

<https://doi.org/10.3176/hum.soc.sci.1966.1.02>

S. OTSMAA

EHITUSKONSTRUKTSIOONIDE UNIFITSEERIMISE OPTIMUMIST

«Kapitaalehituse määratu suur ulatus nõuab ehitustööstuse ja ehitusmaterjalide tööstuse kiiret arendamist ja tehnilist täiustamist, et need rahuldaksid rahvamajanduse vajadusi, ehitustööde maksimaalset kiirendamist, maksumuse alandamist ja kvaliteedi tõstmist nende tööde järjekindla industrialiseerimisega, sellega, et viiakse kiiresti lõpule üleminek tüüpprojektide järgi täielikult monteeritavate hoonete ja rajatiste püstitamisele tööstuses toodetavatest suuremõdulistest konstruktsioonidest ja elementidest.» öeldakse NLKP programmis [1]. Nende ülesannete täitmisel on oluline koht monteeritavate ehitusdetailide ja konstruktsioonide unifitseerimisel, kuna see võimaldab mõningatel juhtudel ühtesid ehitusdetailide või -konstruktsioone asendada teistega ning seega vähendada tehaste toodangu nomenklatuuri ja alandada tootmiskulusid.

Sellisel asendamisel alanevad seoses nomenklatuuri vähenemisega küll detailide töötlemiskulud, kuid samal ajal suurenevad materjali- ja töökulud. Seda vasturääkivust on sobivaim lahendada matemaatilise optimeerimisülesande abil [2, 3].

Monteeritavate ehitusdetailide optimaalse unifitseerimise ülesanne

Olgu teada monteeritavate ehitusdetailide tehases mingi konstruktsiooniliigi eri detailitüüpide T_1, T_2, \dots, T_n vajadused t_1, t_2, \dots, t_n teatud ajavahemikul. Tuleb leida selle konstruktsiooniliigi detailide optimaalne nomenklatuur antud perioodil, nii et kõigi detailitüüpide vajadused oleksid rahuldatud ja kõigi tootmiskulude summa oleks minimaalne.

Minimiseeritav sihifunktsioon on siis

$$S = \sum_{i=1}^n z_i y_i = \min,$$

kus S — kõigi toodetavate detailide tootmiskulude summa,

y_i — i -tüüpi detaili tootmise maht ja

z_i — i -tüüpi detaili tootmise kulud.

Üldiselt ollakse arvamusel, et detaili tootmise kulud z_i on selle detaili tootmise mahuga y_i hüperboolses seoses

$$z_i = \begin{cases} a_i + \frac{b_i}{y_i}, & \text{kui } y_i > 0 \\ 0, & \text{kui } y_i = 0, \end{cases}$$

kus a_i ja b_i — tootmiskulusid iseloomustavad konstandid ning

y_i — i -tüüpi detailide tootmise maht.

Ülesande lisatingimused on määratud vastavalt detailide unifitseerimise definiitsiooniga. Olgu tooted T_1, T_2, \dots, T_n järjestaatud nende tugevnemise või suurenemise

järgi nii, et T_i on asendatav T_j -ga, kui $i < j$. Järelikult peaksid detailide unifitseerimisel vajadused kõigi detailide järele olema rahuldatud, võrratuste-võrrandite süsteemi

$$\begin{aligned} y_1 &\leq t_1 \\ y_1 + y_2 &\leq t_1 + t_2 \\ \dots &\dots \\ y_1 + y_2 + \dots + y_{n-1} &\leq t_1 + t_2 + \dots + t_{n-1} \\ y_1 + y_2 + \dots + y_{n-1} + y_n &= t_1 + t_2 + \dots + t_{n-1} + t_n \end{aligned}$$

alusel.

Detailide unifitseerimise ülesannet on võimalik lahendada nii graafiliselt kui ka analüütiliselt. Viimase mooduse kasutamisel koostati programm elektronarvutile M-3 [3]. Graafiliselt leiti vundamendiplokkide optimaalne nomenklatuur [2]. Tootes 232 vundamendi taldmiku plokki tellitud 20 erineva tüüpimootme asemel viies erinevas tüüpimootmes, mis antud juhul osutus optimaalseks, säästaks tehas 11% esialgselt planeeritud toodangu maksumusest. Järelikult on probleem väärt, et talle kõigis monteeritavate ehitusdetailide tehastes tähelepanu osutataks.

Detailide unifitseerimine mõjustab ka neist monteeritud konstruktsioonide maksumust, sest viimane kujuneb teatavasti a) detailide maksumusest (või taandatud tootmiskuludest) ning b) nende transpordi- ja c) montaažikuludest.

Peale ehituskulude on hoone maksumuses oluline koht ka eksploatatsiooni-, s. o. kütte- (välispiiretel), jooksva remondi ja amortisatsioonikuludel.

Detailide optimaalsel unifitseerimisel vähenevad nende taandatud kulud, samuti küttekulud, kuna unifitseerimine tähendab väiksemate detailide asendamist suurematega, s. o. soojapidavamatega. Muud hoone maksumuse komponendid aga suurenevad ning me seisame ülesande ees unifitseerida monteeritavad konstruktsioonid.

