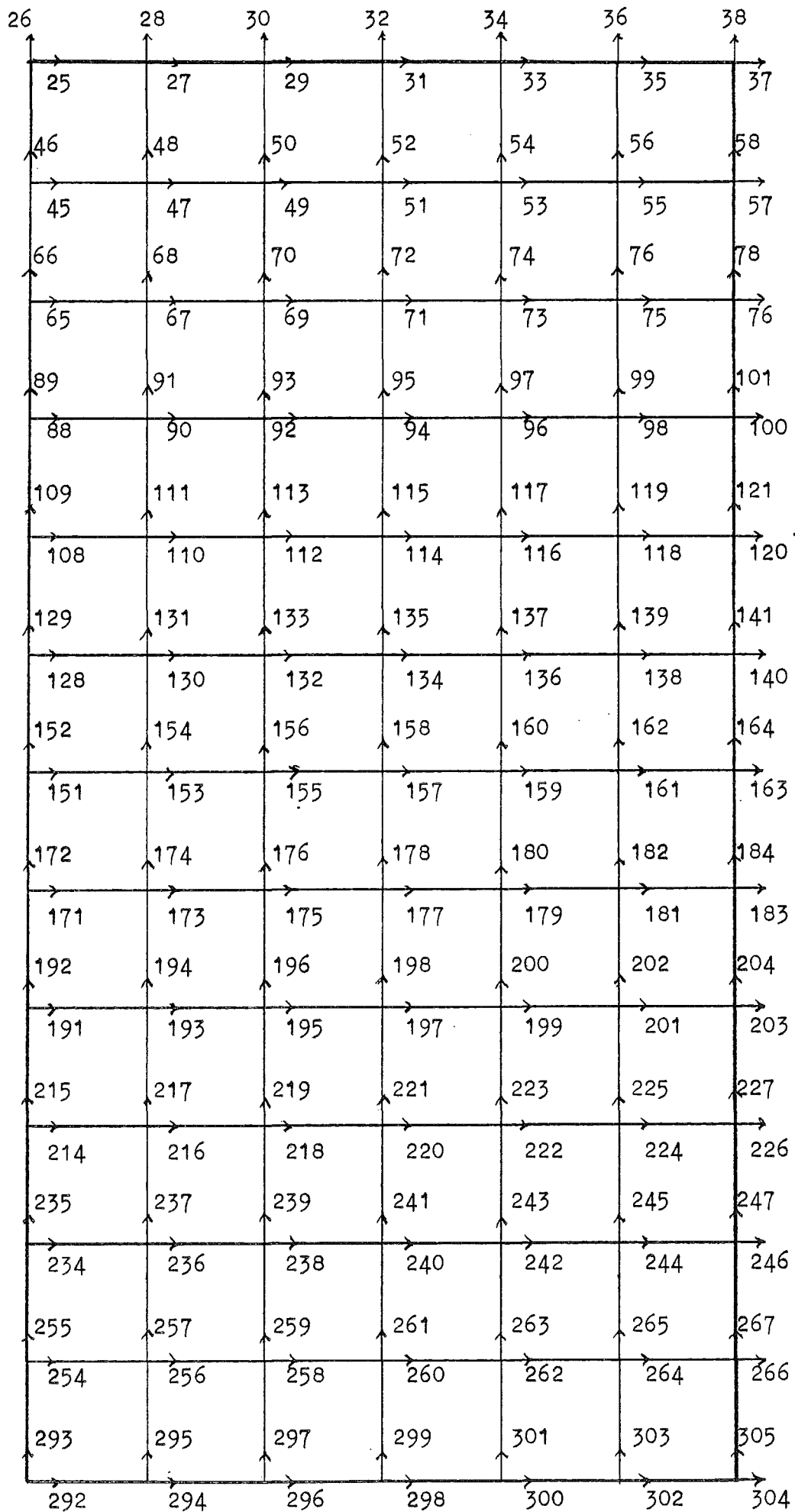


FÖRSKJUTNINGAR I Y-RIKTNING (mm). 100 ggr E-MODULER.

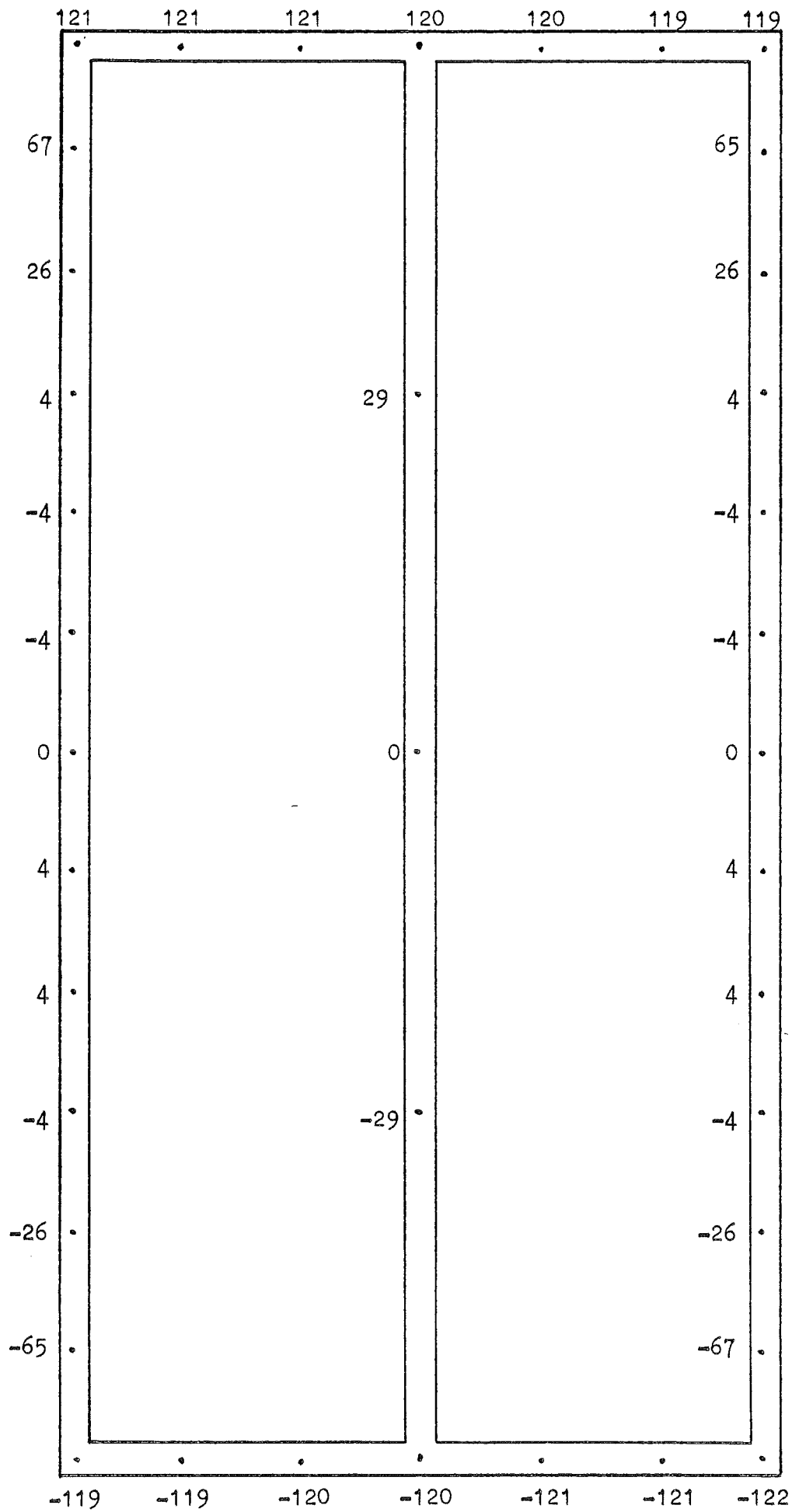


R=600 T=200 S=200.

