Arh. MILAN ZLOKOVIC
redovni profesor Univerziteta
u Beogradu i Skoplju

UTICAJ MODULARNE KOORDINACIJE NA ESTETSKU KOMPONENTU U ARHITEKTURI

1. O VELIČINI OSNOVNOG GRADJEVINSKOG MODULA

Mnogo se govori o značaju modularne koordinacije u gradjevinarstvu, o njenom uticaju na smanjenje proizvodnih troškova u procesu industriske prefabrikacije pojedinih raznorodnih gradjevinskih elemenata, a nedovoljno o njihovoj promišljenoj medjusobnoj dimenzionalnoj uskladjenosti, tj. o znalačkom povezivanju ovih elemenata u harmonične celine.

Kao što je poznato, modularna koordinacija počiva na kombinacijama jedne opšte usvojene merne jedinice konstantne veličine - osnovnog gradjevinskog modula. Danas su u važnosti: medjunarodno prihvaćen modul od 1M = 1o cm = 1dm u zemljama sa metarskim sistemom mera, a 1M' = 1o,16cm = 4" u anglosaksonskim zemljama (deseti deo metra i treći deo engleske stope 1'=3o,48cm). Jedino Nemačka - iako prećutno priznaje ova dva različita modula - primenjuje i dalje ozakonjeni modul od 1M"=12,5cm (osmi deo metra).[1]

Potrebno je ovom prilikom osvrnuti se na izvesne, veoma korisne pouke iz prošlosti u vezi sa modularnom koordinacijom.

Modularna koordinacija, naročito u Starom veku, bila je logičan osnov svakoj kompoziciji u oblasti arhitektonskog i likovnog stvaralaštva. U većini slučajeva, modulu je odgovarao odredjeni deo kurentne antropomorfne jedinice mere - stope ili lakta.

Odnos stope prema laktu bio je 3:2, redje 2:1, a odnos 5:3 susrećemo tek u doba Humanizma.[2] U Starom veku stopa je deljena na 16 prstiju, odnosno 4 dlana (palma), a docnije - u Srednjem i Novom veku - na 12 palaca (unča). Prosečna vrednost stope iznosi 3o cm = 3 M = $\frac{12}{5}$ M" ≈ 3M'; decimalna podela stope nije bila uobičajena. Jedino danas, pri razmatranju datih podela na savremenim engleskim razmernicima, videćemo da je, pored podele stope na 12, 8 i 16 delova, predvidjena i njena decimalna podela, što u još većoj meri komplikuje inače složen i nepregledan način kotiranja u anglo-saksonskom sistemu mera.

Bitna razlika izmedju internacionalnog i engleskog modula leži u načinu njihovog deljenja. Još uvek nije pročišćeno pitanje kako deliti decimetarski modul. Logično se nameće podela na 2, 4 i 5 delova. Trojna podela decimetra je moguća u smislu primene modulisanih mera.

Iz poredjenja decimalne sa osmičnom podelom metra sledi da bi osnovni gradjevinski modul trebalo deliti na četiri dela,

tj. $\frac{10cm}{4} = \frac{M}{4}$ = 2,5 cm, što je približno jednako jednom palcu.

Odnos izmedju internacionalnog i nemačkog modula:

$$1M=\frac{4}{5}M'' \qquad \text{ili} \qquad 1M''=\frac{5}{4}M$$

- odnosno: $M : M'' = 4 : 5$

- harmoniske je prirode i time dobija u značaju jer omogućava na jednostavan način zalančavanje mernih kombinacija koje u isto vreme pripadaju jednom i drugom modularnom sistemu /naprimer: 15M = 12M" = 15ocm/.

Mnogo je složeniji slučaj izjednačavanja 1M = 1ocm sa 1M' = 1o,16 cm. Razlika od 1,5 %, koja sledi iz njihovog medjusobnog odnosa M':M=127:125, osetna je jer ne dopušta pravilno spajanje elemenata sistema M sa onima koji su zasnovani na sistemu M'. Sa privredne tačke gledišta, ova razlika postavlja ozbiljnu prepreku u široj medjunarodnoj razmeni prefabrikovanih gradjevinskih elemenata.
Deljivost engleskih modula 1M'=4" - iako su uobičajene podele stope na 12, 8, 16 i 1o delova - imala bi u modularnom projektovanju da se ograniči na polovine i četvrtine.

2. PROJEKTANTSKI MODULI

Glavni problem modularne koordinacije leži u promišljenom utvrdjivanju projektantskog modula, tj. one višestruke mere osnovnog modula n.M (n = ceo broj) kojom se reguliše gustina modularne mreže (ili modularnog rastera). Na projektantskoj modularnoj mreži zasnivaju se bitni funkcionalni i konstruktivni potezi budućeg projekta. Projektovati preko osnovne modularne mreže gustine 1M = 10cm (n=1), može se tek onda kada se bude pristupilo detaljnom razradjivanju osnove, preseka i izgleda jedne već jasno definisane arhitektonske koncepcije.

Veličina projektantskog modula zavisna je od namene objekta i pretpostavljenog konstruktivnog sklopa. Pokazali su se po iskustvu kao naročito pogodni projektantski moduli veličine n.3M (n=ceo broj), zasnovani na presečnoj meri stope kao polaznom antropomorfnom modulu. Medju njima ističu se projektantski moduli 6M = $1M_6$ = 60 cm i 12M = $2M_6$ = $1M_{12}$ = 120cm.

Potrebno je ovom prilikom podvući razliku u definiciji modularne i modulisane mere. [illegible] projektantski modul veličine 6M = $1M_6$. Polovine i trećine ovog modula-3M i 2M - modularne su jer su iskazane u celim modulima M. Ostale moguće deobe koje se dobijaju podelom na 4, 5, 8, 10, 12, 15, 20 i 24 jednaka dela, tj. 15, 12, 7,5, 6, 5, 4, 3 i 2,5 cm, pretstavljaju modulisane [illegible] projektantskog modula 6M = 60cm i imaju se smatrati sastavnim i dopuštenim merama kurentnog mernog sistema. Ako se ista operacija ponovi za peojektantski modul 6M' = 2' = 24" dobijaju se modularne mere 12" = 3M' i 8" = 2M' kao i modulisane mere 6", 4"$\frac{4}{5}$, 3", 2"$\frac{2}{5}$, 2", 1"$\frac{3}{5}$, 1"$\frac{1}{5}$ i 1".

U [illegible] na sl.1 grafički je prikazano postupno deljenje projektantskog modula na 2, 3 i 5 jednakih delova, čime je, kao što je poznato, ispunjena osnovna pogodba harmoniskog deljenja. Modularna mera 3.6M = $3M_6$ = 180cm $\approx$ 6 stopa = 1 sežanj u datom dijagramu odgovara prosečnoj visini čoveka. A to u još većoj meri dokazuje celishodnost projektantskog modula 6M koji, šest puta uzet, tj. 6.6M = $6M_6$ = 360cm $\approx$ 12 stopa = 2 sežnja, označava pogodan osni razmak pri projektovanju zgrada za stanovanje.

Ovim, sasvim razumljivo, nije rešeno da su projektantski modul $1M_6$ i njegovi višestruki iznosi jedini koji dolaze u obzir. Tako je, naprimer, u zemljama Istočne Evrope u primeni projektantski modul $4M = 1M_4 = 4o$ cm, odnosno $3M_4=2M_6=$ 12o cm. S druge strane, Evropska zajednica za ugalj i čelik propisuje projektantski modul od $9M=1M_9=3M_3=$9ocm ili $4M_9=3M_{12}=$ 36o cm. Kao što se vidi, projektantski modul M_3, M_4, M_6, M_9 i M_{12} nalaze se u neposrednoj zavisnosti od osnog razmaka $36M=12M_3=9M_4$ $6M_6=4M_9=3M_{12}=$36o cm, što dopušta u odredjenom slučaju, paralelnu upotrebu modularnih mreža različite gustine, tj. smišljeno preplitanje ovih mreža gustine 3, 4, 6, 9 i 12M u intervalu osnog razmaka.

Projektantski modul $n.M_{1o}=n.$loocm /n=ceo broj/ ne isključuje se iz upotrebe. On ima, u projektovanju zgrada za stanovanje analitički karakter i dolazi do izražaja pri početnom /linearnom/ rešavanju funkcionalne dispozicije stana.

Iz svega napred izloženog sledi da dobro proučeno odabiranje optimalnih koeficijenata osnovnog gradjevinskog modula u celim brojevima, pomoću kojih se utvrdjuju glavne mere projekta, igra u kompoziciskom postupku presudnu ulogu.

3. PREFERENCIJALNI KOEFICIJENTI OSNOVNOG GRADJEVINSKOG MODULA

O problemu, kojim celim brojevima treba priznati preferencijalni karakter, pisano je dosta. U tom pogledu ne bi se moglo reći da je ovaj toliko važan problem konačno rešen s obzirom na mnogobrojnost učinjenih predloga. Geometriski nizovi sa količnikom 2 i 3, zasnovani na Platonovoj duploj tetraktisi 1, 2, 4, 8 i 1, 3, 9, 27 integrisani bez razlike u svim predlozima, rešavaju samo delimično postavljeni problem.

I mene je ovaj problem naročito zanimao pa sam izvesne mogućnosti u tom pravcu objavio prošle godine[3]. Numerički dijagram na sl. 2, je jedan medju njima, zasnovan je na pitagoriskom trobroju 3, 4, 5 i, u vezi s njim, na geometriskim nizovima sa količnikom 2, 3 i 5. Uvodjenjem poslednjeg niza /sa količnikom 5/ proširena je skupina preferencijalnih brojeva. Ona se sada, dopunjena, celinski uklapa u racionalni sistem harmoniskih razmera /vidi uostalom i sl. 1 gde je to takodje jasno prikazano/.

U dijagramu na sl. 2 podvučena je zalančanost modularnog sistema 1M = locm sa sistemom 1M" = 12,5cm. Ona je postignuta polovljenjem brojeva 3, $4=2^2$, 5 i kvadrata od 3 i 5, tj. $9=3^2$ a i $25=5^2$. Množenjem odgovarajućih količnika sa loocm dobijaju se mere u sistemu osmične podele metra /12,5, 25, 37,5, 5o, 75, 87,5, 1oo, 112,5, 125/ cm. Ujedno sledi na bazi modula 15 cm = $\frac{3}{2}$M značajan antropomorfni niz /15, 3o, 45, 6o, 75, 9o, 1o5, 12o/ cm.

Na učetvorostručenim veličinama pitagoriskog trobroja 3, 4, 5 počivaju zalančene deobe na 12, 16 i 2o jednakih delova kojima su karakterisane ključne jedinice poznatih antropomorfnih sistema mera.

Brojevi u sklopu dijagrama na sl. 2 imaju nesumljivo preferencijalni karakter. U pomenutom dijagramu, medjutim, ne pojavljuju se i neki drugi celi, čak prosti brojevi koje susrećemo veoma često na mnoštvu primera iz stvaralačke oblasti prošlosti. Iz tih razloga potrebno je posvetiti posebnu pažnju tzv. rekurentnim nizovima tipa:

1 n 1+n 1+2n 2+3n 3+5n 5+8n 8+13n.... /n=ceo broj/

- što će reći da je svaki član niza, počevši od trećeg člana na više, zbir dva prethodna, i približna geometriska sredina njemu dva susedna člana.

U obzir dolaze rekurentni nizovi za n = 1, 2, 3 i 4:

/1/	/1/	/2/	/3/	5	8	13	21	34	55	89.......
/1/	/2/	/3/	/5/	8	13	21	34	55	89	144.......
/1/	/3/	/4/	/7/	11	18	29	47	76	123	199.......
/1/	/4/	/5/	/9/	14	23	37	6o	97	157	254.......

koji svi bez izuzetaka - odnosom dva susedna člana teže podeli po "zlatnom preseku" ili "proporcionalnoj podeli" (po definiciji J.Keplera):

$$\frac{\sqrt{5}-1}{2} : 1 = 1 : \frac{\sqrt{5}+1}{2} \quad \text{ili} \quad \frac{1}{\varnothing} : \varnothing \quad (\varnothing = 1{,}618 \,..).$$

Aditivni princip, zastupljen u gornjim nizovima koji se postupno pretvaraju u posebni i jedinstveni tip geometriske proporcije, ima u modularnom projektovanju dalekosežnu važnost u kompoziciskom postupku.