Monteeritavate ehituskonstruksioonide optimaalse unifitseerimise ülesanne majandusrajoonis

Konstruksioonide unifitseerimise ülesande võib sõnastada järgmiselt: leida antud majandusrajoonis mingil kindlal ajavahemikul monteeritavate ehituskonstruksioonide unifitseerimise optimaalne tase nii, et monteeritavate hoonete maksumused selles majandusrajoonis kujuneksid minimaalseteks, kusjuures on teada a) ehitusmahud ehitusliikide kaupa, b) monteeritavaid detaile tootvate tehaste tehnoloogilised ja majanduslikud näitajad, c) kasutatavad projektid, d) kehtivad monteeritavate detailide kataloogid ja e) detailide ning konstruktsioonide tehnilised asendamisvõimalused.

Ülesande matemaatiline mudel

Leida $x_{hij}^{(\theta, \vartheta)}$ nii, et

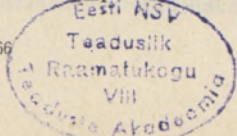
$$\begin{aligned} Z = \sum_{h=1}^r \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{\theta=1}^{\Omega_j} \omega_j^{(\theta)} \sum_{\vartheta=1}^{\omega_j^{(\theta)}} [e_{ij}^{(\theta, \vartheta)} + f(x_{hij}^{(\theta, \vartheta)})E_H' + t_{hij}^{(\theta, \vartheta)}E_H'' + \\ + m_{ij}^{(\theta, \vartheta)}E_H'''] x_{hij}^{(\theta, \vartheta)} = \min \end{aligned} \quad (1)$$

tingimustel

$$\sum_h \sum_{\theta=1}^{\Omega_j} \omega_j^{(\theta)} \sum_{\vartheta=1}^{\omega_j^{(\theta)}} c_{ij}^{(\theta, \vartheta)} x_{hij}^{(\theta, \vartheta)} = u_{ij} \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^m q_j^{(\theta, \vartheta)} x_{hij}^{(\theta, \vartheta)} \leq v_{hj}^{(\theta, \vartheta)} \quad (3)$$

$$\sum_{h=1}^r x_{hij}^{(\theta, \beta)} = a^{(\beta, \xi)} \quad \sum_{h=1}^r x_{hij}^{(\theta, \xi)} \quad (4)$$



$$\sum_{h=1}^r x_{hig}^{(B, \beta)} = b_{gk} \sum_{h=1}^r x_{hik}^{(T, \gamma)} \quad (5)$$

- ($i = 1, \dots, m$; $j = 1, \dots, n$; $h = 1, \dots, r$; $\theta = 1, \dots, \Omega_j$; $\vartheta = 1, \dots, \omega_i(\theta)$),
 kus Z — majandusrajooni monteeritavate ehituste maksumus (rbl/aastas);
 $e_{ij}^{(\theta, \vartheta)}$ — i -nda ehitusliigi j -nda konstruktsiooni θ -nda liigi ϑ -tüüpi detaili ekspluatatsioonikulud (rbl/tk. aastas);
 $z_{hj}^{(\theta, \vartheta)}$ — j -nda konstruktsiooni θ -nda liigi ϑ -tüüpi detaili taandatud tootmis- kulud h -ndas tehases (rbl/tk.);
 $x_{hij}^{(\theta, \vartheta)}$ — h -ndas tehases toodetavate i -nda ehitusliigi j -nda konstruktsiooni θ -nda liigi ϑ -detailitüübi¹ partii suurus (tk/aastas);
 u_{ij} — i -nda ehitusliigi j -nda konstruktsiooni vajalik maht (m^3 /aastas, m^2 /aastas, jm/aastas);
 $c_{ij}^{(\theta, \vartheta)}$ — koefitsient, mis näitab, mitu i -nda ehitusliigi j -nda konstruktsiooni üksust on võimalik ehitada θ -nda liigi ϑ -tüüpi detailist (m^3 /tk., m^2 /tk., jm/tk.);
 $q_j^{(\theta, \vartheta)}$ — j -nda konstruktsiooni θ -nda liigi ϑ -tüüpi detaili maht (m^3 /tk.);
 $t_{hij}^{(\theta, \vartheta)}$ — j -nda konstruktsiooni θ -nda liigi ϑ -tüüpi detaili transpordikulud² (rbl/tk.);
 $m_{ij}^{(\theta, \vartheta)}$ — i -nda ehitusliigi j -nda konstruktsiooni θ -nda liigi ϑ -tüüpi detaili montaažikulud (rbl/tk.);
 $v_{hj}^{(\theta, \vartheta)}$ — j -nda konstruktsiooni θ -nda liigi ϑ -tüüpi detaili tootmise võimsus h -ndas tehases (m^3 /aastas);
 $a(\beta, \xi)$ — i -nda ehitusliigi j -nda konstruktsiooni θ -nda liigi mingite β -ndat ja ξ -ndat tüüpi detailide koguste vaheline proportsionaalsuse koefitsient;
 b_{gk} — i -nda ehitusliigi mingite g -nda konstruktsiooni B -nda liigi β -nda detailitüübi ja k -nda konstruktsiooni T -nda liigi γ -nda detailitüübi koguste vaheline proportsionaalsuse koefitsient;
 E'_H, E''_H, E'''_H — detailide tootmise, transpordi ja montaaži alal tehtud vastavad normatiivsed kapitaalvahetuste efektiivsuse koefitsiendid.

Sihifunktsiooniga (1) on haaratud nii majandusrajooni monteeritavate hoonete ehitus- kui ka ekspluatatsioonikulud. Kuna sihifunktsioonis sisalduv avaldis $f(x_{hij}^{(\theta, \vartheta)})$ on tõenäoliselt mittelineaarne, siis on seda ka ülesande sihifunktsioon ning meil on tegemist mittelineaarse planeerimisülesandega.