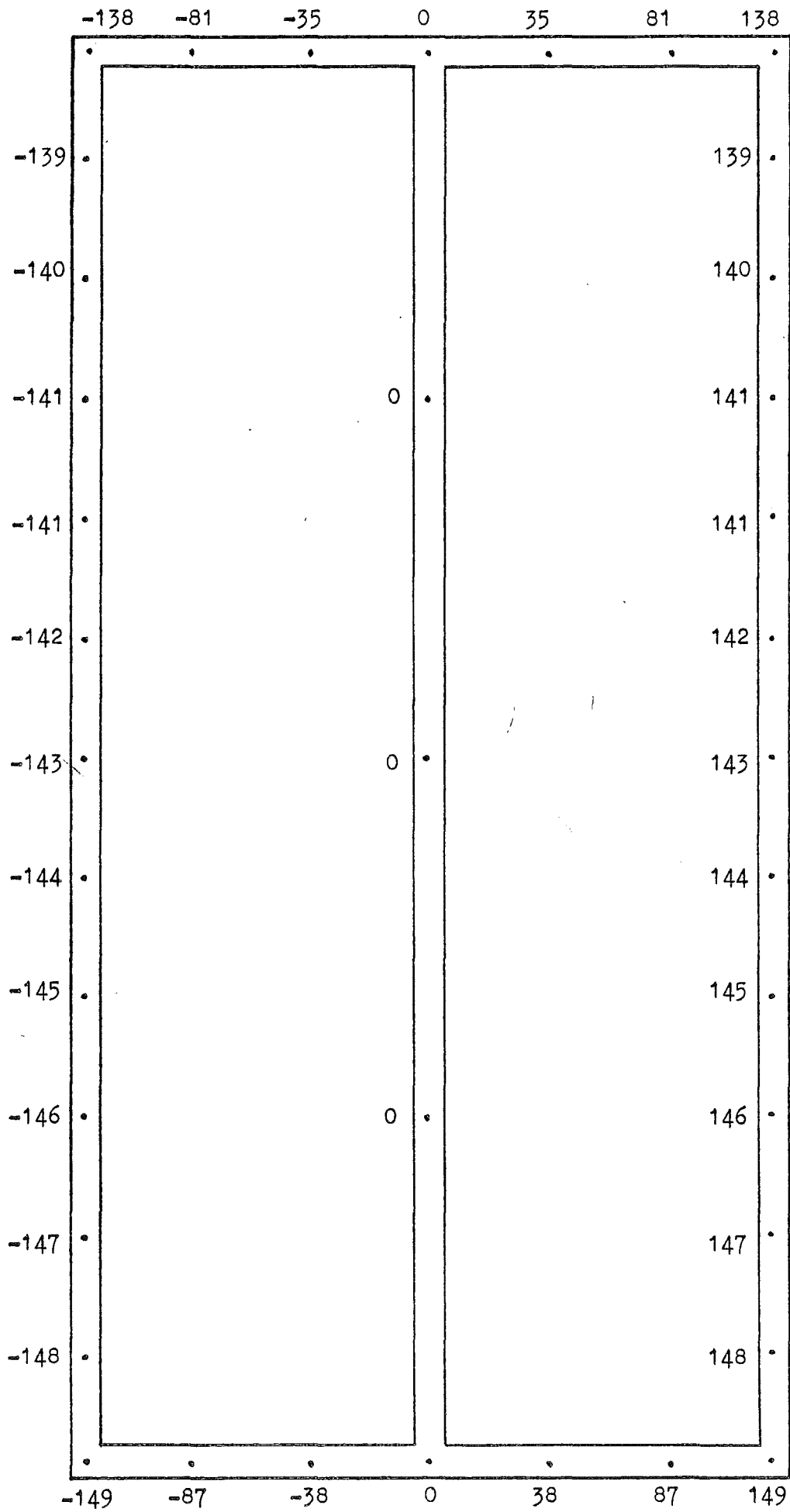




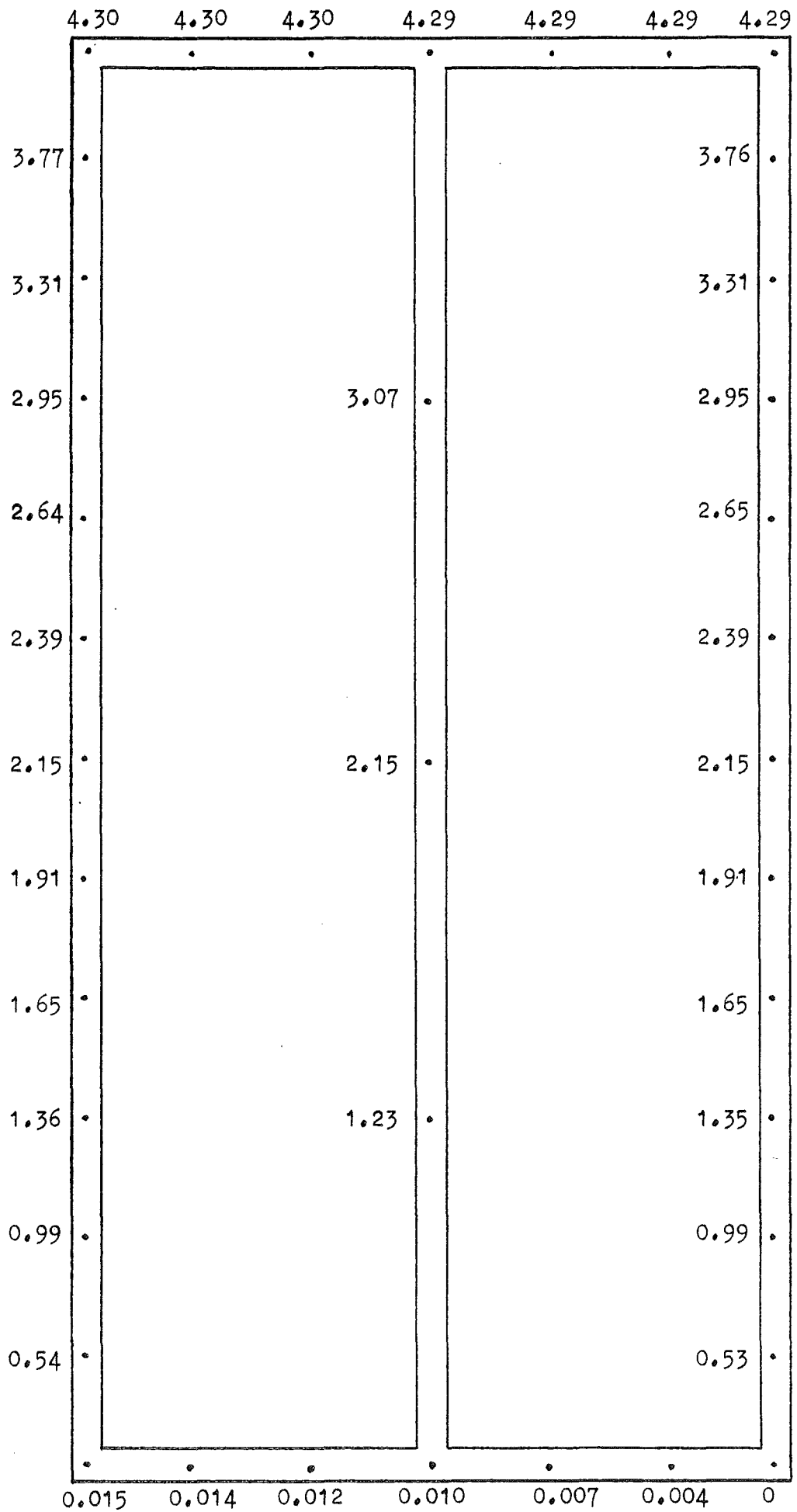
FÄSTDONSKRAFTER I X-RIKTNING (N). 1 ggr E-MODULER.



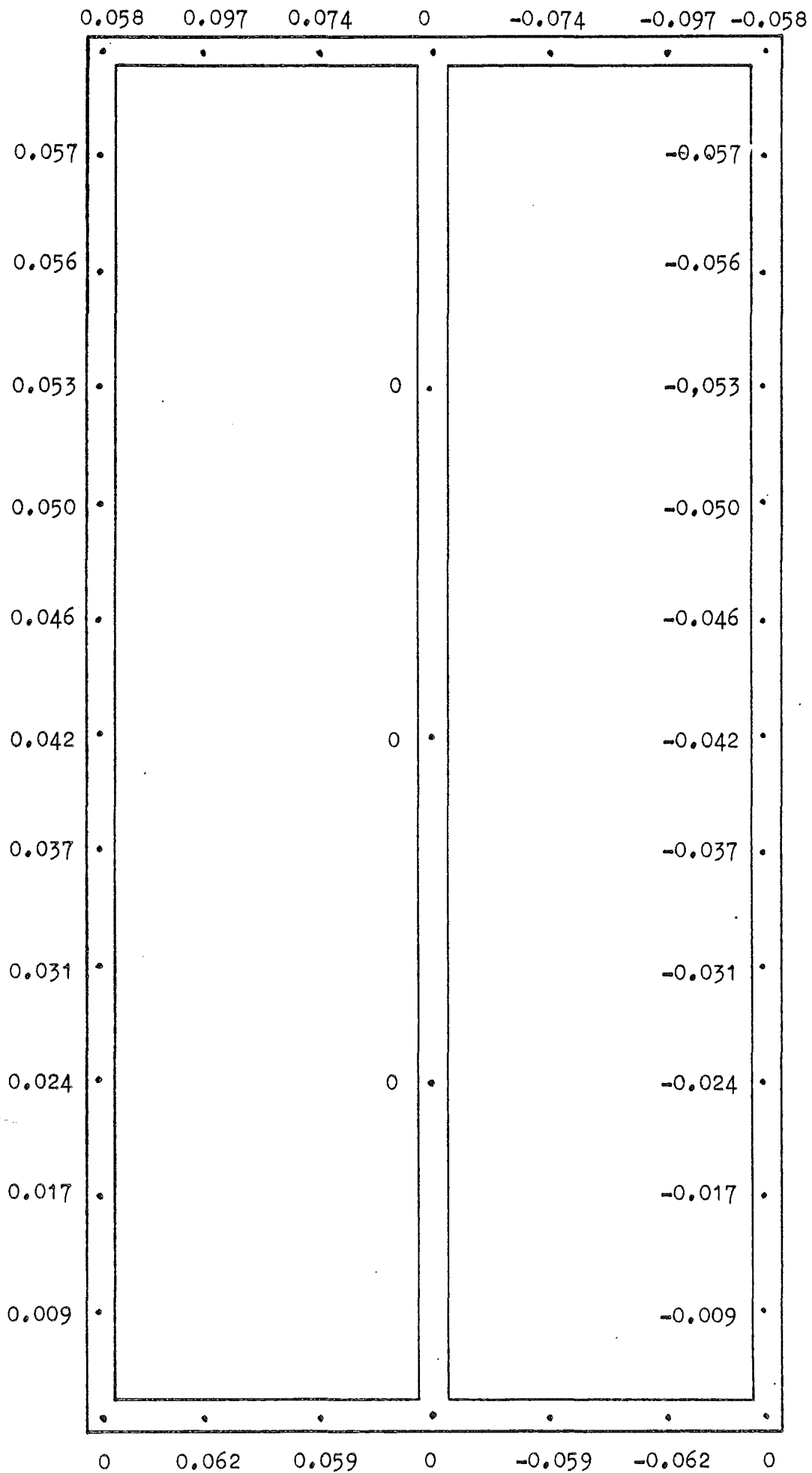
FÄSTDONSKRAFTER I Y-RIKTNING (N), 1 ggr E-MODULER.



