UNIVERZA V LJUBLJANI
FAKULTETA ZA ARHITEKTURO, GRADBENIŠTVO IN GEODEZIJO
RAČUNSKI CENTER

PUBLIKACIJA ŠTEV. 14

BORUT DOBOVIŠEK, JANEZ KRAMAR

S H E L L S

OPIS PROGRAMA IN NAVODILO ZA UPORABO

LJUBLJANA, 1977

(SAMO ZA INTERNO UPORABO)

UNIVERZA V LJUBLJANI
Fakulteta za arhitekturo, gradbeništvo in geodezijo
RAČUNSKI CENTER

Publikacija št. 14

Borut Dobovišek, Janez Kramar

SHELLS

Opis programa in navodila za uporabo

Ljubljana, 1977
(samo za interno uporabo)

Pričujoča publikacija nadomešča publikacijo RC št. 7: "SHELLS - OPIS PROGRAMA" (1974), v kateri sta bili napovedani prilogi "A" (opis vhodnih podatkov) in "B" (seznam logičnih napak med podatki), ki pa sta doslej obstajali le v konceptu. Pričujoča publikacija predstavlja popoln priročnik za uporabnika in vsebuje tako opis programa kot tudi navodila za njegovo uporabo.

V S E B I N A stran

1. OPIS PROGRAMA 1

1.1 Uvod 1

1.2 Osnova konstrukcije - lupine 1

1.3 Koordinatni sistem 6

1.4 Količine stanja 7

1.5 Robni pogoji 9

1.6 Teoretične osnove

1.7 Število Fourierjevih členov 14

1.8 Računski model 20

1.9 Obtežba računskega modela 25

1.10 Sestava in izpis vhodnih podatkov v sistemu 26

1.11 Sestava in opis podatkov v obtežbi 29

1.12 Rezultati 29

1.13 Numerična kontrola rezultatov 31

1.14 Primeri izračunanih konstrukcij 33

2. VHODNI PODATKI ZA SHELLS 35

2.1 Splošno 35

2.2 Posamezne vhodne kartice 37

KA 1 Kartica z besedilom na začetku vsakega novega sistema 37

KA 2 Besedilo, komentar 37

KA 3 Splošni sistemski podatki 38

KA 4 Lastnosti materialov 43

KA 5 Opis karakterističnega profila 43

a) podatki lupine KA 5 43

b) odsekova kartica KA 5 47

KA 6 Podatki o vozliščih 51

KA 7 Razpore, opore, točkovna vpetja 54

KA 8 Razporeditev profilov 58

stran

KA 10 Začetna kartica vsake nove skupine obtežnih primerov 59

KA 11 Splošna obtežba, ki velja za vse lupine 60

a) lastna teža 61

b) centrifugalne sile 62

c) konstanten pritisk 62

d) enakomerna temperaturna sprememba 62

e) temperaturni gradient na vseh lupinah 63

f) specifični raztezek vseh opor in razpor 63

KA 12 do KA 16 Obtežba lupin 64

KA 12 sile 68

KA 13 moment Ms 69

KA 14 spremembe v pomikih 70

KA 15 spremembe v zasukih φ_s 72

KA 16 temperaturna obremenitev 73

KA 17 in KA 18 Vozliščna obtežba 73

KA 17 sile 74

KA 18 moment ms 75

KA 19 raztezek razpor in opor 75

KA 20 in KA 21 Obtežba z vetrom za hladilne stolpe 76

KA 29 Ponovitev obtežbe lupin 78

KA 30 Zaključna kartica podatkov o eni obtežni skupini 79

KA > 30 Tisk in kombinacije rezultatov 82

KA 31 Tiskanje posamezne količine stanja na poljubnem območju 85

KA 32 Tiskanje vseh količin stanja 85

KA 33 Tiskanje primerjalnih napetosti 86

KA 34 Tiskanje poljubnih količin stanja za posamezne obtežne primere in na poljubnih območjih konstrukcije 87

stran

KA 40 do KA 47 Kombinacije obtežnih primerov 89
KA 40 Začetna kartica kombinacij 91
KA 41 Faktorji 91
KA 42 Stalna obtežba 91
KA 43 Prometna obtežba 92
KA 44 Alternativna obtežba 92
KA 45 Količine stanja pri stalni obtežbi 93
KA 46 Ekstremne količine stanja 93
KA 47 Lupine, ki naj se tiskajo 94
KA 90 STOP 94
2.3 Kratek pregled kartic z vhodnimi podatki 95
2.4 Prikaz popolnega sestava vhodnih kartic 99