Ülesande lisatingimus (2) tagab antud majandusrajoonis monteeritavate ehitus- konstruktsioonide vajaliku mahu ja lisatingimus (3) — monteeritavaid detaile tootvate tehaste normaalse koormuse. Tingimused (4) ja (5) tagavad ühe konstruktsiooni erinevate detailitüüpide koguste ja erinevate, kuid omavahel seotud konstruktsioonide mah- tude vahelise proportsionaalsuse.

¹ Konstruktsioon on antud juhul üldmõiste, konstruktsiooni liik aga tema alajaotus. Näiteks j -s konstruktsioon võiks olla välissein, konstruktsiooni θ -s liik aga oleks silikalt- siitplokkidest sein. Enamikus konstruktsioonides kasutatakse rohkem kui üht tüüpi detaile. ϑ -tüüpi detail võiks toodud näite puhul olla sillusplokk pikkusega L mm.

² Transpordikulude määramisel võiks ülesande lihtsustamiseks kasutada antud majandusrajooni keskmist veoraadiust, mille võiks leida analüütiliselt, lähtudes rajooni suuruselt, monteeritavate ehitusdetailide tehaste arvust ja asustustihedusest selles majan- dusrajoonis. Detailide transporteerimise ülesannet on võimalik lahendada ka paralleelselt konstruktsioonide unifitseerimise ülesandega.

Raskeimaks probleemiks on monteeritavate ehitusdetailide taandatud kulude (või omahinna) ja nende partii suuruse vahelise seose $f(x_{hij}^{(g, \theta)})$ leidmine. Selleks võiks kasutada NSV Liidu Ehituskomitee Elamute Eksperimentaalprojekteerimise Teadusliku Uurimise Keskinstituudi poolt väljatöötatud metoodikas [4] toodud seoseid. Need on mõeldud küll detailide unifitseerimisest saadava majandusliku efekti hindamiseks ühel konkreetsel juhul, kuid peaksid olema kohaldatavad ka antud ülesandele. Suuremaks takistuseks nende seoste kasutamisel on unifitseeritud detailide tootmise mahu muutuse, omahinna alanemise ja majandusliku efekti arvutamise valemite keerukus.

Teine võimalus on katsuda leida tehaste aruandelise dokumentatsiooni põhjal toodete taandatud kulude korrelatsioon detailitüüpide arvu ja partiide suurusega.

Kolmas võimalus on koostada detailide taandatud kulude leidmiseks terve rida kalkulatsioone, arvesse võttes, et toodangu unifitseerimisel väheneb erinevate vormide vajadus ning suureneb nende kasutusaste, samuti väheneb töökulu, sest jääb ära vahetükkide asetamine vormidesse, suureneb aurutuskambrite täitmise aste jne. Koostatud kalkulatsioonide põhjal tuleks leida detailide taandatud kulude muutumine unifitseerimise puhul.

Eesti NSV oludes ülesannet lahendades on erinevate detailide arv ca 450.³ Monteeritavaid detaile tootvate tehaste arv $r = 7 \div 10$.⁴ Ehitusliike (m), kus kõigis põhilistes konstruksioonides kasutatakse monteeritavaid detaile, on 10.⁵

Seega on tundmatuid $x_{hij}^{(g, \theta)}$ 31 500 ÷ 45 000 ($450 \times 7 \times 10 \div 450 \times 10 \times 10$). Nende määramiseks on võrrandeid (2) ca 200, võrratusi (3) 3150 ÷ 4500, võrrandeid (4) ja (5) ca 1000. Järelikult vajaks antud ülesanne elektronarvutit, mille magnetlinde pesade arv on $1,4 \cdot 10^8 \div 2,6 \cdot 10^8$.

Kuna sellist võimsat elektronarvutit praegu meie käsutuses veel ei ole, tuleb ülesannet piirata, s.o. üksikuteks osadeks jaotada, mida järgnevalt ongi tehtud.

Matemaatiline mudel mingi ühe konstruksiooni optimaalseks unifitseerimiseks

Analoogiliselt üldisele ülesandele on sõnastatud ka mingi konstruksiooni optimaalse unifitseerimise ülesanne. Selle kohaselt tuleb antud majandusrajoonis leida j -nda konstruksiooni unifitseerimise optimaalne tase mingiks ajavahehikuks nii, et selle konstruksiooni maksumus kujuneks minimaalseks. Selle majandusrajooni kohta antud ajavahehikus on teada a) monteeritava ehituse üldine maht ja j -nda konstruksiooni osatähtsus selles, b) kõik monteeritavatest detailidest j -nda konstruksiooni lahenduse võimalikud eri liigid ning nende asendamisvõimalused, c) j -nda konstruksiooni detailide tehnilis-majanduslikud näitajad, d) transpordi-, e) montaaži- ja f) eksploatatsioonikulude kujunemise ja muutumise üldised alused.

Ülesande matemaatiline mudel sarnaneb eelmisega.

³ Nii palju eri detailitüüpe sisaldab vabariigis kehtiv ehitusliikidevaheline unifitseeritud industriaalsete betoon- ja raudbetoonitoodete kataloog [5], kaasa arvatud ka vabariigis toodetavad silikaltsiit- ja põlevkivituhkbetoonist detailid. Tegelikult aga toodetakse meil monteeritava raudbetooni tehastes peale katalogiseeritud detailide peaaegu sama palju erinevaid individuaalseid detailitüüpe, mida antud juhul ei ole arvesse võetud.