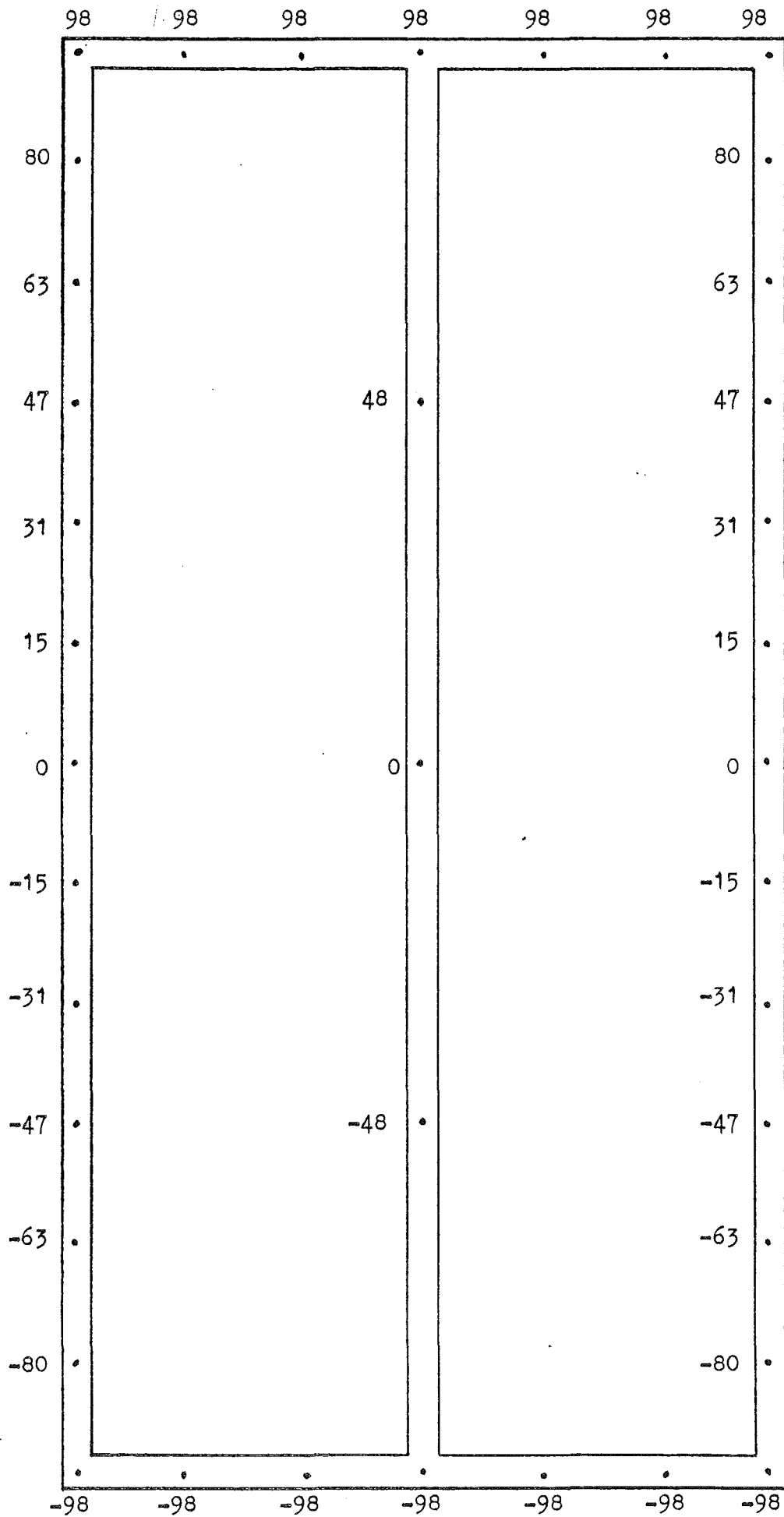
FÖRSKJUTNINGAR I X-RIKTNING (mm). 1 ggr E-MODULER.



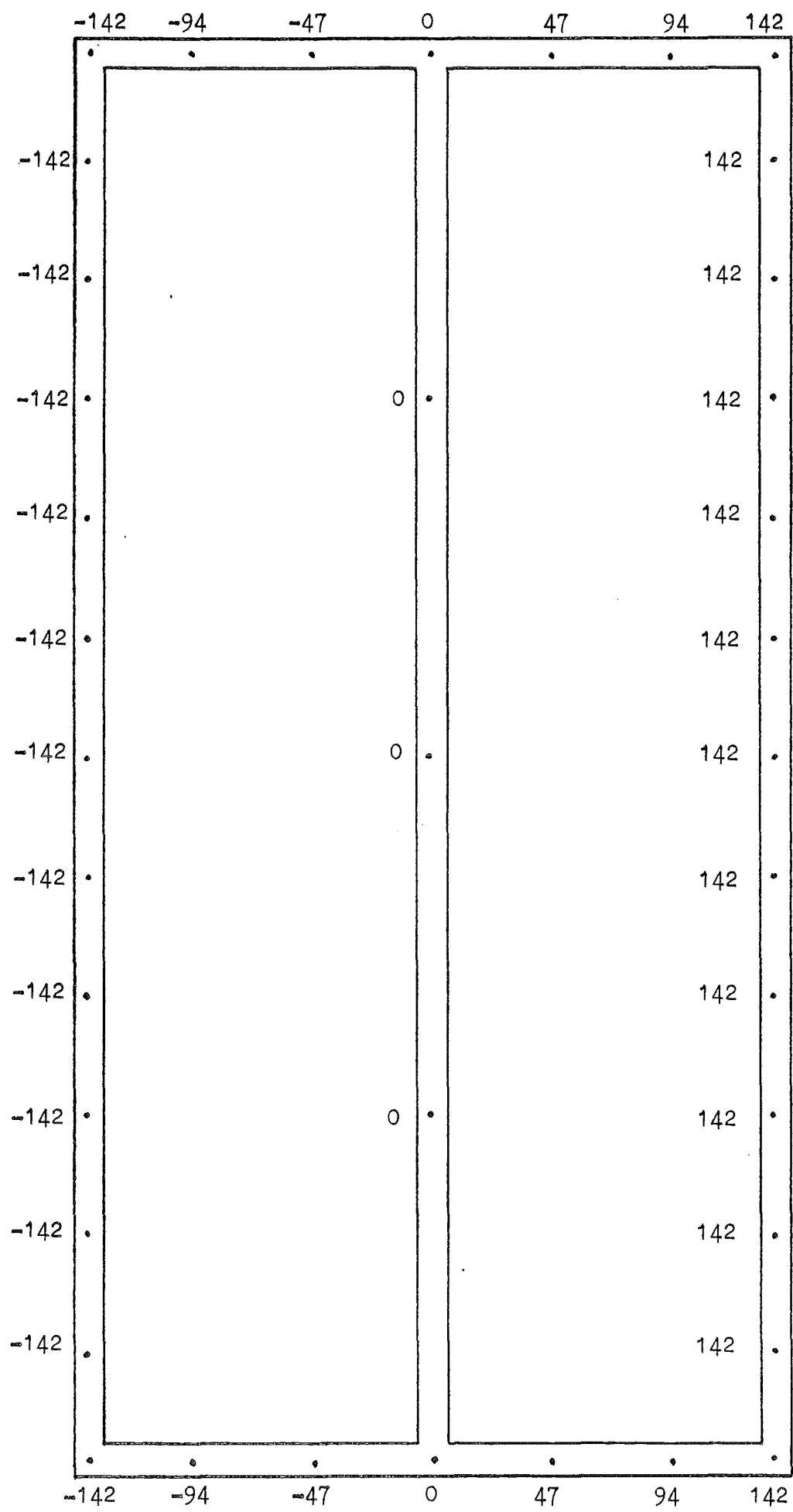
FÖRSKJUTNINGAR I Y-RIKTNING (mm). 1 ggr E-MODULER.