Nezagradjeni članovi u četiri gornja niza, medjusobno povezani u horizontalnom i vertikalnom pravcu, omogućavaju postavljanje racionalnih geometriskih odnosa, veoma bliskih po vrednosti onim iracionalnim odnosima kojima je definisan odredjen proporciski sistem.

Dobijaju se sledeći transponovani odnosi:

- za sistem "neprekidne podele":

$8 : 5 \approx 13 : 8 \approx 21 : 13 \approx \ldots\ldots \approx \varnothing : 1$

$11 : 8 \approx 18 : 13 \approx 29 : 21 \approx \ldots\ldots \approx \sqrt{5} : \varnothing$

$11 : 5 \approx 18 : 8 \approx 29 : 13 \approx \ldots\ldots \approx \sqrt{5} : 1$

$14 : 11 \approx 23 : 18 \approx 37 : 29 \approx \ldots\ldots \approx \sqrt{\varnothing} : 1$

- za sisteme "kvadrature" i "triangulature":

$7 : 5 \approx \sqrt{2} : 1$ i $7 : 4 \approx \sqrt{3} : 1$

odakle je mogućno razviti u zamenu za sisteme $\sqrt{2}$ i $\sqrt{3}$ sledeća dva veoma pogodna, iako nečista geometriska niza:

5	7	1o	14	2o	28	4o	56	8o	......
4	7	12	21	36	63	1o8	189	324	......

Početni članovi datih rekurentnih nizova, vertikalno združeni u dve odvojene grupe geometriskih odnosa:

1 1	1 2	2 3	3 5
	3 4	4 5	

- grane harmoniske konsonante intervale koji se u likovnom stvaralaštvu pretvaraju u preferencijalne pravougaone slike razmere 1:1, 5:4, 4:3, 3:2, 5:3, 2:1 i obrnuto (kvadrat, uspravni i položeni pravougaonici).

U poredjenju geometriskih nizova sa količnikom 2, 3 i 5 sa iznetim rekurentnim nizovima [illegible] su ovi poslednji prihvatljivi iz razloga što se kombinacije njihovih članova lakše prilagodjavaju onim proporciskim sistemima koji se pretežno primenjuju u arhitektonskoj kompoziciji prilikom usaglašavanja pojedinih delova u tražene celine. Ove sisteme, prema mišljenju mnogih savremenih teoretičara, treba odvojeno koristiti, tj. nisu dopuštene proporciske spekulacije na istom objektu u raznorodnim sistemima iracionalnog tipa. Možda takvo shvatanje na prvi pogled može izgledati ispravno. Uzimajući, medjutim, u obzir dijagram na sl. 3 gde su u okviru pravougaonika Ø:1 konstruisane strane pravilnih poligona sa 3,4, 5, 6 i 10 strana (AR, AC, AF, AD i AQ) i upišemo u krug sa poluprečnikom AB (osnovicom pravougaonika Ø:1), doći će se do zaključka da su u suštini sistemi $\sqrt{5}$ i $\sqrt{2}$ integrisani u sistemu "proporcionalne podele".[4] Mora se reći da se u antičko doba pojedini iracionalni proporciski sistemi nisu nikada posmatrali odvojeno jedan od drugog. Činjenica da je postojala mogućnost da se svakom iracionalnom broju nadje odgovarajuće protivurečnosti u vidu racionalne razmere minimalnih otstupanja - bila je dovoljno čvrsta da se u zadovoljavajućoj meri prilagodi racionalističkom shvatanju antičkih umetnika.

Po mome mišljenju, proučavanje antičkih, inače zapostavljenih ili zaboravljenih metoda proporcionisanja vidno će uticati na pravilniju sistematizaciju kompozicionog postupka u savremenom projektovanju pomoću modularne koordinacije.

4. PROPORCIJE U SKLOPU RACIONALNIH NUMERIČKIH SKUPINA

U geometriskoj proporciji $a:b = b:c$ srednja geometriska proporcionala biće samo onda racionalna ako proizvodu $a.c$ bude odgovarao kvadrat celog broja. Inače je $b = \sqrt{a.c}$ iracionalan broj.

U tom pogledu potrebno je osvrnuti se na Platonovu definiciju proporcije (u "Timeju") gde se govori o medjusobnom odnosu "tri" broja. U pitanju su, prema antičkoj praksi, svakako celi brojevi, prvenstveno neparni i kvadratni koji su se na njima zasnivali:

$$1+3 = 4 = 2^2, \quad 1+3+5 = 9 = 3^2, \quad 1+3+5+7 = 16 = 4^2, \text{ itd.}$$

Prosti brojevi igrali su u sklopu rekurentnih nizova značajnu ulogu. Parni brojevi dolazili su u obzir u onim slučajevima kada su sistemski bili vezani za skupine neparnih i kvadratnih brojeva.

Govoriti o proporciskim odnosima tri nejednaka cela broja znači postaviti takvu geometrisku proporciju u kojoj će srednja geometriska proporcionala biti uvek ceo broj i postiže se sužavanjem opšteg oblika geometriske proporcije:

$$a : b = b : c$$

- na poseban oblik površinske ili kvadratne proporcije:

$$a.a : a.b = a.b : b.b$$

- ili:

$m^2 : m(m+n) = m(m+n) : (m+n)^2$ gde su m i n celi brojevi.

Člaovi kvadratne proporcije ispunjavaju kvadrat:

$a^2 + 2ab + b^2 = (a+b)^2$

- odnosno:

$m^2 + 2m(m.n) + (m+n)^2 = [m + (m+n)]^2$.

Grafički prikaz kvadratne proporcije dat je na sl. 4 u tri osnovne varijante:

$1 : 2 = 2 : 4$ za $m = n = 1$,
$1 : 3 = 3 : 9$ za $m = 1,\ n = 2$,
$4 : 6 = 6 = 9$ za $m = 2,\ n = 1$.

5. ANTIČKI PROPORCIONI ŠESTARI

Do otkrića kvadratne ili estetske proporcije antičkog sveta došao sam prilikom proučavanja sačuvanih bronzanih pporcionih šestara iz tog vremena.

Šestari imaju četiri oštra vrha uz stalan i asimetričan položaj obrtnog zgloba. Svakom šestaru odgovara stalan racionalni geometriski odnos odredjen nejednakom podelom šestarskog kraka.

Šestarska razmera:

$$k = \frac{m + n}{m} \ldots\ldots \text{ (m, n = celi brojevi od 1 do 5)}$$

- biće izražen odnosom dve različita jednocifrena broja. U sinoptičkom pogledu na sl. 5 iznete su moguće kombinacije.

U ovom pogledu ističu se dve skupine preferencijalnih šestarskih razmera -

2 : 1	3 : 1	3 : 2
5 : 3	8 : 5	9 : 5

Koliko mi je poznato sačuvani su proporcioni šestari razmere 2:1, 8:5 i 9:5 i potiču: prvi iz Grčke (Britanski muzej u Londonu), drugi iz Pompeje (Nacionalni muzej u Napulju) i treći sa jednog od rimskih lokaliteta u Hercegovini - selo Gradac kod Posušja - (Zemaljski muzej u Sarajevu).[5]

Razmere 2:1, 3:1, 3:2 i 5:3, 8:5, 9:5 sadržane su u rekurentnim nizovima:

$$\underline{1} \quad \underline{2} \quad \underline{3} \quad \underline{5} \quad \underline{8} \quad 13 \quad \ldots\ldots$$
$$1 \quad 4 \quad \underline{5} \quad \underline{9} \quad 14 \quad 23 \quad \ldots\ldots$$

- pa se usled toga imaju smatrati izvornim razmerama ovih nizova.

Rukovanje proporcionim šestarima prikazano je na sl. 6. Konstruisanje produžne proporcije:

$$\ldots\ldots = c' : a = a : b = b : c = \ldots\ldots$$

- vrši se postupnim linearnim nanošenjem većih (ili manjih) članova proporcije okretanjem šestara uz odgovarajuće povećanje (ili smanjenje) šestarskog otvora.

Treba ovom prilikom reći da se svaki proporcionalni šestar može zameniti pravouglim trouglom čiji odnos kateta odgovara šestarskoj razmeri; upotreba trougla zasniva se na dijagonalnim potezima koji prate nagib hipotenuze. Poredjenje proporcionog trougla sa proporcionim šestarom iste razmere iznato je na sl. 7.

Utvrdjena šestarska razmera identifikuje se sa količnikom proporcije koju treba konstruisati. Prema tome, proporcija se može napisati i drukčije ako je $c' = 1$:

$$\ldots = 1 : \frac{m+n}{m} = \frac{m+n}{m} : \left(\frac{m+n}{m}\right)^2 = \left(\frac{m+n}{m}\right)^2 : \left(\frac{m+n}{m}\right)^3 = \ldots\ldots$$

- odnosno:

$$\ldots = m^3 : m^2 (m+n) = m^2 (m+n) : m(m+n)^2 = m(m+n)^2 : (m+n)^3 = \ldots$$

Uzmimo primera radi, $m = 2$, $n = 1$:

$$\ldots = 1 : \frac{3}{2} \quad \frac{3}{2} \; \frac{9}{4} \quad \frac{9}{4} \quad \frac{27}{8} \quad \frac{27}{8} \quad \frac{81}{16} = \ldots\ldots$$

- što daje, prevedeno na cele brojeve:

$$\ldots = 16 : 24 = 24 = 36 = 36 : 54 = 54 : 81 = \ldots\ldots$$

- odnosno: $4^2 : 4.6 = 4.6 : 6^2 = 6^2 : 6.9 = 6.9 : 9^2 = \ldots\ldots$

- čime je dokazano da je u pitanju postupno zalančavanje **tri** kvadratne proporcije. Ovaj primer obradjen je grafički na sl.8.

6. SKUPINE PREFERENCIJALNIH BROJEVA ZASNOVANE NA ŠESTARSKIM RAZMERAMA 9:5, 8:5, 5:3

Prema jednoj teoremi u teoriji zbirnih brojeva [6] sledi da se pomoću dva različita broja a i b (cela, bez zajedničkog sadržatelja) može izvesti bilo koji nov broj N koji je, kao kombinacija $x.a + y.b$ (x, y=celi brojevi), veći od $(a-1)(b-1)$; broj N je "kritičan" kada je jednak ovom izrazu, tj. ispod ovog kritičnog broja mogu se sklopiti samo $N/2 - 1$ kombinacija od a i b. Prema tome, kritički brojevi bili bi:
- za šestarsku razmeru 9:5 - $(9-1)(5-1) = 32$;
- za šestarsku razmeru 8:5 - $(8-1)(5-1) = 28$;
- za šestarsku razmeru 5:3 - $(5-1)(3-1) = 8$.

Broj mogućnih kombinacija ispod kritičnih brojeva 32, 28 i 8 iznosi: 32/2 - 1 = 15 za razmeru 9:5; 28/2 - 1 = 13 za razmeru 8:5; i 8/2 - 1 = 3 za razmeru 5:3.