⁴ Mõeldud on praegu tegutsevaid monteeritavate ehitusdetailide tehaseid — Tallinna Majaehituskombinaati, Männiku Ehitusmaterjalide Tehase silikaltsiiditsehhi, Tallinna, Kohtla-Järve, Narva ja Tartu Raudbetoonitehast, Ahtme Ehitusmaterjalide Tehast — ja projekteeritud ning lähemal aastail eksploatatsiooni antavaid Tallinna II ja Tartu majaehituskombinaati ning Balti ehitusmaterjalide kombinaati.

⁵ Eesti NSV projekteerimisorganisatsioonides on koostatud monteeritavate konstruksioonidega projektid vähe- ja paljukorruseliste elamute, ühe- ja mitmekorruseliste tööstushoonete, põllumajanduslike tootmishoonete ja ühiskondlike hoonete (koolide, laste-aedade, lastesõime, teeninduskombinaatide ning võõrastemajade) ehitamiseks.

Minimiseeritav sihifunktsioon aga on järgmine:

$$Z = \sum_{h=1}^r \sum_{i=1}^m \sum_{\theta=1}^{\Omega} \sum_{\vartheta=1}^{\omega(\theta)} [e_i^{(\theta, \vartheta)} + f(x_{hi}^{(\theta, \vartheta)}) E_H' + t_{hi}^{(\theta, \vartheta)} E_H'' + m_i^{(\theta, \vartheta)} E_H'''] x_{hi}^{(\theta, \vartheta)} = \min. \quad (6)$$

Tingimustel:

$$\sum_{h=1}^r \sum_{\theta=1}^{\Omega} \sum_{\vartheta=1}^{\omega(\theta)} c_i^{(\theta, \vartheta)} x_{hi}^{(\theta, \vartheta)} = u_i \quad (7)$$

$$\sum_{i=1}^m q^{(\theta, \vartheta)} x_{hi}^{(\theta, \vartheta)} \leq v_h^{(\theta, \vartheta)} \quad (8)$$

$$\sum_{h=1}^r x_{hi}^{(\theta, \beta)} = a^{(\beta, \xi)} \sum_{h=1}^r x_{hi}^{(\theta, \xi)} \quad (9)$$

($i = 1, \dots, m$; $h = 1, \dots, r$; $\theta = 1, \dots, \Omega$; $\vartheta = 1, \dots, \omega(\theta)$)

Ülesande ulatus sõltub antud juhul konstruktsioonist, mille jaoks teda lahendatakse. Kui on näiteks tegemist ülesande «Monteeritavate välisseinte tootmine Eesti NSV-s 1970. a.» lahendamiseks, oleks detaile tootvate tehaste arv $m=5$ (Tallinna I ja II ja Tartu majaehituskombinaat, Männiku Ehitusmaterjalide Tehase silikaltsiiditseh ja Ahtme Ehitusmaterjalide Tehas). Erinevate konstruktsiooniliikide arv $\Omega=4$ (silikaltsiitplokkidest, silikaltsiitpaneelidest, põlevkivituhkbetoonpaneelidest ja raudbetoonpaneelidest seinad) ja üldine detailitüüpide arv välisseinte unifitseerimisel ca 27 (silikaltsiitplokkidest välisseinteks 13 erinevat plokkitüüpi, põlevkivituhkpaneele 3, raudbetoonpaneele 6 ja silikaltsiitpaneele ca 5).

Kui ülesanne lahendada 10 ehitusliigi jaoks, oleks tundmatuid $x_{hi}^{(\theta, \vartheta)}$ 1080 ja võrrandide-võrratusi 224 (võrrandeid (7) 10, võrratusi (8) 108, võrrandeid (9) 106).

Illustreerime niisuguse mudeli kasutamist alljärgneva näitega.

Laekonstruktsioonide unifitseerimise optimaalse taseme määramine

Leida elamute ja mitmekorruseliste tööstushoonete monteeritavaist raudbetoonpaneelidest lagede optimaalne unifitseerimise tase, kui esimeste ehitusmaht on aastas 200 000 m² (neist 20% keldrilagesid) ja teistel 100 000 m².

Mõlemal puhul on mõeldav kasutada kas õõnespaneele ПБ-60-12 (6-õõnelised, 5980 × 1190 × 220 mm) ja ПТБ-60-8 (4-õõnelised, 5980 × 790 × 220 mm) või ribipaneele ПНС-19 (5970 × 1490 × 300 mm) ja ПНС-2 (5970 × 290 × 300 mm). Seejuures tuleb elamute korrustevahelistes lagedes ribipaneelide kasutamisel nende alla riputada laudis. Õõnespaneele valmistab tehase, mille vastava tootmisliini maksimaalne võimsus aastas on 30 000 m³, ribipaneele tootva tehase maksimaalne tootmisvõimsus on aga samal ajal 20 000 m³.

Parema ülevaatlikkuse saamiseks on nii tundmatud kui ka ülesande lahendamiseks vajalikud andmed esitatud tabelitena.