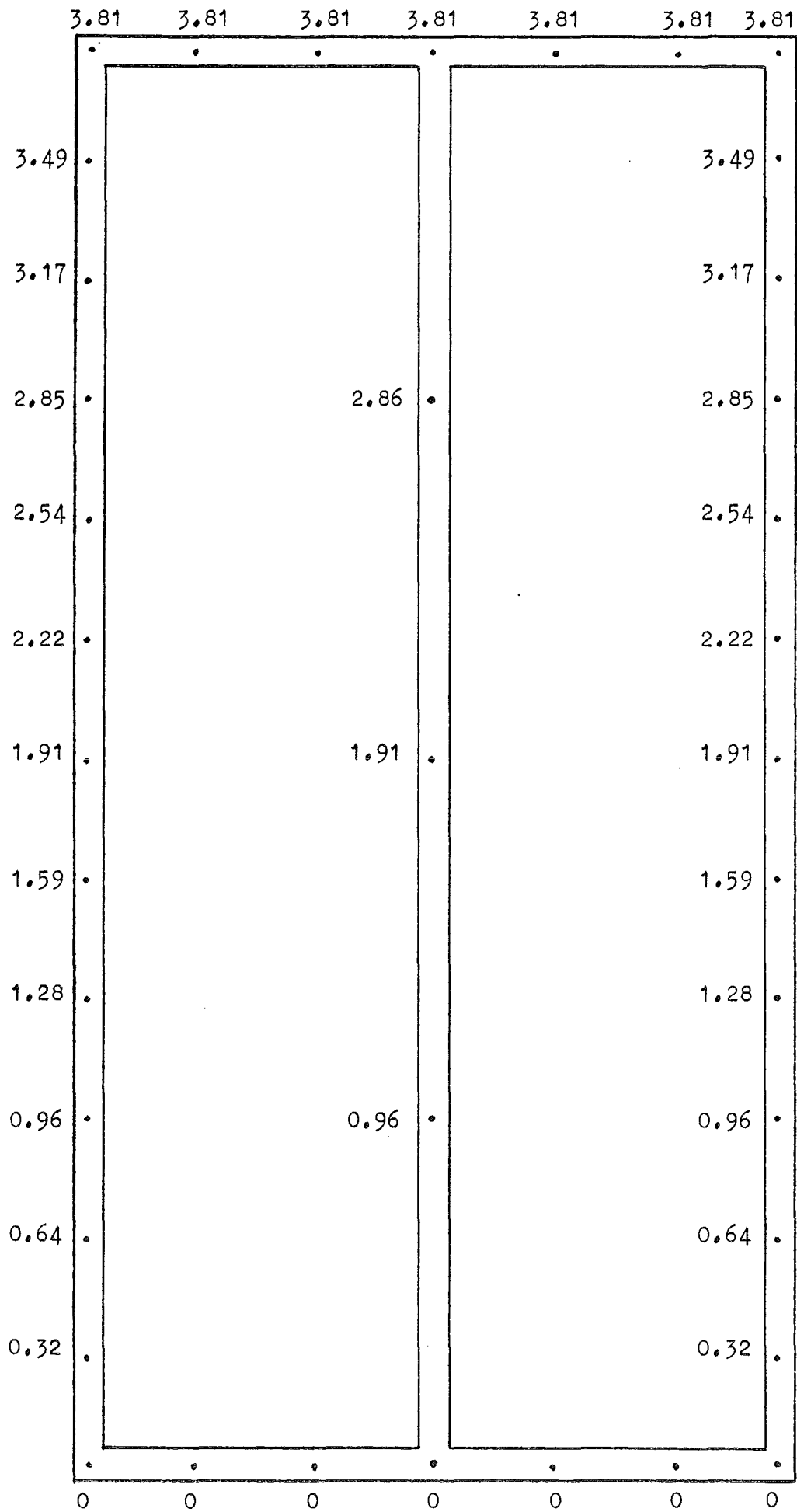
FÄSTDONSKRAFTER I X-RIKTNING (N). 100 ggr E-MODULER.



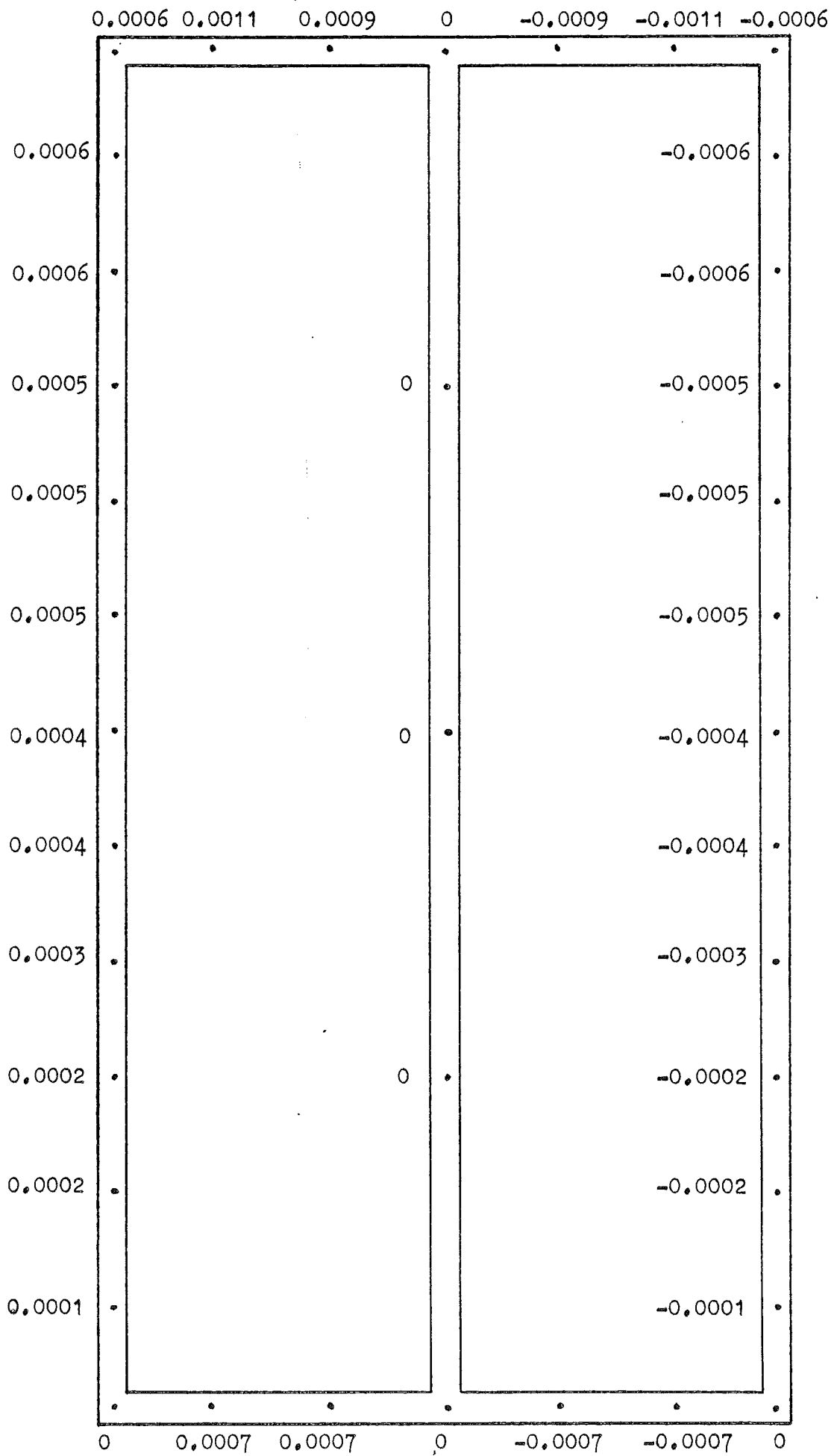
FÄSTDONSKRAFTER I Y-RIKTNING (N). 100 ggr E-MODULER.