Na sl. 9 sastavljeni su, prema gornjim podacima, numerički dijagrami u kojima su naročito istaknuti zbirni brojevi šestarskih razmera 9:5, 8:5 i 5:3 koji se nalaze ispod odgovarajućih kritičnih brojeva. Posebnu pažnju zaslužuju dijagrami za šestarske razmere 9:5 i 8:5 iz kojeg slede, do kritičnog broja, dve skupine preferencijalnih brojeva:

5 9 1o 14 15 18 19 2o 23 24 25 27 28 29 3o 32
5 8 1o 13 15 16 18 2o 21 23 24 25 26 28

Izdvajanjem zajedničkih brojeva stvara se nova skupina:

5 1o 15 18 2o 23 24 25 28

- koja je u antičkim numeričkim spekulacijama imala izrazit preferencijalni karakter, a pogotovo što su razmere sklopljene iz ovih brojeva transponovane racionalne vrednosti važnih iracionalnih odnosa:

$$\frac{28}{2o} = \frac{7}{5} \approx \frac{\sqrt{2}}{1}; \qquad \frac{24}{28} = \frac{6}{7} \approx \frac{\sqrt{3}}{2};$$

$$\frac{24}{15} = \frac{8}{5} \approx \frac{\varnothing}{1}; \qquad \frac{2o}{18} \quad \frac{1o}{9} \approx \frac{\sqrt{5}}{4}; \qquad \frac{23}{18} \approx \frac{\sqrt{\varnothing}}{1}.$$

Treba imati na umu da je za poslednju skupinu brojeva svejedno da li se koristi proporcioni šestar razmere 9:5 ili 8:5 (gradački ili pompejski). Sasvim je razumljivo da su sve gornje kombinacije mogućne i sa šestarskom razmerom 5:3 s obzirom što je 8 kritični broj.

Ne može se poreći dalekosežni uticaj napred izvedenih preferencijalnih brojeva na odredjivanje osnovnog proporciskog sklopa izvesnog umetničkog dela u dalekoj prošlosti.

Postavlja se krupno pitanje: da li su ovi antički preferencijalni brojevi i danas još u važnosti kada se - usled potpuno novih konstruktivnih metoda - iz osnova promenio karakter savremenog uobličavanja u arhitekturi?

S moje strane, odgovor je potvrdan. Duboko sam uveren da su skupine brojeva na sl. 9 pogodnije od svih dosada poznatih. Tvrdim, takodje, da brojevi iz ovih skupina, shvaćeni kao koeficijenti osnovnog gradjevinskog modula, mogu sa istom lakoćom kao nekada biti i danas korišćeni. Dokazaću to, uostalom, u toku daljeg izlaganja, uporednom modularnom analizom jednog klasičnog primera nasuprot drugom iz kurentne savremene arhitektonske prakse.

7. GRADAČKI ŠESTAR I POLAZNE MODULARNE MERE PARTENONA

U opsežnoj studiji "O ulozi i značaju proporcionih šestara u kompoziciskim metodima antičke likovne umetnosti" (u štampi) istakao sam preimućstva Gradačkog šestara 9:5 (sl. lo) nad svim ostalim sličnim šestarima poznate ili pretpostavljene razmere, potkrepljujući svoje tvrdjenje nizom odabranih primera.

Polazne modularne mere dorskog reda na Partenonu iznete su u shematskom dijagramu na sl. 11. Osnovni modul iznosio je 3 palma = 3.7,944cm = 23,832cm.

Dalje su iznosili:

donji prečnik stuba ...... 24 palma=24.7,944cm=19o,656cm
kurentni interkolumnijum.. 3o palma=3o.7,944cm=238,32ocm
kurentni osni razmak ..... 54 palma=54.7,944cm=428,976cm

Grčka mera: 1 stopa = 4 palma = 16 prstiju = 31,776cm (1 palm = 7,944cm) dobijena je na osnovu mera snimljenog spomenika.[7] Apsolutna tačnost ove mere u metarskom sistemu nije bitna. Bitni su celi kotni brojevi (u palmima) za Iktinov osnovni proporciski dijagram, tj. za onaj dijagram koji je neminovno morao prethoditi toliko čuvenim optičkim korekturama kojima se ovo antičko remek-delo naročito odlikuje.

Kotni brojevi koji su upisani u dorsku dispoziciju Partenona (sl. 11) provereni su saglasnim potezima Gradačkog šestara.

Na ovaj način potvrdjena je izuzetna moć celih, preferencijalnih brojeva sistema šestarske razmere 9:5 u odredjivanju osnovne proporciske strukture Partenona.

8. OSNOVNI DIJAGRAM MINIMALNOG STANA

Posle svega što je napred izloženo u pogledu modularnog projektovanja, potrebno je sada izvršiti skok iz daleke prošlosti u sadašnjost i proveriti celishodnost antičkog načina proporcionisanja na probleme iz savremene arhitekture.

Izabrao sam, medju tolikim primerima, prototip malog stana za tri osobe. Jasno je da je za pravilno rešavanje ovog problema trebalo utvrditi jednu odredjenu polaznu meru. Usvojio sam projektantski modul loM = $1M_{lo}$ = loo cm imajući u vidu veličinu postelje koja teoriski iznosi 1,oom/2,oom.

Postepeno rešavanje prototipa malog stana u prvoj fazi kompoziciskog postupka prikazano je na sl. 12. Tražena je funkcionalna shema stana. Stan je smešten u kvadratu sa stranom $6M_{lo}$. Izvršena je harmonična podela strane kvadrata na 2 i 3 dela, analogno načinu koji je sproveden na sl. 1. Dobijenim repernim tačkama regulisan je položaj konstruktivnih i pregradnih zidova. Predvidjen je poprečni konstruktivni sistem.

Dužinske i površinske kote pojedinih prostorija izražene su u M_{lo} i M^2_{lo}:

1 - soba sa jednom posteljom	2.3 =	6
2 - soba sa dve postelje	4.3 =	12
3 - stambena kuhinja	4.3 =	12
4 - sanitarni čvor i ostava	2.2 =	4
5 - ulaz	2.1 =	2
	Ukupno:	36

- tj. $36M^2_{lo}$ = $36m^2$ ili $12m^2$ prosečno po osobi.

U linearnom rešenju osnove na sl. 12 nije vodjeno računa o jačini zidova. S obzirom na ovu činjenicu koja za sobom povlači povećanje projektantskog modula, biće celishodno preći sa

M_{1o} na M_{12} = 12ocm, tj. na onu meru o kojoj je već bilo reči prilikom tumačenja dijagrama na sl. 1.

Na sl. 13 izvršeno je poredjenje dosadašnje dispozicije stana primenom četiri različita projektantska modula:

$6M_{12}$ $8M_{9}$ $6M'_{12}$ $6M''_{1o}$

Prosečne površine po osobi iznose za prve dve dispozicije $17{,}28m^2$, za treću $17{,}84m^2$ i za četvrtu $18{,}75m^2$.

Vredan je pažnje uticaj projektantskih modula M_{12} i M_9 pri istom osnom razmaku $3M_{12} = 4M_9 = 36M$ na unutrašnju dispoziciju pregradnih zidova, kao i na širinu plakara.

Svi su koeficijenti osnovnog gradjevinskog modula u iznetim osnovama preferencijalni brojevi, podjednako zastupljeni u numeričkim dijagramima sl. 2 i 9.

Osnova sa četiri stana u nizu, od kojih su dva srednja ugradjena, prikazana je na sl. 14. U odnosu na prototip stana, dubina zgrade povećana je za $1M_{12}$ čime su omogućene lodje u svakom stanu.

U stanovima na uglu predvidjene su sledeće, po nameni nove prostorije:

6 - dnevna soba sa jednom posteljom,
7 - niša sa dve postelje,
8 - radna kuhinja.

Ovi stanovi primaju po pet osoba, što čini $11{,}23m^2$ po osobi. Smanjenje je postignuto projektovanjem radne kuhinje i posebne niše za spavanje u nastavku dnevne sobe.

Pravilno odmereni normativi počivaju na smišljenim modularnim pretpostavkama. Iznete osnove prikazuju u glavnim crtama tehniku komponovanja preko modularnih mreža čiju gustinu reguliše adekvatan projektantski modul.

9. GRADAČKI ŠESTAR I IZGLEDI ZGRADA ZA STANOVANJE

Modularno projektovanje izgleda jedne zgrade za stanovanje u našim uslovima zavisi prvenstveno od predvidjenih mera za osni razmak, spratnu visinu i prozorsko krilo.

Pretpostavimo da treba projektovati dvorišnu fasadu ugradjenog prizemnog stana na sl. 14. Jedina poznata mera je osni razmak $3M_6$ = 36M.

Korisno je utvrditi ostale mere sledećim redom:

- 28M za spratnu visinu,
- 3M za jačinu tavanske ili medjuspratne konstrukcije,
- 14M za visinu prozorskog krila (polovina spratne visine),
- 9M za visinu parapeta,
- 8M za širinu prozorskog krila,
- 32M za širinu četvoroklirnog prozora,
- 2M za jačinu poprečnog konstruktivnog zida,
- 2oM za visinu izlaznih (balkonskih)vrata (9+11)M,
- 3M za visinu nadsvetla,
- 1M za visinu postolja,
- 2M za jačinu strehe.

Složeni po veličini, koeficijenti osnovnog gradjevinskog modula:

1 2 3 8 <u>9</u> <u>14</u> <u>2o</u> <u>28</u> <u>32</u> <u>36</u>

- pripadaju očevidno sistemu šestarske razmere 9:5. Usled prisustva modularnih brojeva 8, 14 i 28 može se pretpostaviti da su njihovi medjusobni odnosi 14:8 = 7:4 i 28:8 = 2.7:8 racionalni izraz neke kombinacije u iracionalnom sistemu "triangulature".

Pristupljeno je konačno iscrtavanju fasadne dispozicije prema gornjim mernim podacima. Na sl. 15 prikazana su dva združena fasadna elementa, ubeleženi su kontrolni potezi Gradačkog šestara i ucrtana je triangulaciona shema:

$$\frac{28}{16} = \frac{14}{8} \sim \frac{19}{11} \approx \frac{\sqrt{3}}{1}$$

Pored toga slede još nekoliko značajnih odnosa:

$$\frac{36}{16} = \left(\frac{3}{2}\right)^2 \qquad \frac{25}{16} = \left(\frac{5}{4}\right)^2 \qquad \frac{25}{18} = \frac{1}{2}\left(\frac{5}{3}\right)^2$$

Opšti utisak "konstruisane" fasade je privlačan i miran, svakako i iz razloga što je svesno uspostavljen sklad delova sa celinom u okviru samog fasadnog elementa.

Radi ubedljivijeg prikaza ovakvog načina projektovanja, iskorišćen je fasadni elemenat sa sl. 15 za fasadni sklop jedne trospratne zgrade za stanovanje. U rešenju, koje je dato na sl. 16, primenjene su iste modularne mere. Izvesne modifikacije u oblikovanju - isticanje fasadnog rastera, erker sa lodjama, uzdignuto prizemlje sa pola spratne visine, sniženi i suženi prozori u suturenu, snažno propuštena streha - nesumnjivo su doprinele rešenju: pojačani su kontrasti i podvučena je plastika.

Od posebnog značaja je saznanje da su dve suprotne koncepcije po nameni i po vremenu - Partenon i tip zgrade za stanovanje - zasnovane na istoj skupini preferencijalnih brojeva koja je proistekla iz antičke šestarske razmere:

$$9 : 5 = 3^2 : (1^2 + 2^2).$$

x x x x

Ovim sumarnim izlaganjem želeo sam da istaknem značaj modularne koordinacije u arhitektonskom projektovanju. Nadam se da će mnoge činjenice, koje sam izneo, propratio sopstvenim crtežima i potkrepio matematičkim dokaznim materijalom, naići na razumevanje projektanata i ostalih zainteresovanih stručnjaka.

O osmičnoj podeli metri i njenoj primeni u projektovanju objavio sam sledeće članke i studije:
- Kritički osvrt na značaj proporciskih dijagrama i modularnih mreža u projektovanju (u zbirci: referati ~~za I savetova~~-nje arhitekata i urbanista Jugoslavije, I deo, Dubrovnik, 195o).
- O problemu modularne koordinacije mera u arhitektonskom projektovanju, "Tehnika" br. 2/1954, Beograd.
- Uticaj recipročnog zalančavanja harmoniskih razmera na proporciski sklop izvesnog fasadnog sistema, I & II, "Tehnika", br. 6-7/1954, Beograd.
- Kritički osvrt na modularne mere standardnih elemenata "Durisol" putem analize dve fasadne kombinacije u oktametarskom sistemu, "Tehnika" br. 3/1955, Beograd.