Tabeli 2 koostamisel on lähtutud järgmistest kaalutlustest:

a) transpordikulude leidmise lihtsustamiseks eeldatakse, et detailide veoraadiused nii esimesest kui ka teisest tehastest kõigile nende poolt varustatavatele ehitusplatsidele on võrdsed, $R=10$ km;

b) elamute korrustevaheliste ribipaneellagede montaažikuludes on arvestatud ka riputatud lae tegemine ja seinte maksumuse suurenemine, mida tingib lagede paksenemine ning selle tagajärjel ka seinte mahu suurenemine;

c) detailide tootmiskulud on arvutuslikud.

Tundmatud $x_{hi}^{(\theta, \vartheta)}$
(tk/aastas)

Tabel 1

Tehas*	Elamuehituses						Tööstusehituses			
	Õonespaneelid		Ribipaneelid				Õonespaneelid		Ribipaneelid	
	ПТБ-60-8 11	ПБ-60-12 12	keldrilagedeks		korrustevahe- listeks lage- deks		ПТБ-60-8 11	ПБ-60-12 12	ПНС-19 21	ПНС-2 22
			ПНС-19 21	ПНС-2 22	ПНС-19 31	ПНС-2 32				
1.	$x_{11}^{(11)}$	$x_{11}^{(12)}$	—	—	—	—	$x_{12}^{(11)}$	$x_{12}^{(12)}$	—	—
2.	—	—	$x_{21}^{(21)}$	$x_{21}^{(22)}$	$x_{21}^{(31)}$	$x_{21}^{(32)}$	—	—	$x_{22}^{(21)}$	$x_{22}^{(22)}$

* Eeldatakse, et esimeses tehases valmistatakse ainult õonespaneel, teises ainult ribipaneel.

Tabel 2

Detailide tehnilis-majanduslikud näitajad

	Mõõtühik	Detailid			
		ПТБ-60-8	ПБ-60-12	ПНС-19	ПНС-2
Kaal	t/tk.	1,19	1,82	1,42	2,33
Maht	m ³ /tk.	0,474	0,726	0,565	0,930
Koefitsiendid $c_i^{(\theta, \vartheta)}$	m ² /tk.	4,8	7,2	9,0	18,0
Transpordikulud					
$t_{hi}^{(\theta, \vartheta)}$ [6]	rbl/tk.	1,22	1,86	1,45	2,38
Montaažikulud					
$m_i^{(\theta, \vartheta)}$ [7]	„	4,16	4,40	$\frac{2,26^*}{23,66}$	$\frac{2,60^*}{45,40}$
Tootmiskulude para- meetrid $a_h^{(\theta, \vartheta)}$	„	25,75	33,90	21,25	34,80
$b_h^{(\theta, \vartheta)}$	„	4200,00	5160,00	3720,00	5280,00

* Elamute keldrite ja tööstushoonete laed

Elamute korrustevahelised laed

Ülesande sihifunktsioonis tuleks peale ehituskulude arvestada ka eksploatatsiooni-
kulusid. Antud näites on viimastest loobutud ning sihifunktsioon oleks seega järgmine:

$$Z = \sum_{h=1}^r \sum_{i=1}^m \sum_{\theta=1}^{\Omega} \sum_{\vartheta=1}^{\omega(\theta)} (z_h^{(\theta, \vartheta)} \cdot x_{hi}^{(\theta, \vartheta)} + t_{hi}^{(\theta, \vartheta)} \cdot x_{hi}^{(\theta, \vartheta)} + m_i^{(\theta, \vartheta)} \cdot x_{hi}^{(\theta, \vartheta)}) = \min.$$

Kui detaili tootmiskulud $z_h^{(\theta, \vartheta)}$ lugeda hüperboolselt sõltuvaks selle detaili tootmise
mahust

$$\begin{cases} z_h^{(\theta, \vartheta)} = a_h^{(\theta, \vartheta)} + \frac{b_h^{(\theta, \vartheta)}}{x_{hi}^{(\theta, \vartheta)}}, & x_{hi}^{(\theta, \vartheta)} > 0 \\ z_h^{(\theta, \vartheta)} = 0, & x_{hi}^{(\theta, \vartheta)} = 0 \end{cases}$$

siis on sihifunktsioon katkev ja koosneb lineaarsetest osadest

$$Z = 31,13 x_{11}^{(11)} + 40,16 x_{11}^{(12)} + 31,13 x_{12}^{(11)} + 40,16 x_{12}^{(12)} + 24,96 x_{21}^{(21)} + 39,78 x_{21}^{(22)} + 46,36 x_{21}^{(31)} + 82,58 x_{21}^{(32)} + 24,96 x_{22}^{(21)} + 39,78 x_{22}^{(22)} + \sum_{h=1}^r \sum_{\theta=1}^{\Omega} \sum_{\vartheta=1}^{\omega(\theta)} b_h^{(\theta, \vartheta)} = \min. \quad (6')$$

Kuna liikme $\sum_{h=1}^r \sum_{\theta=1}^{\Omega} \sum_{\vartheta=1}^{\omega(\theta)} b_h^{(\theta, \vartheta)}$ väärtus on suhteliselt väike, siis võib sihifunktsiooni lugeda tinglikult lineaarseks.

$$\left. \begin{aligned} 4,8 x_{11}^{(11)} + 7,2 x_{11}^{(12)} + 9,0 x_{21}^{(21)} + 18,0 x_{21}^{(22)} + 9,0 x_{21}^{(31)} + 18,0 x_{21}^{(32)} &= 200\,000 \\ 4,8 x_{12}^{(11)} + 7,2 x_{12}^{(12)} + 9,0 x_{22}^{(21)} + 18,0 x_{22}^{(22)} &= 100\,000 \end{aligned} \right\} \quad (7')$$

$$\left. \begin{aligned} 0,474 x_{11}^{(11)} + 0,726 x_{11}^{(12)} + 0,474 x_{12}^{(11)} + 0,726 x_{12}^{(12)} &\leq 30\,000 \\ 0,565 x_{21}^{(21)} + 0,93 x_{21}^{(22)} + 0,565 x_{22}^{(21)} + 0,93 x_{22}^{(22)} &\leq 20\,000 \end{aligned} \right\} \quad (8')$$

Võrrandid $(7')$ vastavad eespool toodud mudeli tingimusele (7) ja võrratused $(8')$ tingimusele (8).