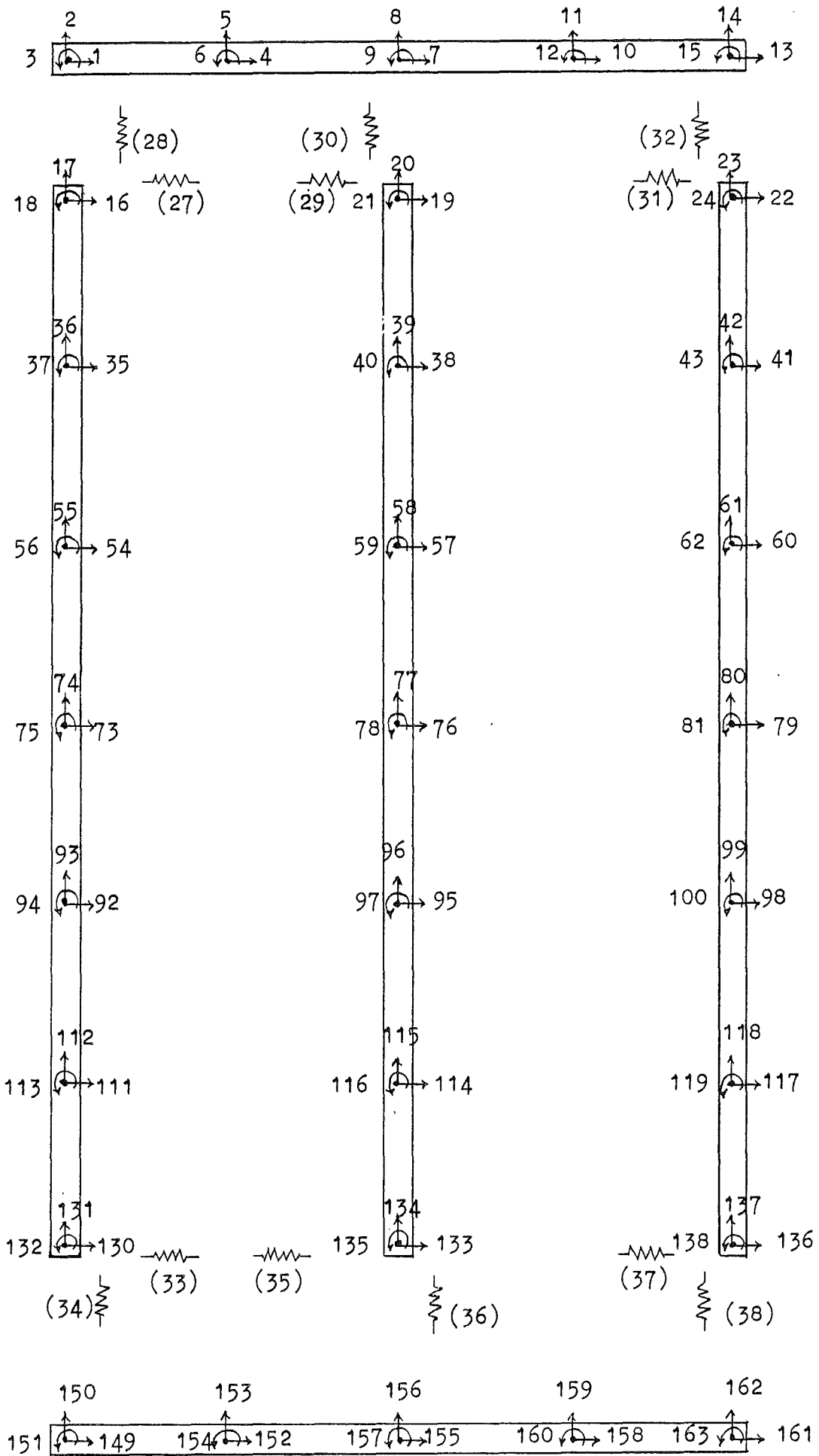
FÖRSKJUTNING I X-RIKTNING (N), 100 ggr E-MODULER.

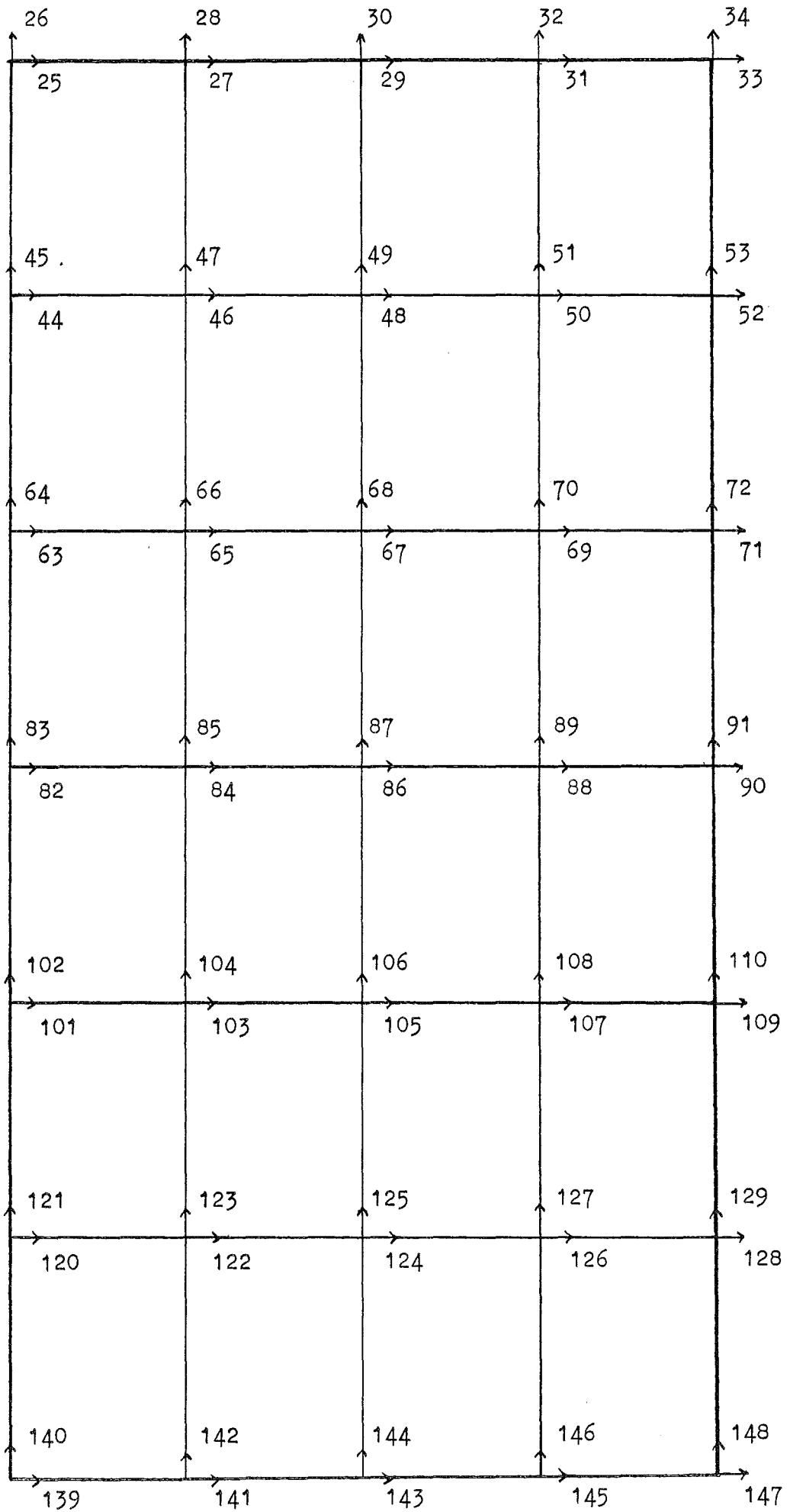


FÖRSKJUTNING I Y-RIKTNING (mm). 100 ggr E-MODULER.

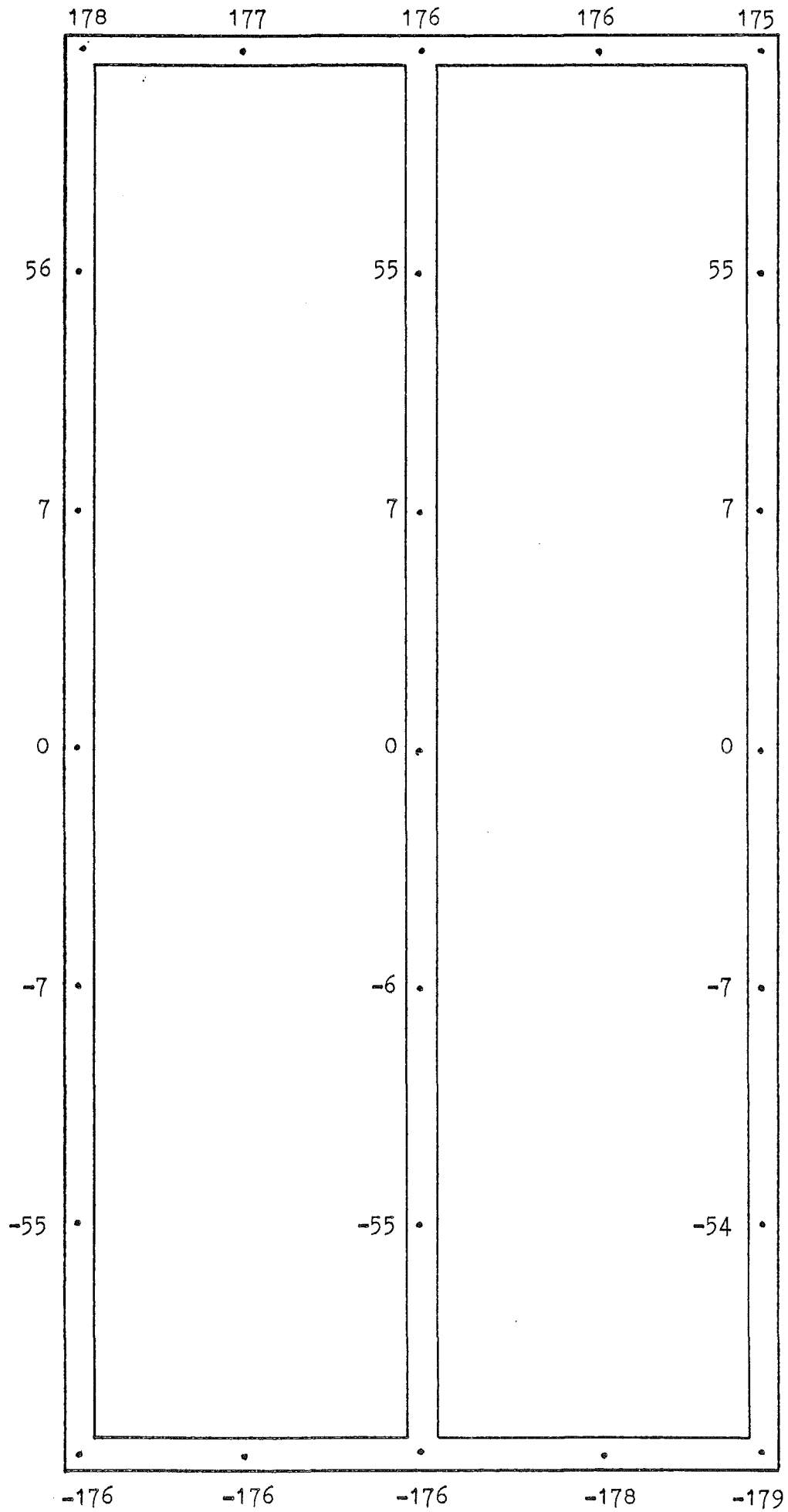


R=400 T=400 S=300 SPIKAD RAM.