2 U mletačkom sistemu mera: 5 stopa = 3 lakta (vidi: Guiseppe Antonio Alberti, Trattato di aritmetica pratica, T.I., Venezia, 1752).

3 U pitanju su sledeće moje publikacije:
- Primena na standardniot modul 1M=1ocm vo arhitektonskoto proektiranje, Zbornik na Tehničkiot fakultet 1955/56, Skopje, 1957.
- Sur le choix d'une gamme dimensionnelle dans la coordination modulaire en architecture, Belgrade, 1957.

4 - Macody F.Lund, Ad Quadratum, Paris, 1922.
- Ernst Neufert, Bauordnungslehre, Berlin, 1943.

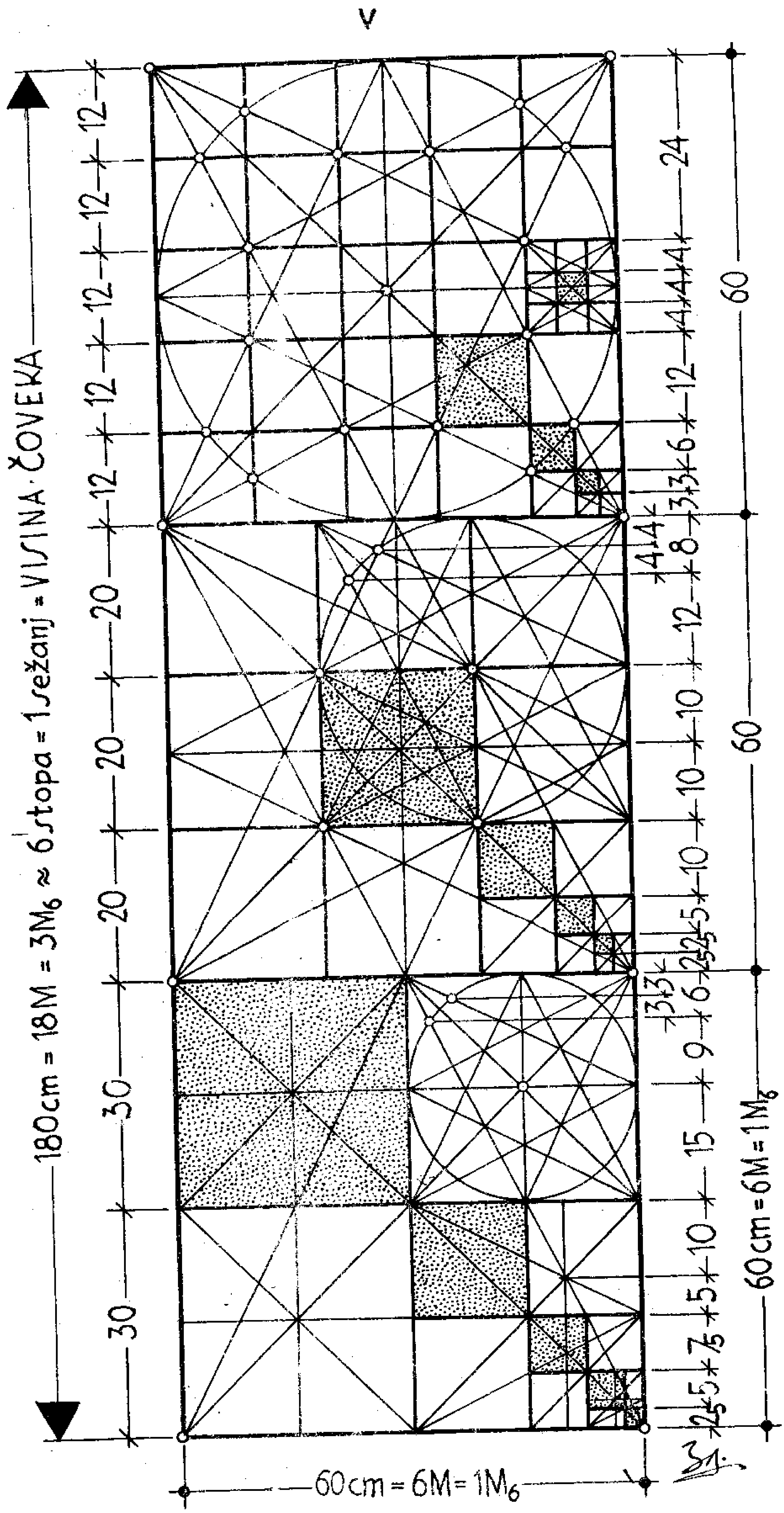
5 H.B.Walters, Catalogue of the Bronzes, Greek, Roman, and Etruscan, London, 1899.
- Federico Frigerio, Antichi strumenti tecnici, Como, 1933.
- Franz Fiala & Carl Patsch, Untersuchungen römischer Fundorte in der Herzegovina, Wien, 1895.

6 - J.W.Harding & L.S.Vallance, Geometrical Aspects of Modular Co-ordination, "The Builder", V.193, London.

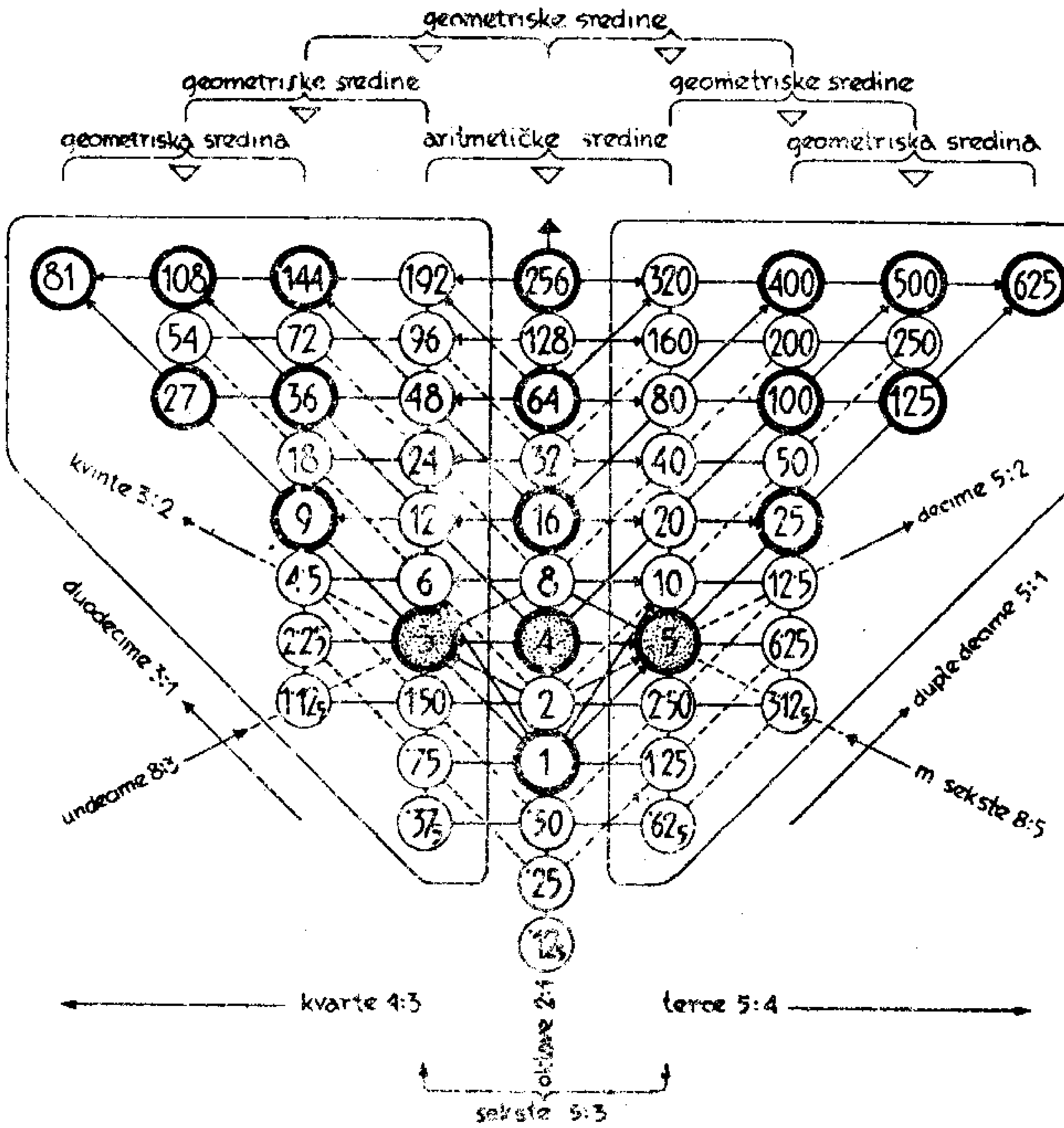
7 - J.Bühlmann, Die Architektur des klassischen Altertums und der Renaissance, I deo: Die Säulenordnungen, Stuttgart, 1872.
- Max Theuer, Der grischisch-dorische Peripteraltempel, Berlin, 1918.
- Jay Hambidge, The Parthenon and other Greek Temples - Their Dynamic Symmetry, New Haven, 1924.
- Friedrich Hultsch, Griechische und römische Metrologie, 2 id., Berlin, 1882.

P r i l o g 1

Ad.- Arh. MILAN ZLOKOVIĆ

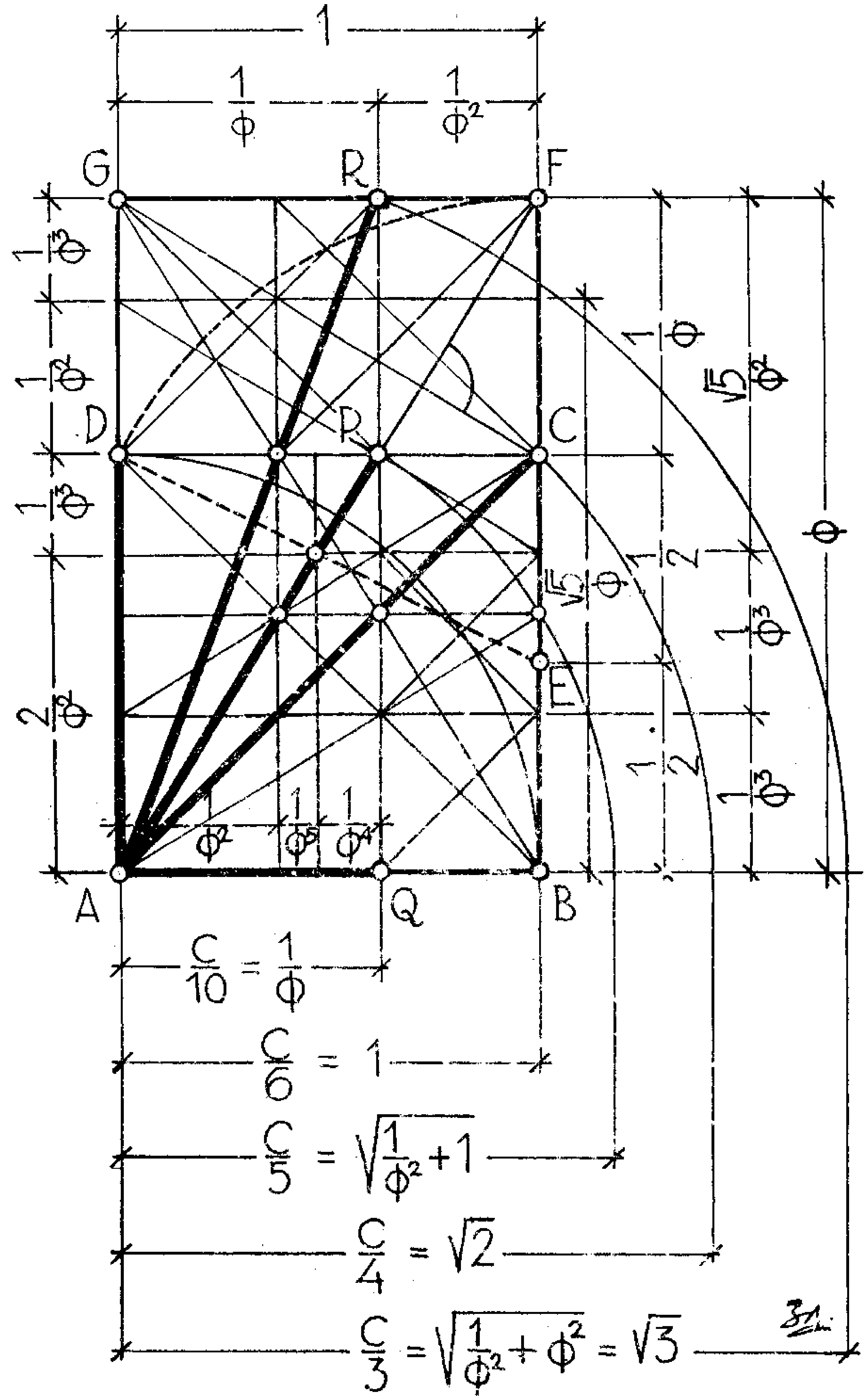

V
180cm = 18M = 3M6 ≈ 6 stopa = 1 sežanj = VISINA ČOVEKA
60cm = 6M = 1M6
60cm = 6M = 1M6
60
60