Eeldades, et elamute lagedest on 80% korrustevahelised, saame veel ühe lisavõrrandi:

$$4,8 x_{11}^{(11)} + 7,2 x_{11}^{(12)} + 9,0 x_{21}^{(31)} + 18,0 x_{21}^{(32)} = 160\,000. \quad (7'')$$

Ülesande lahendamisel on esimeses kolmes variandis lagedeks kasutatud ainult õõnespaneele, järgmises kolmes variandis ainult ribipaneele ja viimases kolmes — mõlemaid paralleelselt.

Lagede optimaalne konstruktsioon

Tabel 3

Variandi nr.	$x_{11}^{(11)}$	$x_{11}^{(12)}$	$x_{21}^{(21)}$	$x_{21}^{(22)}$	$x_{21}^{(31)}$	$x_{21}^{(32)}$	$x_{12}^{(11)}$	$x_{12}^{(12)}$	$x_{22}^{(21)}$	$x_{22}^{(22)}$	Z (rbl.)
1	41667	0	0	0	0	0	20833	0	0	0	1 949 825
2	16666	16667	0	0	0	0	8334	8333	0	0	1 791 610
3	0	27778	0	0	0	0	0	13889	0	0	1 678 507
4	0	0	4444	0	17777	0	0	0	11111	0	1 216 114
5	0	0	1482	1481	5926	5926	0	0	3703	3704	1 108 775
6	0	0	0	2222	0	8888	0	0	0	5555	1 048 620
7	33334	0	4444	0	0	0	0	0	11111	0	1 433 860
8	13333	13334	1482	1481	0	0	0	0	3703	3704	1 304 587
9	0	22222	0	2222	0	0	0	0	0	5555	1 212 245

Tundmatute $x_{hi}^{(\theta, \vartheta)}$ ja vastavate sihifunktsioonide väärtused on toodud tabelis 3. Nagu sellest tabelist ilmneb, on kõigi kolme kombinatsiooni puhul ökonoomsem kasutada ainult suuremaid detaile. Praegusele tegelikule olukorrale vastab kõige enam 8. variant. Optimaalseks osutub aga 6. variant, mis kasutatavate konstruktsioonidega võrreldes annab ca 19% säästu.

* $\sum_{h=1}^r \sum_{\theta=1}^{\Omega} \sum_{\vartheta=1}^{\omega(\theta)} b_h^{(\theta, \vartheta)}$ tähistab seda osa tinglikult muutuvate kulude summast, mille puhul $x_{hi}^{(\theta, \vartheta)} \neq 0$.

⁶ Tegelikult $x_{hi}^{(\theta, \vartheta)} = [x_{hi}^{(\theta, \vartheta)}]$, s. o. meil on tegemist ainult täisarvuliste detailikogustega. Seega tuleks võrrandites $(7')$ võrdsusmärgi asemele panna ligikaudsumärk.

KIRJANDUS

1. Nõukogude Liidu Kommunistliku Partei programm. Vastu võetud NLKP XXII kongressi poolt. Tallinn, 1961, lk. 66.
2. Ю. Эннусте, К вопросу об оптимальной унификации железобетонных деталей. «Экономика строительства» 1963, № 10.
3. М. Тамм, Разработка математических методов решения задачи оптимальной унификации. Институт кибернетики АН ЭССР. 1964 (рукопись).
4. Методические указания по оценке эффективности капитальных вложений в производство унифицированной номенклатуры железобетонных изделий. М., 1963.
5. Межотраслевой каталог унифицированных промышленных бетонных и железобетонных изделий для Эстонской ССР. Таллин, 1963.
6. Прейскурант № 13-01-15. Тарифы на перевозки грузов автомобильным транспортом. Госплан ЭССР. Таллин, 1963.
7. Ehitustööde üksushinnete kataloog I. Tallinn, 1960.

Eesti NSV teaduste Akadeemia
Majanduse Instituut

Saabus toimetusse
31. V 1965

C. OTSMAA

ОБ ОПТИМАЛЬНОМ УРОВНЕ УНИФИКАЦИИ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Резюме

Унификация — один из путей снижения относительно еще высокой стоимости сборных строительных деталей и конструкций.

Стоимость сборных зданий складывается из:

1) строительных расходов (приведенные расходы деталей, их транспортировка и монтаж) и

2) эксплуатационных расходов (расходы на отопление, текущий ремонт и амортизацию).

При унификации сборных строительных конструкций из перечисленных расходов уменьшаются только приведенные расходы деталей и отопительные расходы, а остальные — повышаются.

Возникает математическая задача оптимального уровня унификации сборных строительных конструкций, которую можно сформулировать следующим образом.