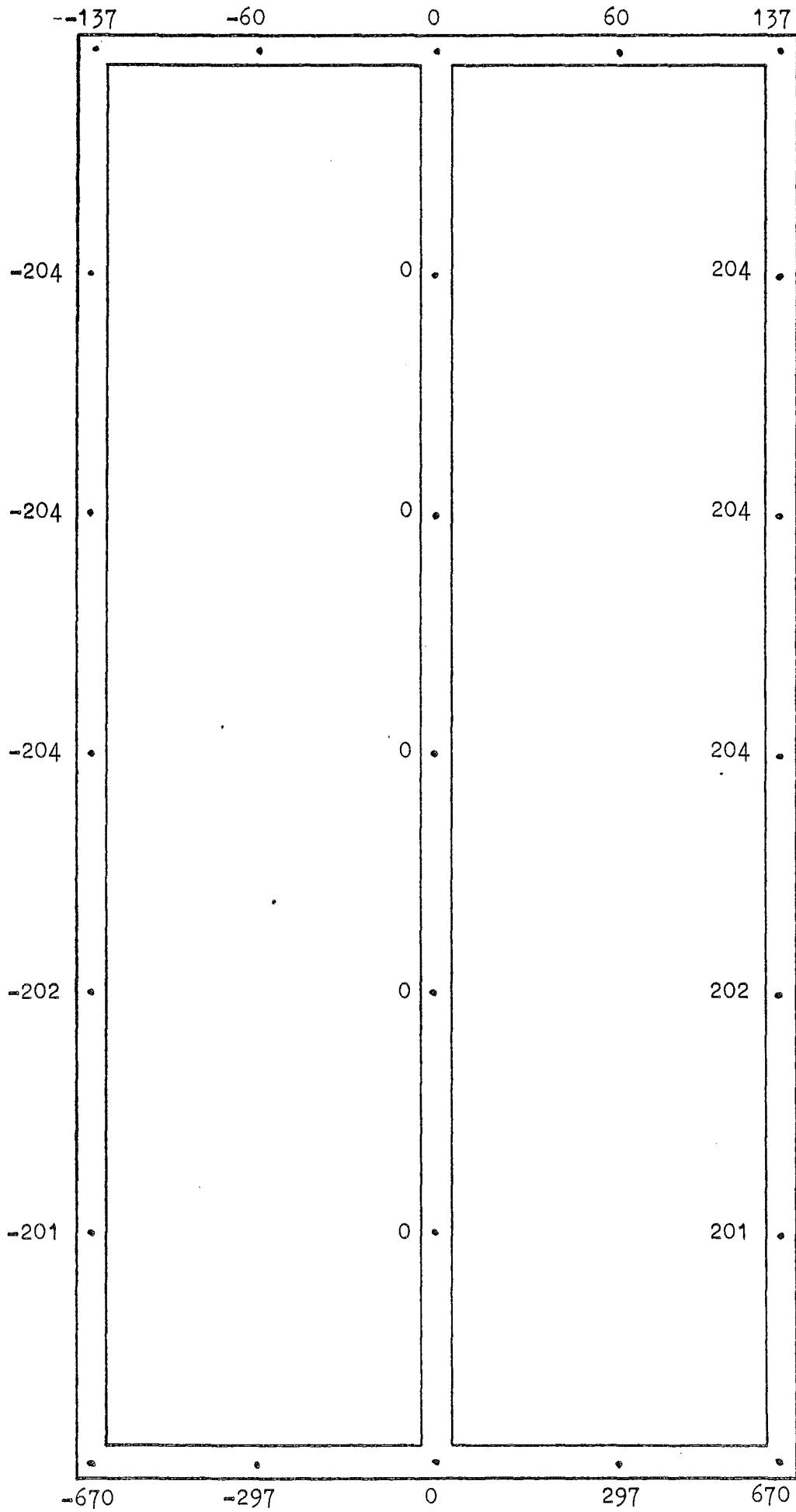




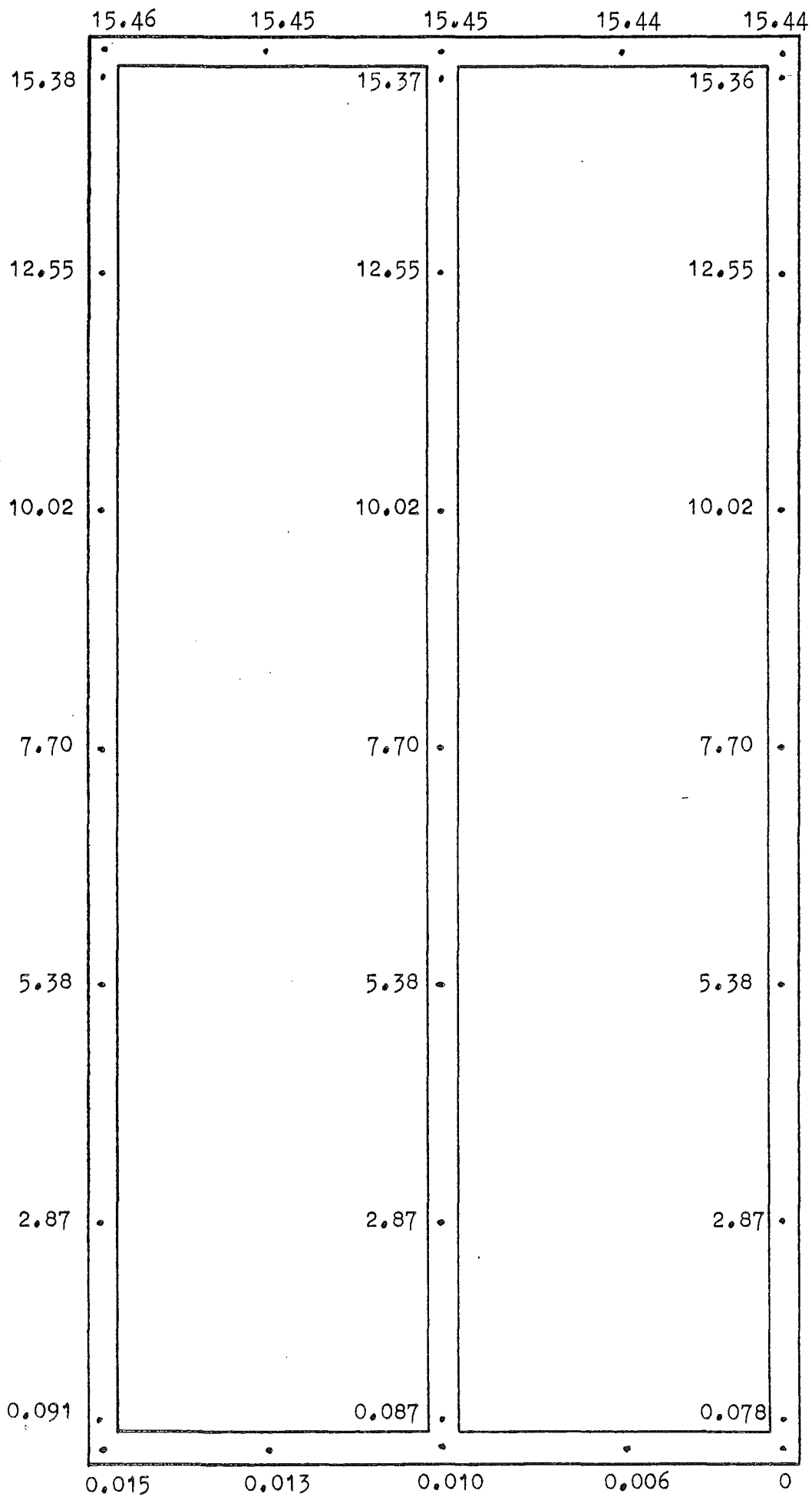
FÄSTDONSKRAFTER I X-RIKTNING (N). SPIKAD RAM.