Sl. 1

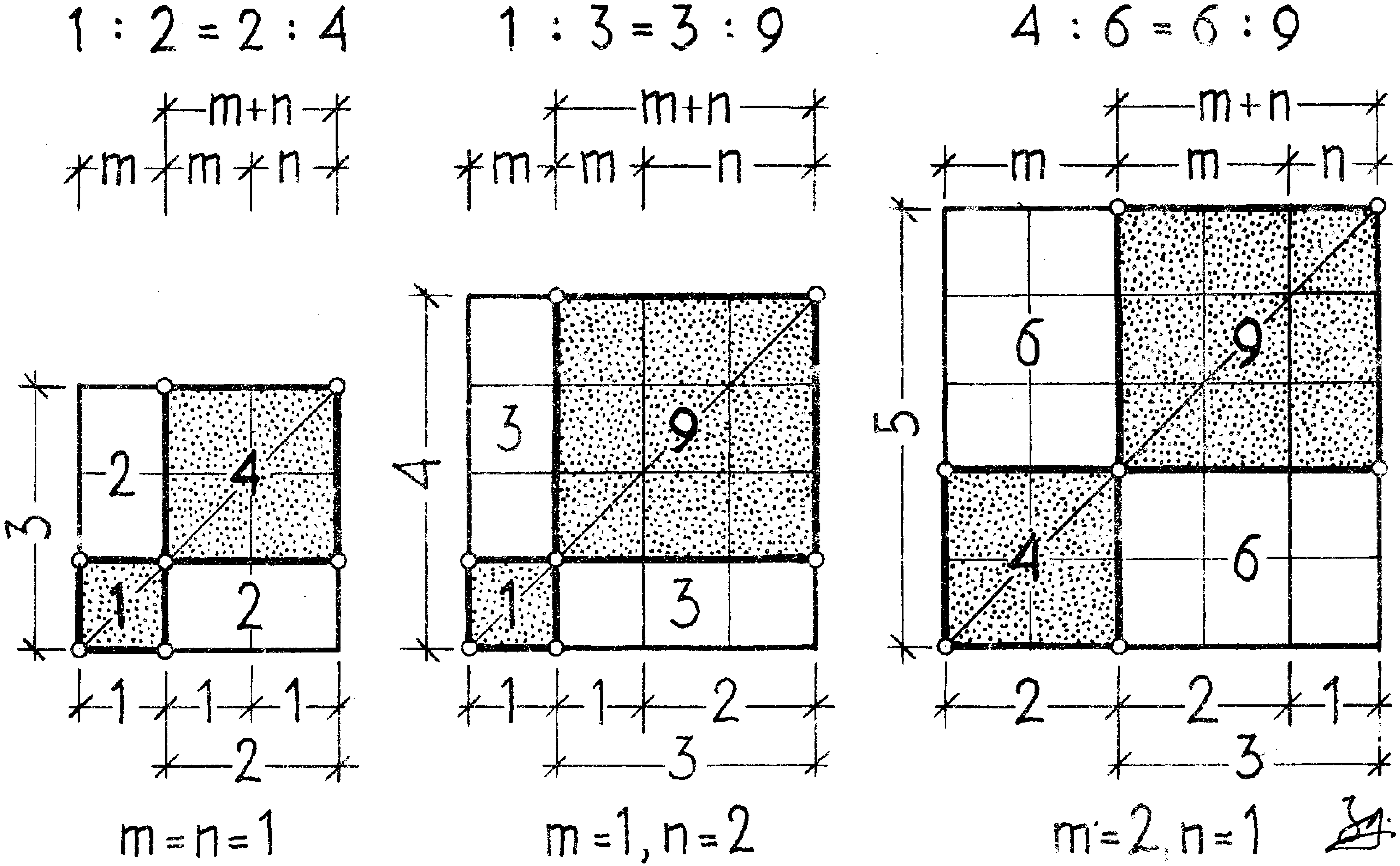


					1					
				2	5	3				
			4	10	6	15	9			
		8	20	12	30	18	45	27		
	16	40	24	60	36	90	54	135	81	
32	80	48	120	72	180	108	270	162	405	243

Sl. 2

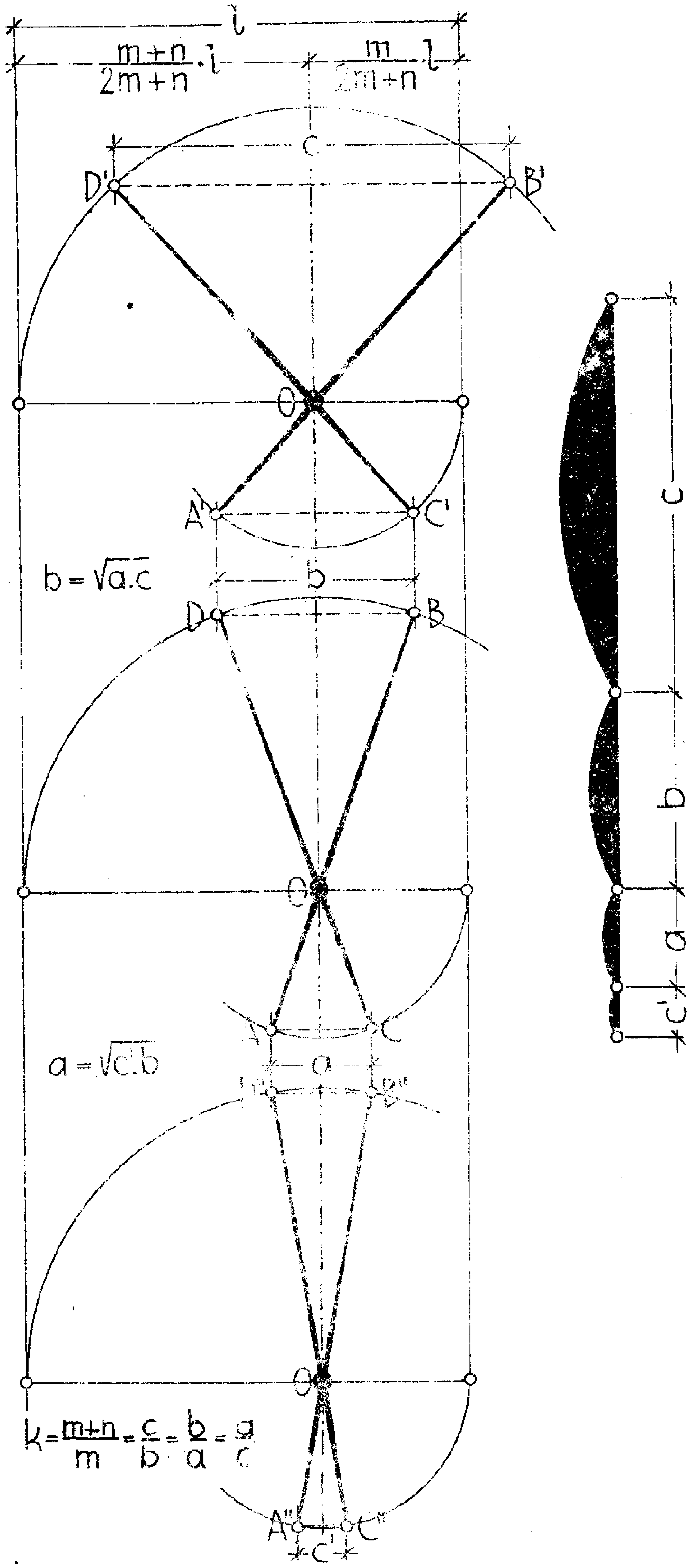

G
R
F
D
P
C
E
A
Q
B
1
$\frac{1}{\phi}$
$\frac{1}{\phi^2}$
$\frac{C}{10} = \frac{1}{\phi}$
$\frac{C}{6} = 1$
$\frac{C}{5} = \sqrt{\frac{1}{\phi^2}+1}$
$\frac{C}{4} = \sqrt{2}$
$\frac{C}{3} = \sqrt{\frac{1}{\phi^2}+\phi^2} = \sqrt{3}$

Sl. 3

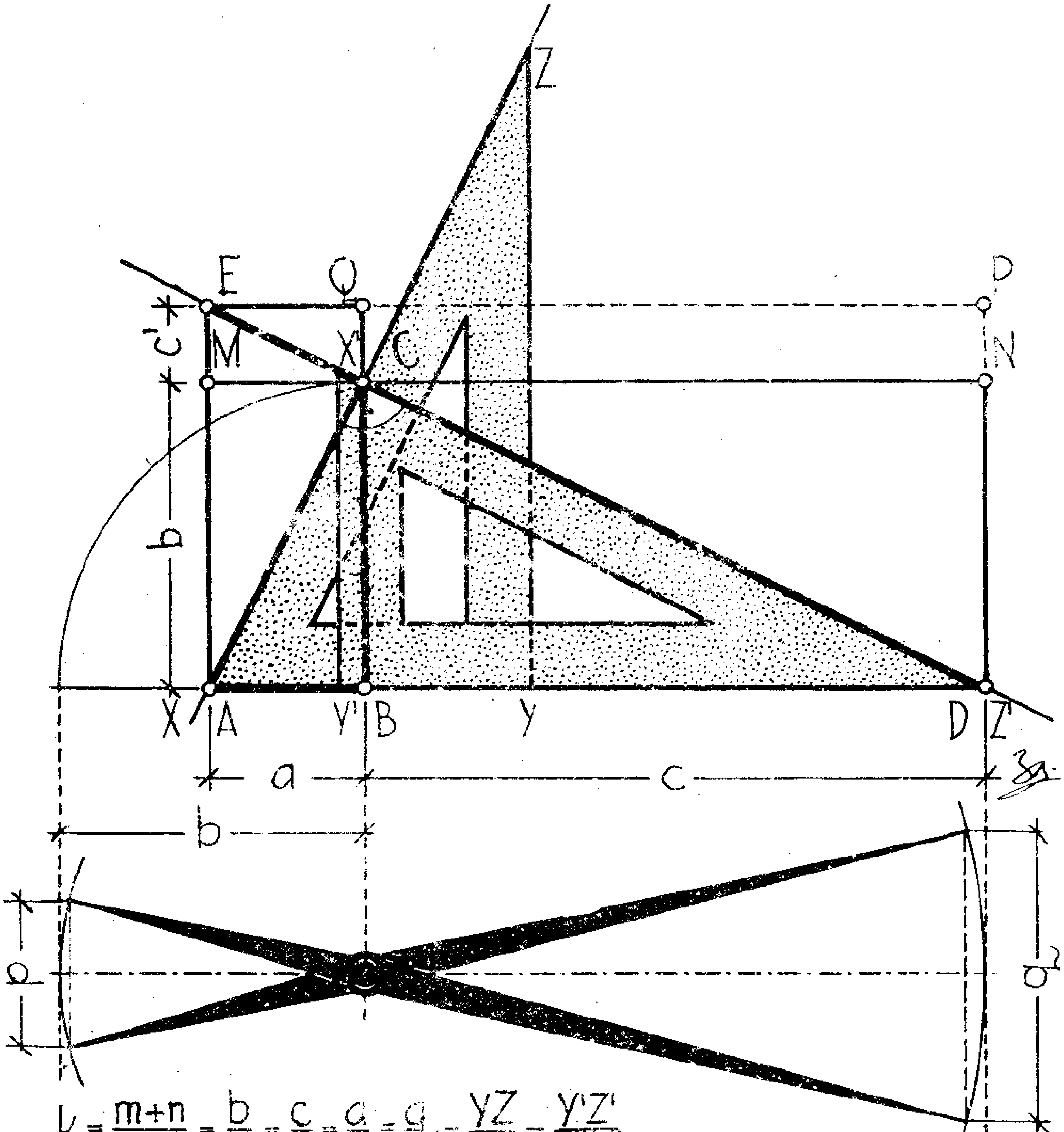

1 : 2 = 2 : 4
m+n
m
m
n
2
4
1
2
3
1
1
1
2
m = n = 1
1 : 3 = 3 : 9
m+n
m
m
n
3
9
1
3
4
1
1
2
3
m = 1, n = 2
4 : 6 = 6 : 9
m+n
m
m
n
6
9
4
6
5
2
2
1
3
m = 2, n = 1