Необходимо найти для данного экономического района на определенный период такой оптимальный уровень унификации сборных строительных конструкций, при котором стоимость сборных зданий была бы наименьшей, если известны: а) объемы строительства по видам, б) технологические и экономические показатели заводов сборных строительных деталей, в) используемые проекты, г) действующие каталоги сборных строительных деталей и д) технические возможности замены деталей и конструкций.

На основании сказанного можно составить следующую математическую модель задачи:

Найти $x_{hij}^{(\theta, \vartheta)}$ так, чтобы

$$Z = \sum_{h=1}^r \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{\theta=1}^{\Omega_j} \sum_{\vartheta=1}^{\omega_j^{(\theta)}} [e_{ij}^{(\theta, \vartheta)} + f(x_{hij}^{(\theta, \vartheta)}) E'_H + t_{hij}^{(\theta, \vartheta)} E''_H + m_{ij}^{(\theta, \vartheta)} E'''_H] x_{hij}^{(\theta, \vartheta)} = \min$$

при условиях

$$\sum_{h=1}^r \sum_{\theta=1}^{\Omega_j} \sum_{\vartheta=1}^{\omega_j^{(\theta)}} c_{ij}^{(\theta, \vartheta)} x_{hij}^{(\theta, \vartheta)} = u_{ij} \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^m q_j^{(\theta, \vartheta)} x_{hij}^{(\theta, \vartheta)} \leq v_{hj}^{(\theta, \vartheta)} \quad (3)$$

$$\sum_{h=1}^r x_{hij}^{(\theta, \beta)} = a^{(\beta, \xi)} \sum_{h=1}^r x_{hij}^{(\theta, \xi)} \quad (4)$$

$$\sum_{h=1}^r x_{hig}^{(B, \beta)} = b_{gk} \sum_{h=1}^r x_{hik}^{(\Gamma, \gamma)} \quad (5)$$

- ($i = 1, \dots, m; j = 1, \dots, n; h = 1, \dots, r; \theta = 1, \dots, \Omega; \vartheta = 1, \dots, \omega_j^{(\theta)}$),
 где Z — стоимость сборных зданий экономического района (руб. в год);
 $e_{ij}^{(\theta, \vartheta)}$ — эксплуатационные расходы вида строительства i , вида конструкции j , типа конструкции θ и типоразмера ϑ (руб./шт. в год);
 $z_{hj}^{(\theta, \vartheta)}$ — приведенные расходы детали типоразмера ϑ на заводе h для вида конструкции j и типа конструкции θ (руб./шт.);
 $x_{hij}^{(\theta, \vartheta)}$ — численность партии деталей типоразмера ϑ , типа конструкции θ и вида конструкции j , изготавливаемые на заводе h , для строительства вида i (шт. в год);
 u_{ij} — объем конструкции вида j для строительства вида i (m^3, m^2 или m в год);
 $c_{ij}^{(\theta, \vartheta)}$ — коэффициент, показывающий сколько конструкций вида j можно возвести из детали типоразмера ϑ , типа конструкции θ для строительства вида i ($m^3/\text{шт.}$, $m^2/\text{шт.}$ или $m/\text{шт.}$);
 $q_j^{(\theta, \vartheta)}$ — объем детали типоразмера ϑ , типа конструкции θ и вида конструкции j ($m^3/\text{шт.}$);
 $t_{hij}^{(\theta, \vartheta)}$ — расходы на транспортировку детали типоразмера ϑ , типа конструкции θ и вида конструкции j с завода h на строительство вида i (руб./шт.);
 $m_{ij}^{(\theta, \vartheta)}$ — расходы на монтаж детали типоразмера ϑ , типа конструкции θ и вида конструкции j на строительстве вида i (руб./шт.);
 $v_{hj}^{(\theta, \vartheta)}$ — мощность производства детали типоразмера ϑ , типа конструкции θ и вида конструкции j на заводе h (m^3 в год);
 $a^{(\beta, \xi)}$ — коэффициент отношений деталей типоразмеров β и ξ вида строительства i , вида конструкции j и типа конструкции θ ;
 b_{gk} — коэффициент отношений вида конструкции g , типа конструкции B , типоразмера β и вида конструкции k , типа конструкции Γ , типоразмера γ ;
 E'_H, E''_H, E'''_H — нормативные коэффициенты эффективности капитальных вложений для производства, транспортировки и монтажа деталей.

К сожалению, при существующей мощности электронных машин задачу оптимизации унификации сборных строительных конструкций в целом решить нельзя, однако по видам конструкций решение такой задачи представляется вполне возможным.

Институт экономики
 Академии наук Эстонской ССР

Поступила в редакцию
 31/V 1965

S. OTSMAA

VOM OPTIMUM DES UNIFIZIERUNGSNIVEAUS DER BAUKONSTRUKTIONEN

Zusammenfassung

Die Unifizierung ist ein Weg zur Herabsetzung der verhältnismässig hohen Kosten der montierbaren Baudetails und montierbaren Baukonstruktionen.

Die Kostenkomponenten der montierbaren Gebäude sind:

- 1) die Baukosten (Produktions-, Transport- und Montagekosten der Details) und
- 2) die Exploitationskosten (Heizungs-, laufende Reparatur- und Amortisationskosten).

Von diesen Kosten vermindern sich durch die optimale Unifizierung der Details die Produktions- und die Heizungskosten; die übrigen Kosten hingegen werden grösser.