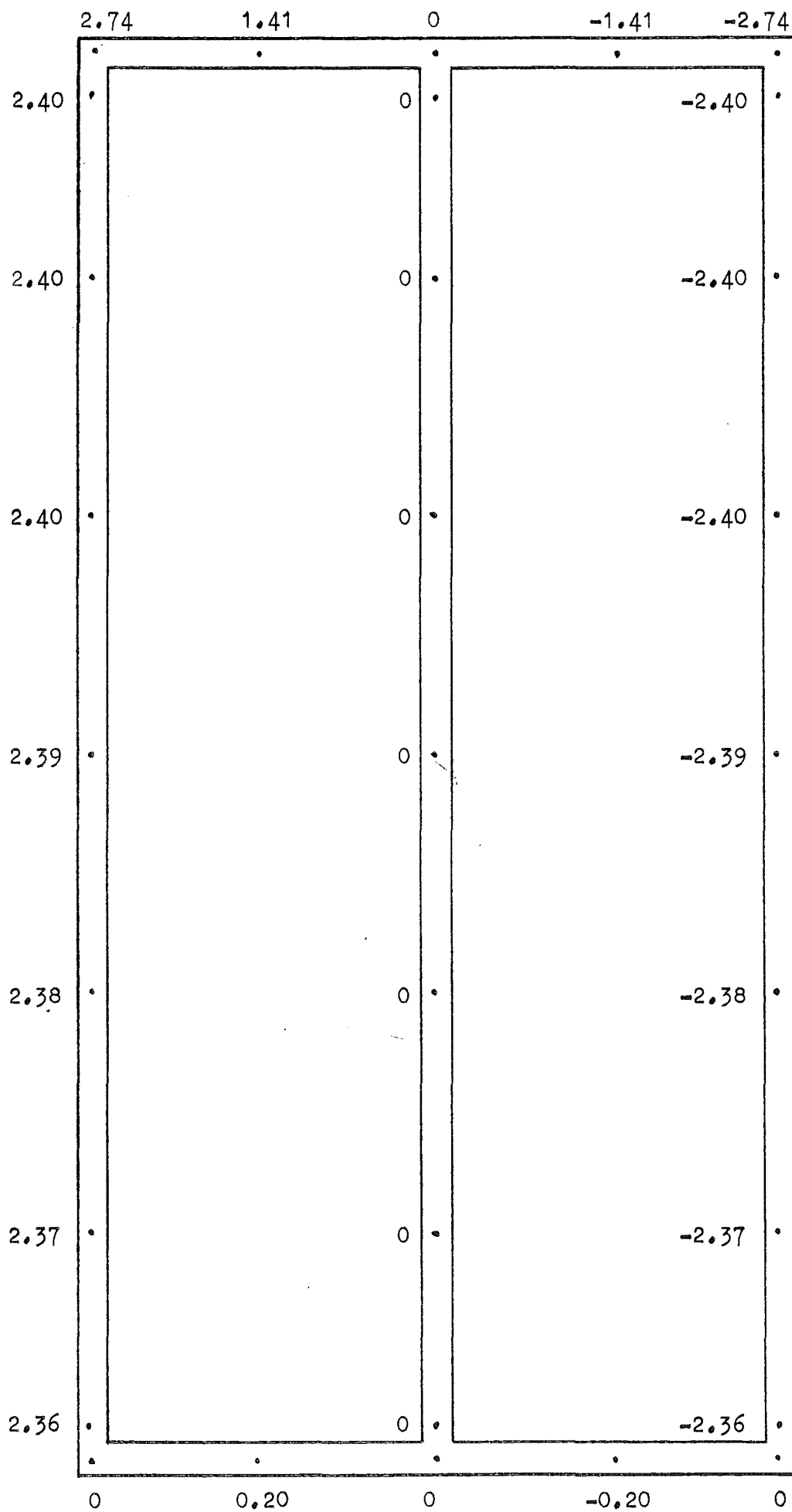
FÄSTDONSKRAFTER I Y-RIKTNING (N). SPIKAD RAM.

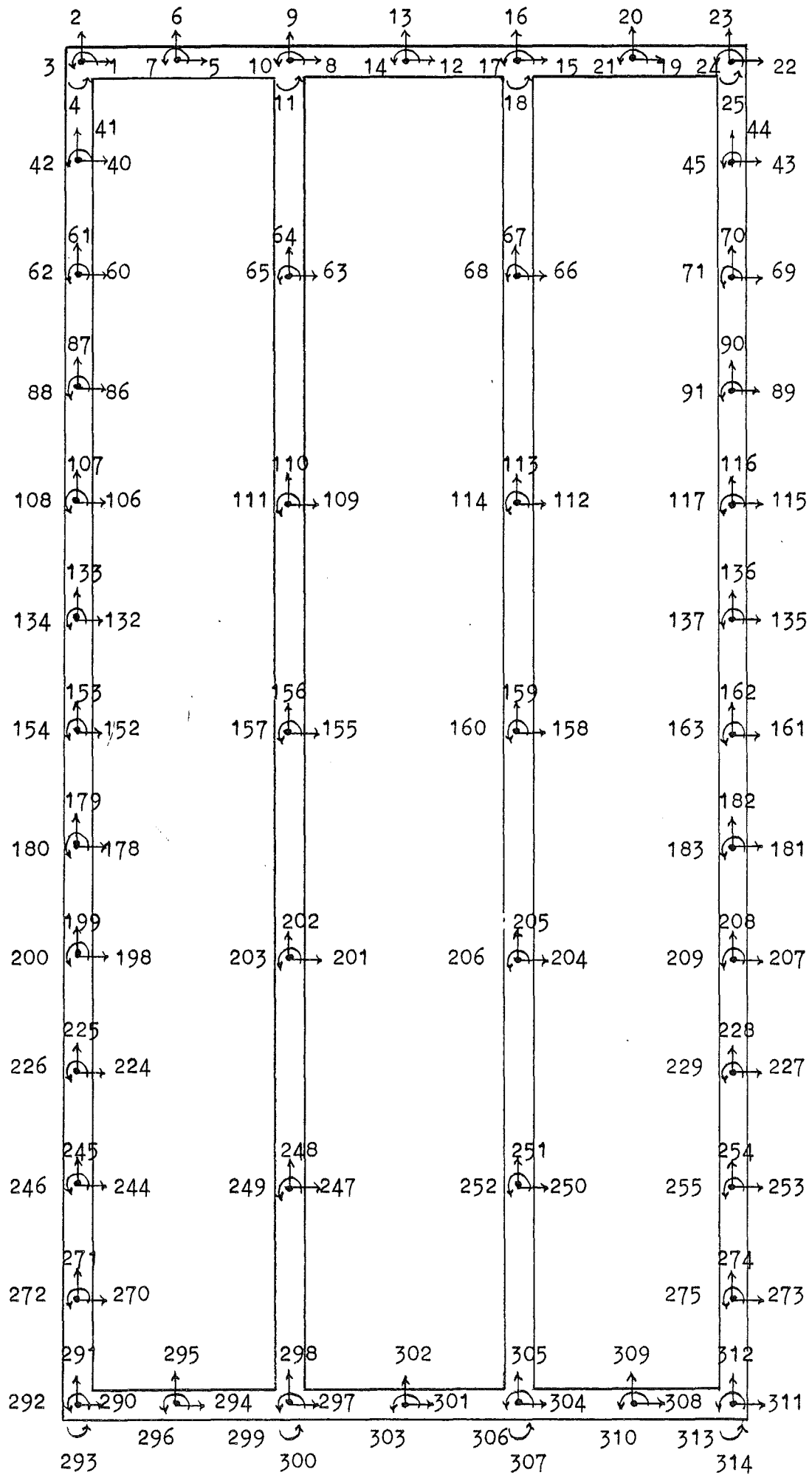


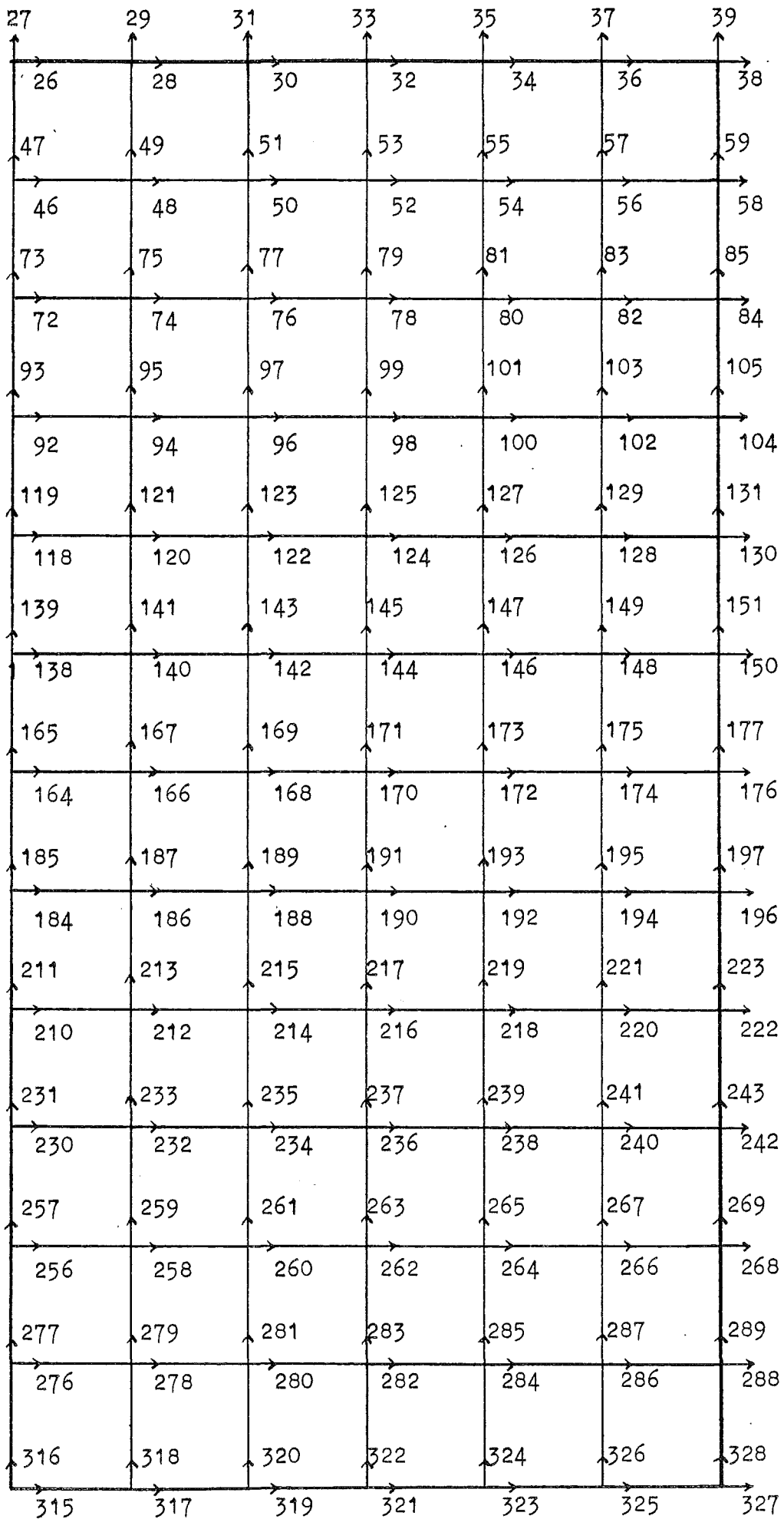
FÖRSKJUTNING I X-RIKTNING (mm), SPIKAD RAM.