Sl. 4

m	n	$k = \frac{m+n}{m}$
1	1	2 : 1
1	2	3 : 1
1	3	4 : 1
1	4	5 : 1
1	5	6 : 1
2	1	3 : 2
2	3	5 : 2
2	5	7 : 2
3	1	4 : 3
3	2	5 : 3
3	4	7 : 3
3	5	8 : 3
4	1	5 : 4
4	3	7 : 4
4	5	9 : 4
5	[illegible]	[illegible] : 5
5	2	7 : 5
5	3	8 : 5
5	4	9 : 5

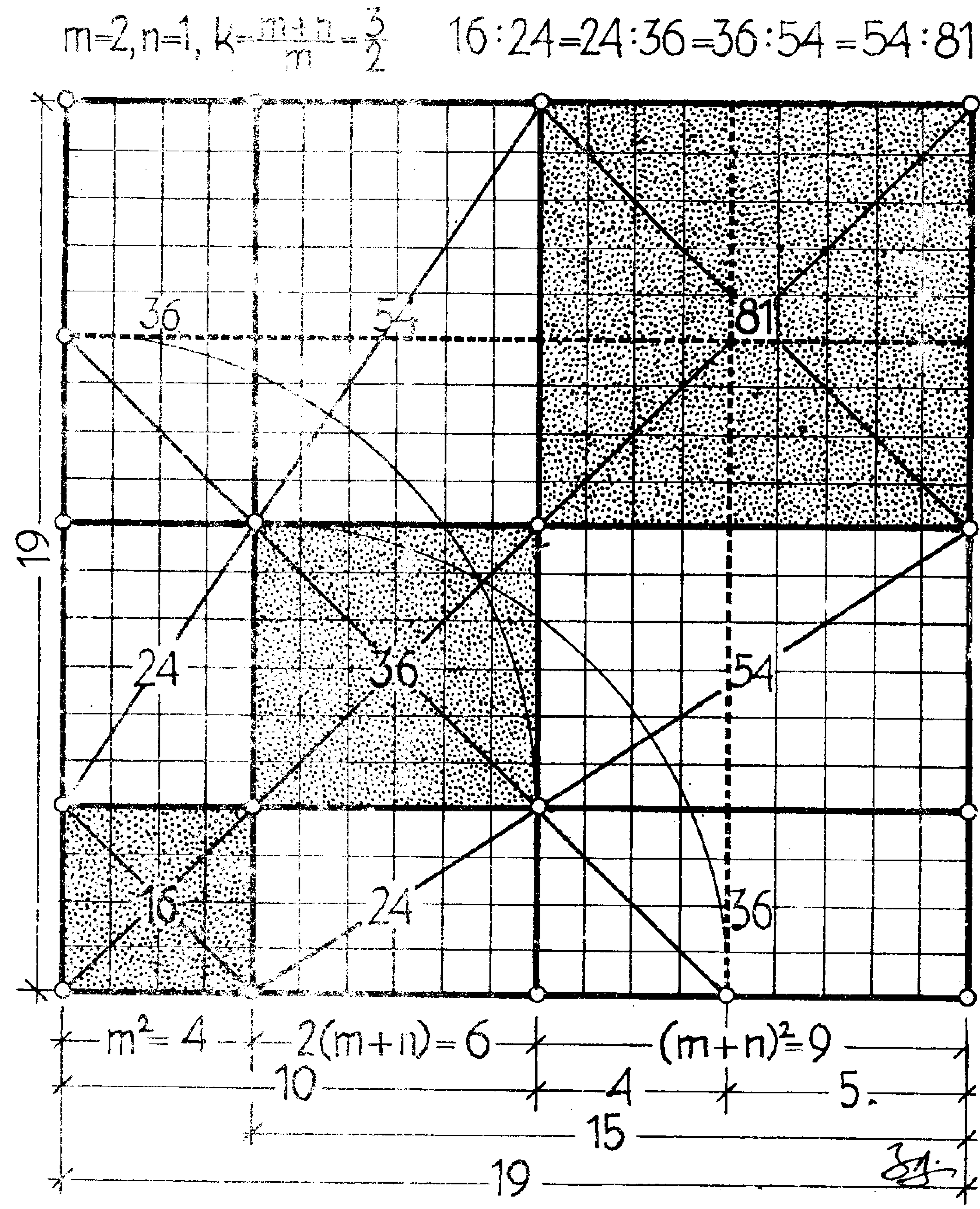

l
$\frac{m+n}{2m+n} \cdot l$
$\frac{m}{2m+n} \cdot l$
c
D'
B'
O
A'
C'
$b=\sqrt{a.c}$
b
D
B
A
C
$a=\sqrt{c'.b}$
a
B''
$k=\frac{m+n}{m}=\frac{c}{b}=\frac{b}{a}=\frac{a}{c'}$
A''
C''
c'

Sl. 6

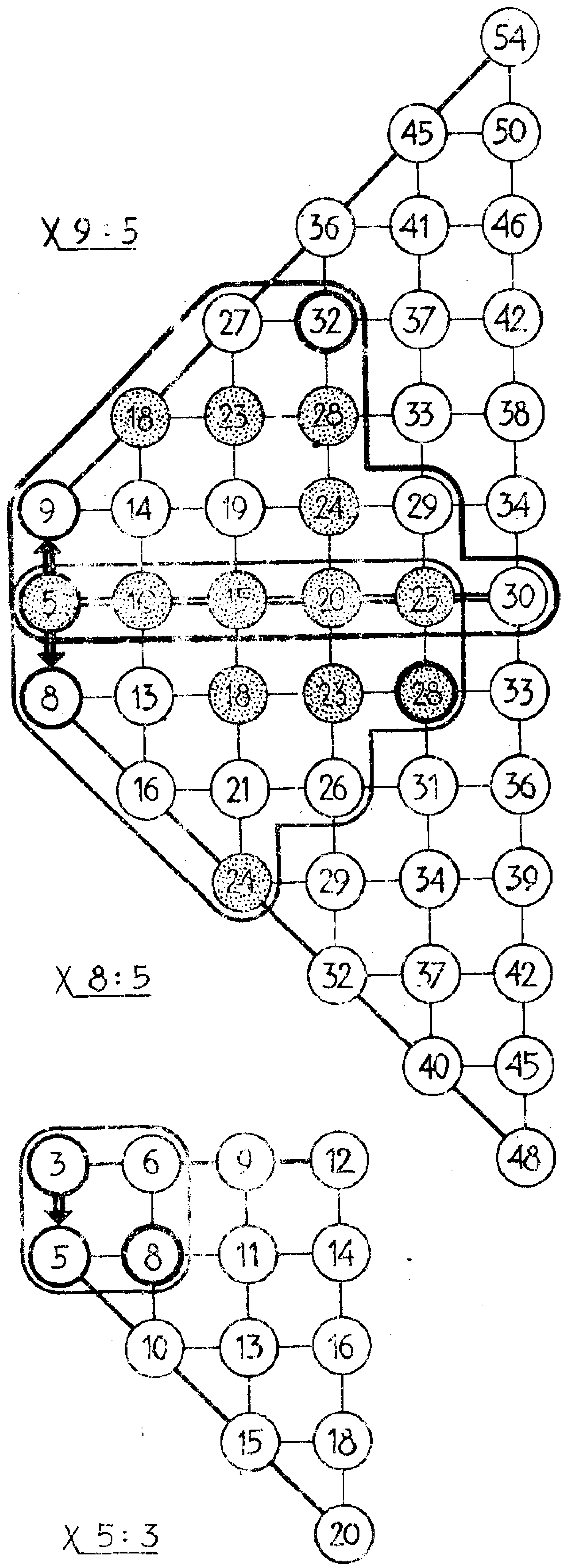


$$k=\frac{m+n}{m}=\frac{b}{a}=\frac{c}{b}=\frac{a}{c'}=\frac{q}{p}=\frac{YZ}{XY}=\frac{Y'Z'}{X'Y'}$$

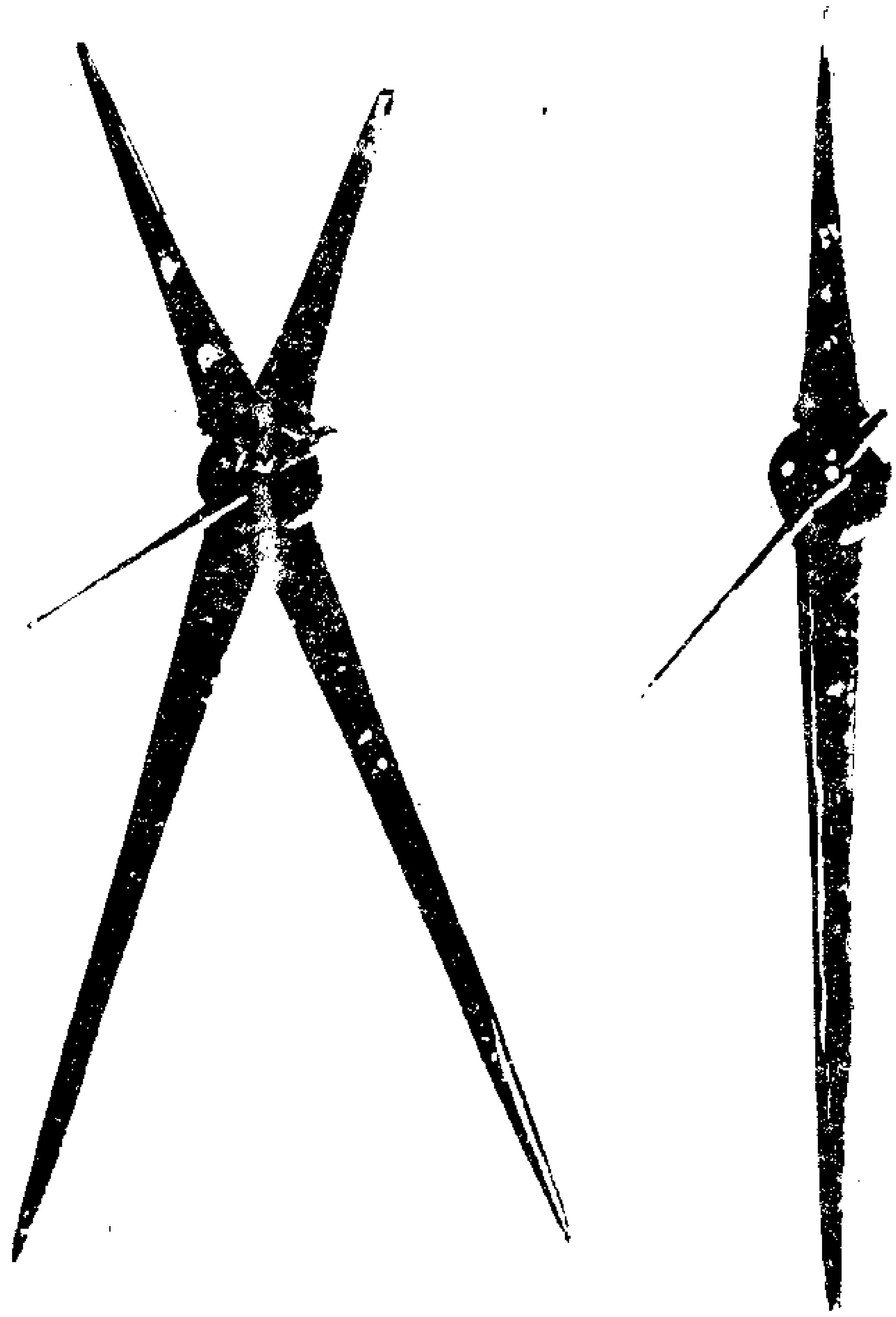
Sl. 7


m=2, n=1, k=(m+n)/m=3/2
16:24=24:36=36:54=54:81
36
54
81
19
24
36
54
16
24
36
m²=4
2(m+n)=6
(m+n)²=9
10
4
5
15
19