Es entsteht die Aufgabe der optimalen Unifizierung der montierbaren Baukonstruktionen, was man folgendermassen in Worte fassen kann.

Es ist das optimale Niveau der Unifizierung der montierbaren Baukonstruktionen eines gegebenen Wirtschaftsgebiets für eine bestimmte Periode zu finden, so dass die Kosten der Gebäude dieses Wirtschaftsgebiets minimal wären, wenn folgendes bekannt ist:

a) das Volumen der Gebäude nach den einzelnen Bauarten, b) die technologischen und ökonomischen Angaben der Werkstätten für montierbare Baudetails, c) die in Gebrauch stehenden Projekte, d) die gültigen Kataloge der montierbaren Baudetails, e) die technischen Möglichkeiten der Ersetzung von Details und Konstruktionen.

Das mathematische Modell der Aufgabe:

Zu finden $x_{hij}^{(\theta, \vartheta)}$ so, dass

$$Z = \sum_{h=1}^r \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{\theta=1}^{\Omega_j} \sum_{\vartheta=1}^{\omega_j^{(\theta)}} [e_{ij}^{(\theta, \vartheta)} + f(x_{hij}^{(\theta, \vartheta)}) E_H' + t_{hij}^{(\theta, \vartheta)} E_H'' + m_{ij}^{(\theta, \vartheta)} E_H'''] \cdot x_{hij}^{(\theta, \vartheta)} = \min \quad (1)$$

bei Bedingungen:

$$\sum_{h=1}^r \sum_{\theta=1}^{\Omega_j} \sum_{\vartheta=1}^{\omega_j^{(\theta)}} c_{ij}^{(\theta, \vartheta)} x_{hij}^{(\theta, \vartheta)} = u_{ij} \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^m q_j^{(\theta, \vartheta)} x_{hij}^{(\theta, \vartheta)} \leq v_{hj}^{(\theta, \vartheta)} \quad (3)$$

$$\sum_{h=1}^r x_{hij}^{(\theta, \beta)} = a^{(\beta, \xi)} \sum_{h=1}^r x_{hij}^{(\theta, \xi)} \quad (4)$$

$$\sum_{h=1}^r x_{hig}^{(\beta, \beta)} = b_{gk} \sum_{h=1}^r x_{hik}^{(\Gamma, \gamma)} \quad (5)$$

$$(i = 1, \dots, m; j = 1, \dots, n; h = 1, \dots, r; \theta = 1, \dots, \Omega_j; \vartheta = 1, \dots, \omega_j^{(\theta)}),$$

wo

Z — die Kosten der Gebäude des Wirtschaftsgebiets (Rbl/Jahr);

$e_{ij}^{(\theta, \vartheta)}$ — Exploitationskosten der Bauart i , der Konstruktionsart j , des Konstruktionsstyps θ und des Detailtyps ϑ (Rbl/Stück, Jahr);

$z_{hj}^{(\theta, \vartheta)}$ — die reduzierten Kosten des Detailtyps ϑ , des Konstruktionsstyps θ und der Konstruktionsart j in der Werkstatt h (Rbl/Stück);

$x_{hij}^{(\theta, \vartheta)}$ — Grösse der Partie des Detailtyps ϑ , des Konstruktionsstyps θ und der Konstruktionsart j für die Bauart i in der Werkstatt h (Stück/Jahr);

u_{ij} — Volumen der Konstruktionsart j der Bauart i (m³/Jahr, m²/Jahr oder m/Jahr);

$c_{ij}^{(\theta, \vartheta)}$ — Koeffizient, der angibt, wieviel Masseinheiten der Konstruktionsart j der Bauart i man bauen kann mit dem Detailtyp ϑ des Konstruktionsstyps θ (m³/Stück, m²/Stück, m/Stück);

$q_j^{(\theta, \vartheta)}$ — Volumen des Detailtyps ϑ , des Konstruktionsstyps θ und der Konstruktionsart j (m³/Stück);

$t_{hij}^{(\theta, \vartheta)}$ — Transportkosten des Detailtyps ϑ , des Konstruktionsstyps θ und der Konstruktionsart j von der Werkstatt h zu der Bauart i (Rbl/Stück);

$m_{ij}^{(\theta, \vartheta)}$ — Montagekosten des Detailtyps ϑ , des Konstruktionsstyps θ , der Konstruktionsart j und der Bauart i (Rbl/Stück);

$v_{hj}^{(\theta, \vartheta)}$ — Produktionskapazität des Detailtyps ϑ des Konstruktionsstyps θ , der Konstruktionsart j in der Werkstatt h (m³/Jahr);

$a(\beta, \xi)$ — der Proportionskoeffizient der Baudetails β und ξ der Bauart i , der Konstruktionsart j , des Konstruktionstyps θ ;

b_{gk} — der Proportionskoeffizient der Bauart i der Konstruktionsarten g und k , der Konstruktionstypen B und T und der Detailtypen β und γ ;

E'_H, E''_H, E'''_H — Koeffizienten des Effekts der Kapitalanlagen bei Produzierung, Transport und Montage der Details.

Es ist nicht möglich, eine solche komplexe Aufgabe vermittlems der gegenwärtigen Elektronrechenmaschinen zu lösen, doch kann sie für einzelne Konstruktionsarten gelöst werden.

*Institut für Ökonomie
der Akademie der Wissenschaften der Estnischen SSR*

Eingegangen
am 31. Mai 1965