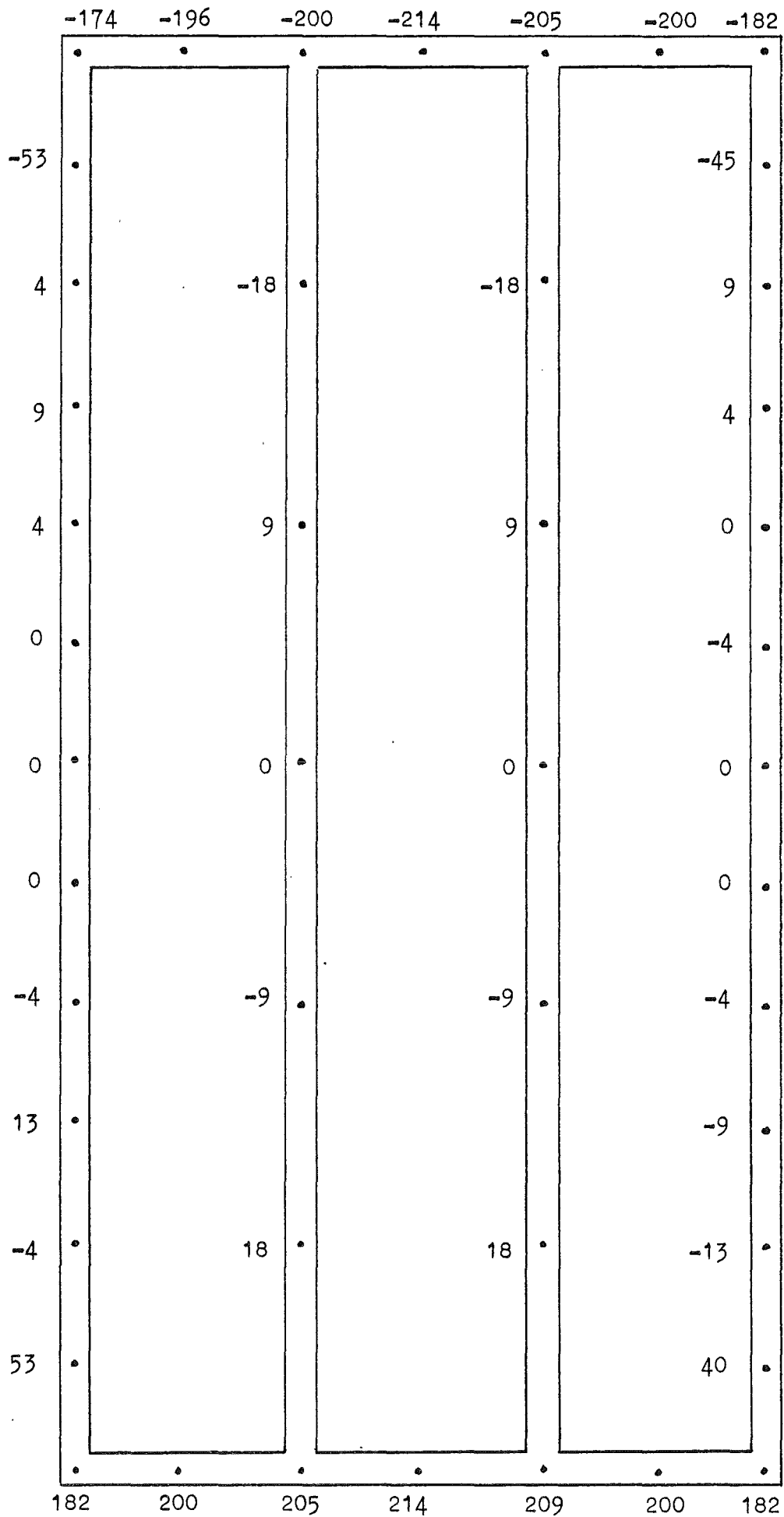
FÖRSKJUTNING I Y-RIKTNING (mm). SPIKAD RAM.



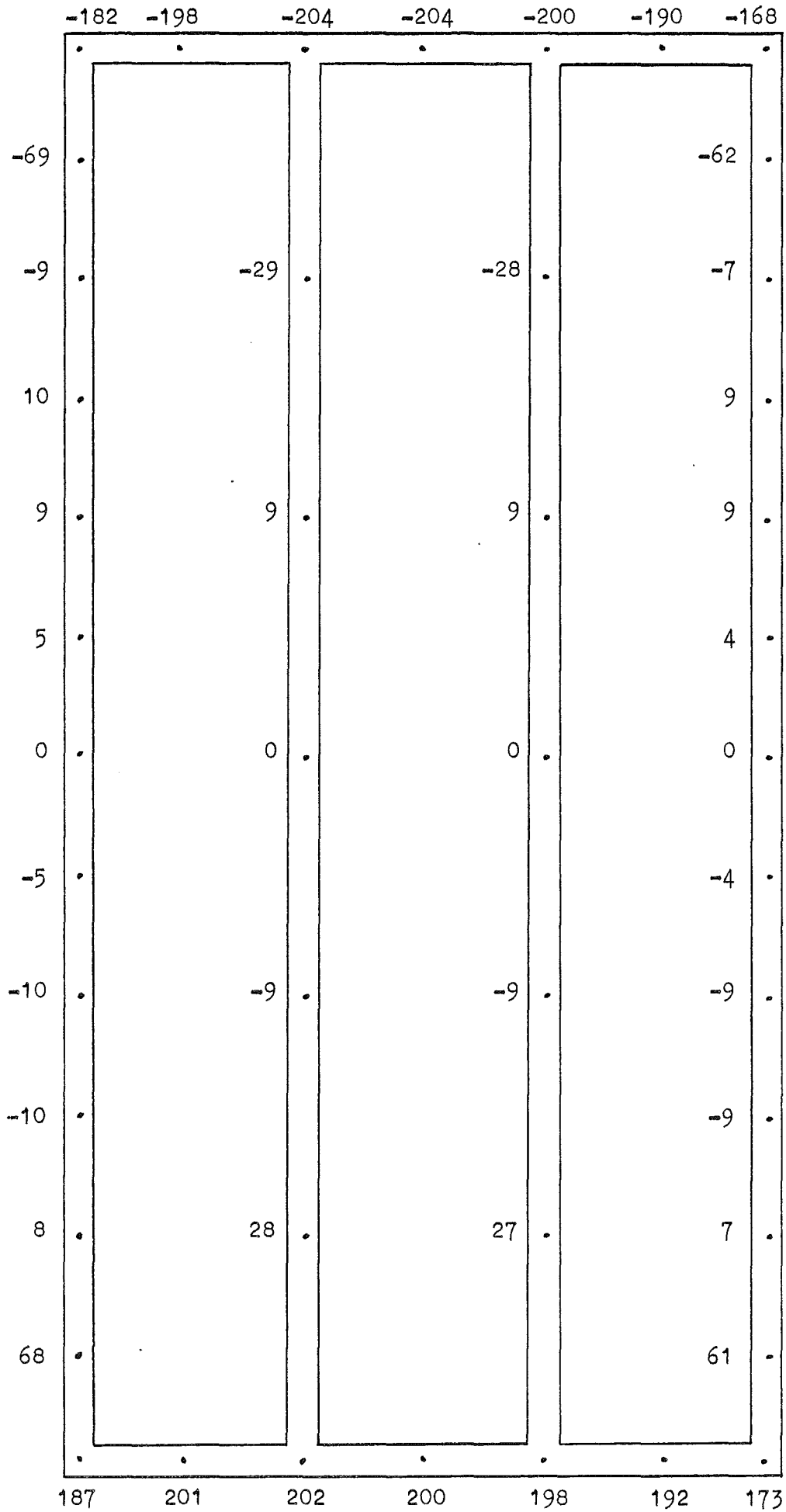




FÄSTDONSKRAFTER I X-RIKTNING (N). (ASCE).



FÄSTDONSKRAFTER I X-RIKTNING (N).



FÄSTDONSKRAFTER I Y-RIKTNING (N). (ASCE).