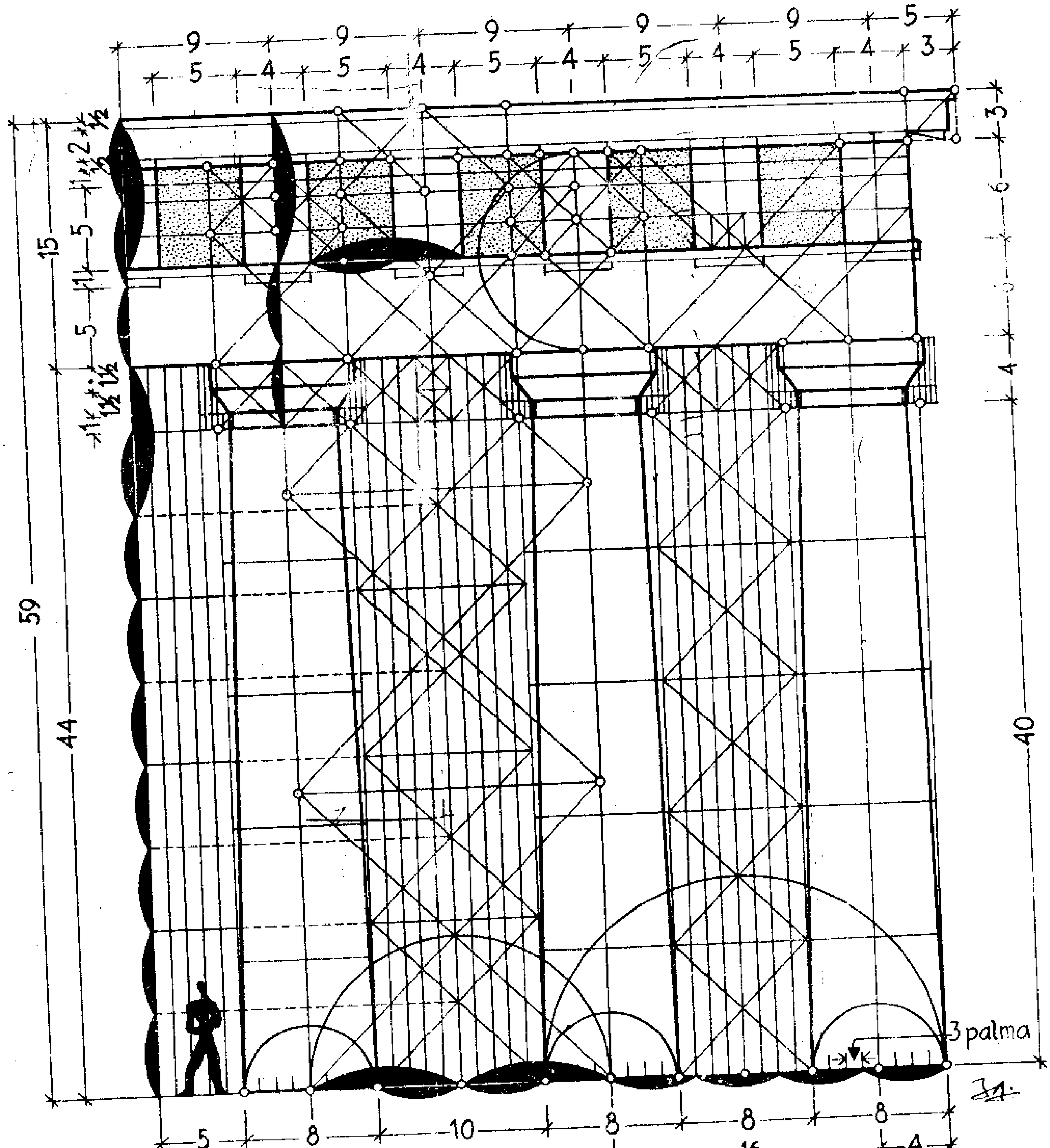
Sl. 8



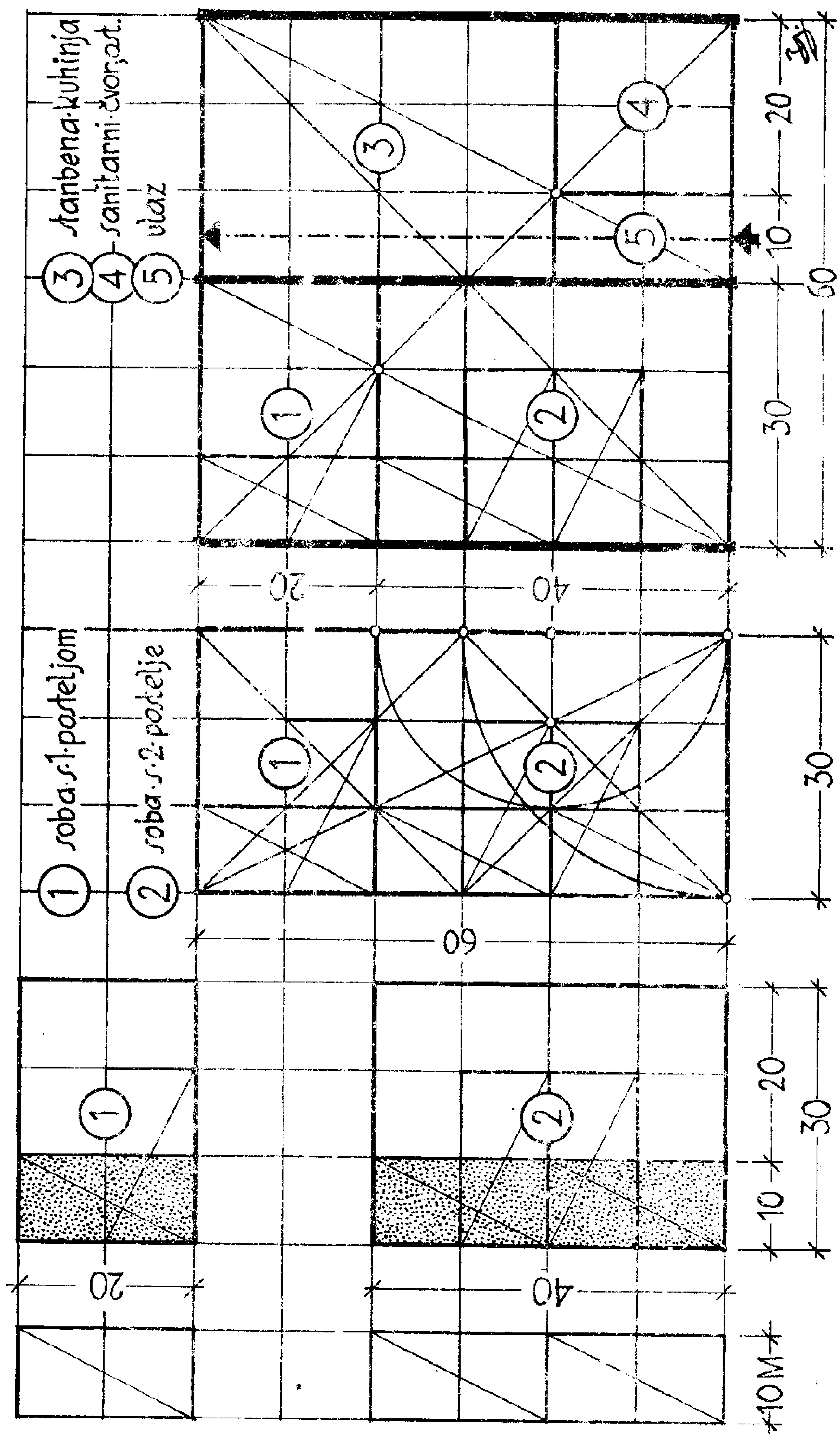
Sl. 9



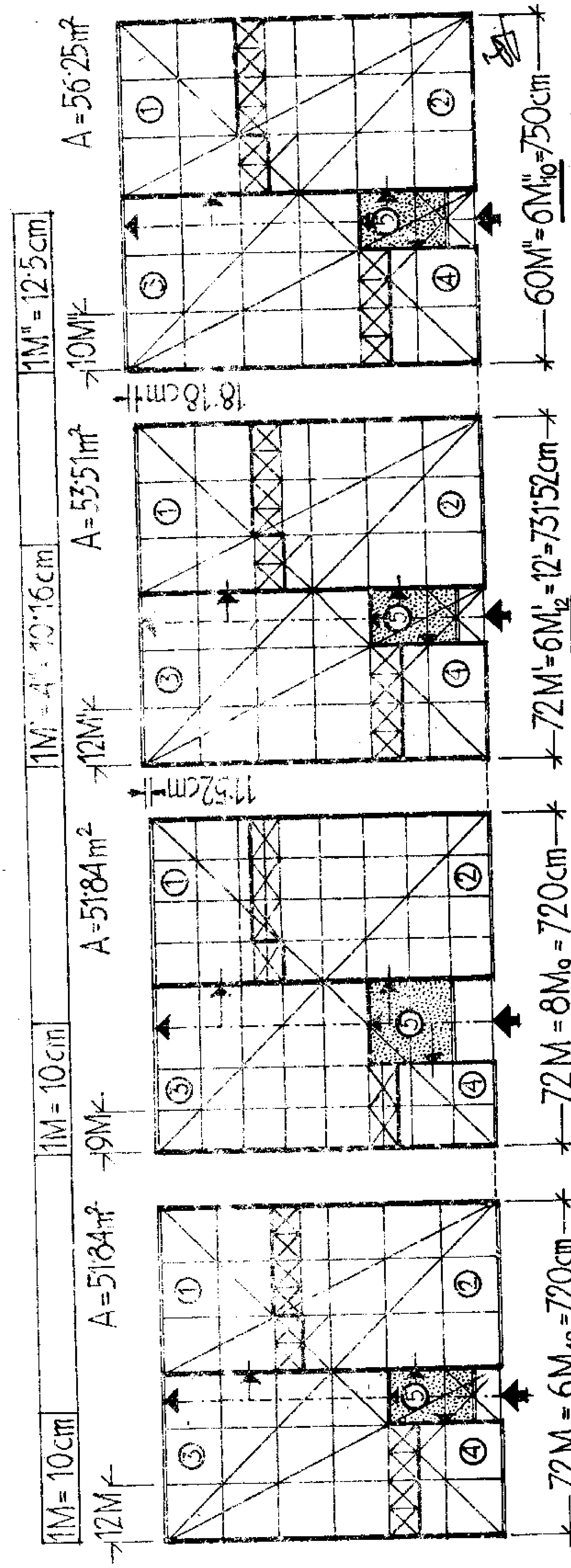
Sl. 10



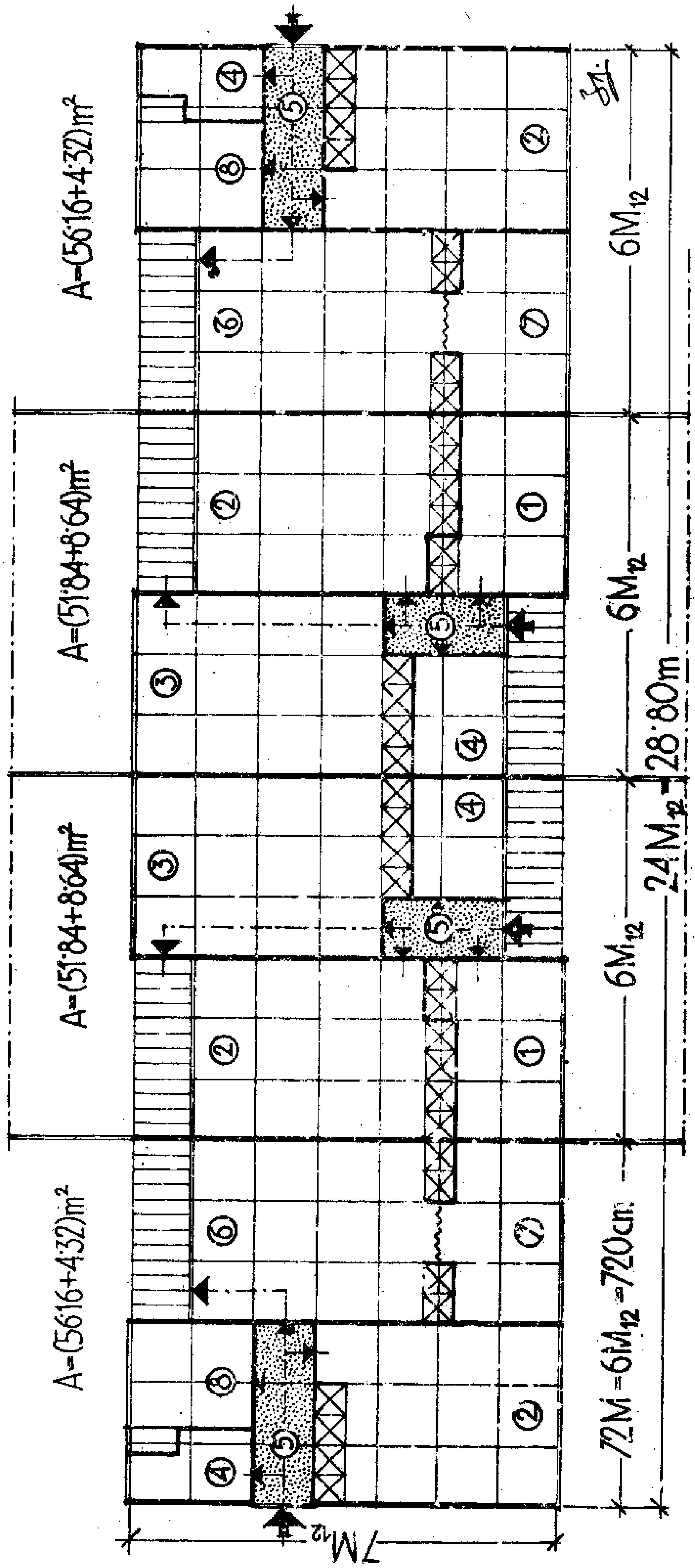
Sl. 11


1 soba s 1 posteljom
2 soba s 2 postelje
3 stanbena kuhinja
4 sanitarni čvor,ost.
5 ulaz
10 M
20
40
60
30
10
50

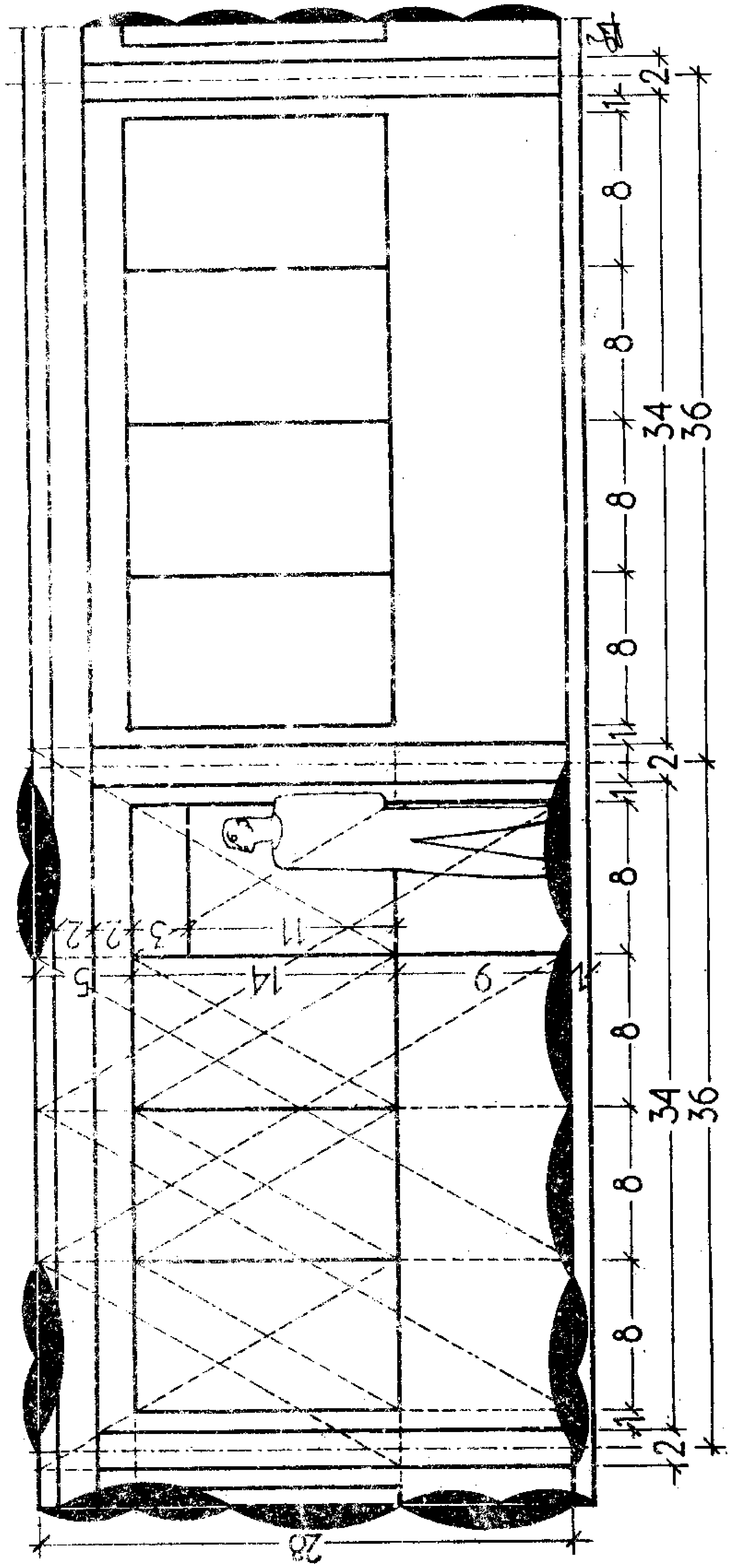
Sl. 12


1M = 10cm
12M
A = 51·84m²
72M = 6M12 = 720cm
1M = 10cm
9M
A = 51·84m²
72M = 8M9 = 720cm
11·52cm
1M' = 4" = 10·16cm
12M'
A = 53·51m²
72M' = 6M'12 = 12' = 731·52cm
18·18cm
1M" = 12·5cm
10M"
A = 56·25m²
60M" = 6M"10 = 750cm
①
②
③
④
⑤

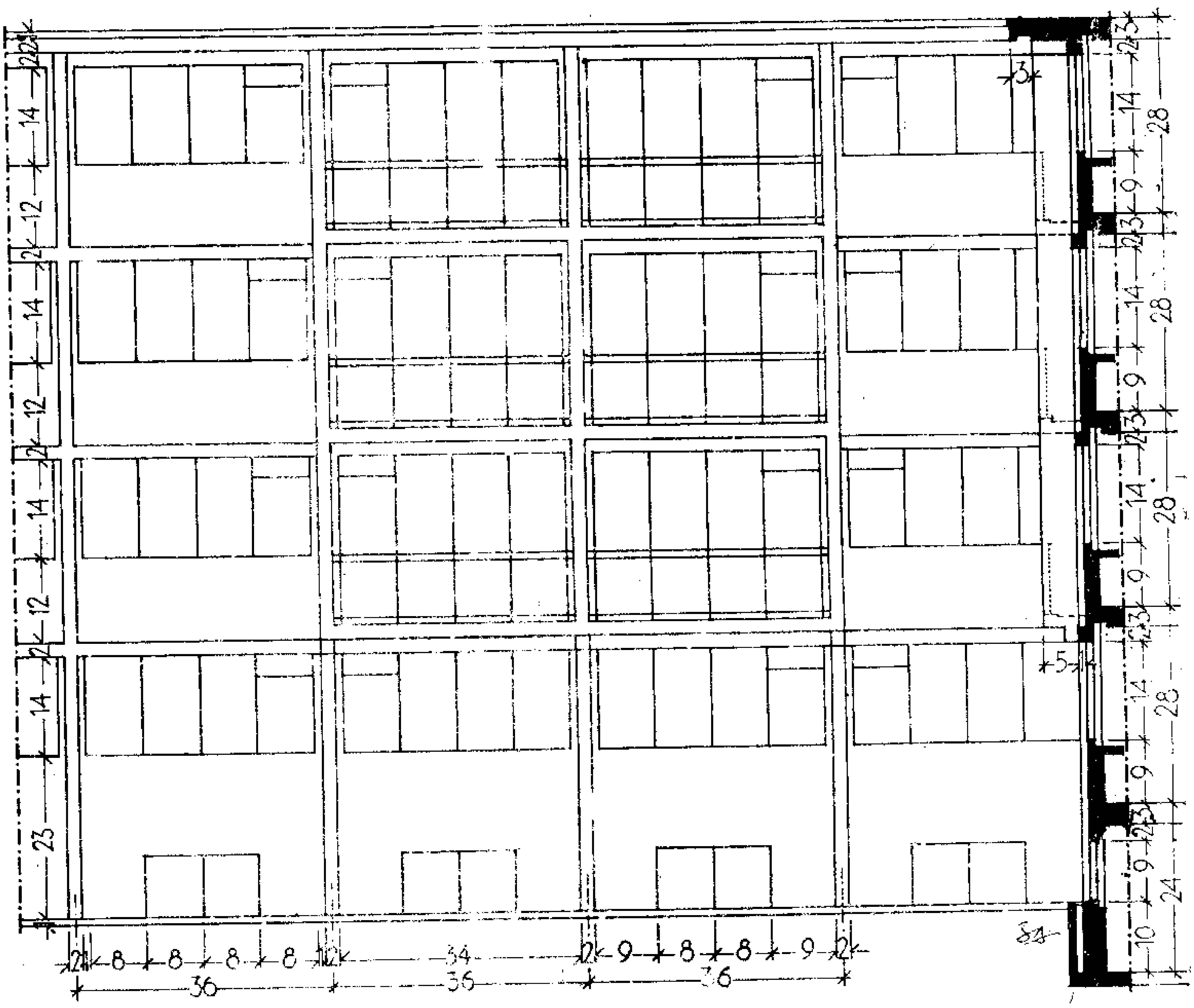
Sl. 13


A=(56·16+4·32)m²
A=(51·84+8·64)m²
A=(51·84+8·64)m²
A=(56·16+4·32)m²
6M12
6M12
6M12
24 M12 = 28·80m
72M=6M12=720cm
7M12

Sl. 14



Sl. 15



Sl. 16