3. NAPAKE V PODATKIH IN PRI RAČUNU 101
3.1 Napake v vhodnih podatkih 101
3.2 Singularnost matrik 103

4. PRIMERI SESTAVLJENIH PODATKOV 105
4.1 Lupina gnilišča pri čistilni napravi 106
4.2 Hladilni stolp 110
4.3 Most škatlastega prereza iz montažnih elementov 113
4.4 Most škatlastega prereza preko treh polj v krivini 116
5. LITERATURA 125

1. OPIS PROGRAMA

1.1 Uvod

Program SHELLS je namenjen računanju statičnega stanja nekaterih lupinastih konstrukcij po upogibni teoriji I. reda. Z njim je mogoče računati prizmatične in rotacijske lupine ter izseke rotacijskih lupin. Vse te lupine morajo ustrezati nekaterim, v nadaljnjem tekstu navedenim, predpostavkam in robnim pogojem. Možni, toda neobvezni robni pogoji, kot so npr. razpore, pa omogočajo računanje zapletenih konstrukcij, kjer tvori lupinasti del le osnovo in ta je lahko različno ojačena in podprta. Obtežba konstrukcij je poljubna, mogoč je tudi račun vplivnih ploskev.

Iz prikazanih računskih primerov so razvidne različne možnosti uporabe programa v gradbeništvu in strojništvu. Poleg praktičnih nalog je mogoče z njim uspešno raziskovati različne teoretične probleme.

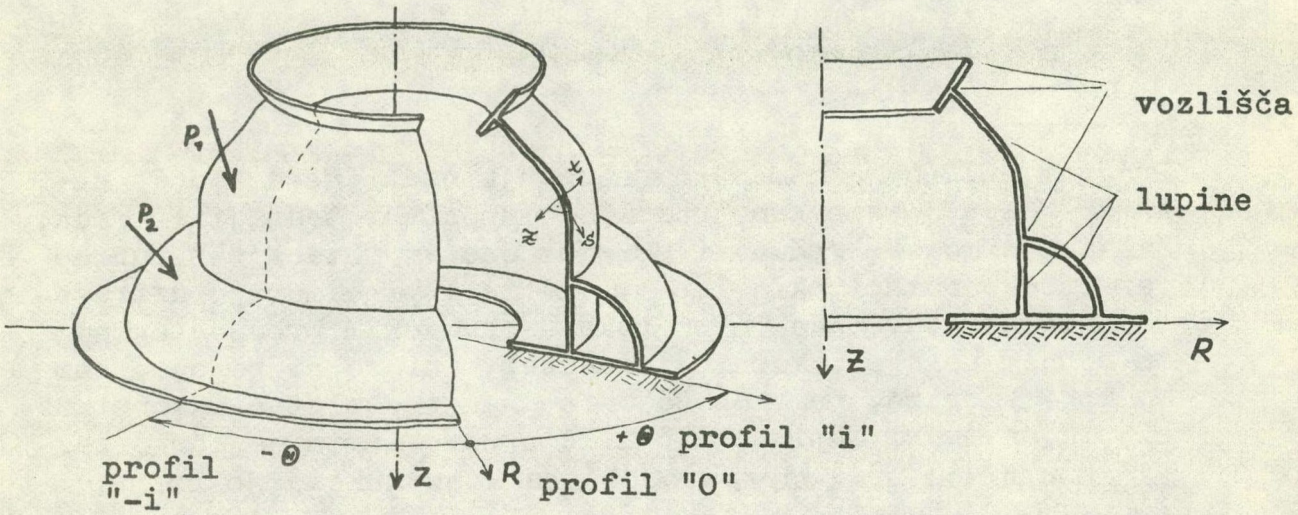
1.2 OSNOVA KONSTRUKCIJE - LUPINE

Osnovni del vsake konstrukcije, ki jo računamo po programu "SHELLS", so tenkostenske lupine. Te so lahko popolne rotacijske lupine (odslej: rotacijske lupine) izseki rotacijskih lupin (odslej: izseki) in prizmatične lupine (glej slike 1, 2 in 3).

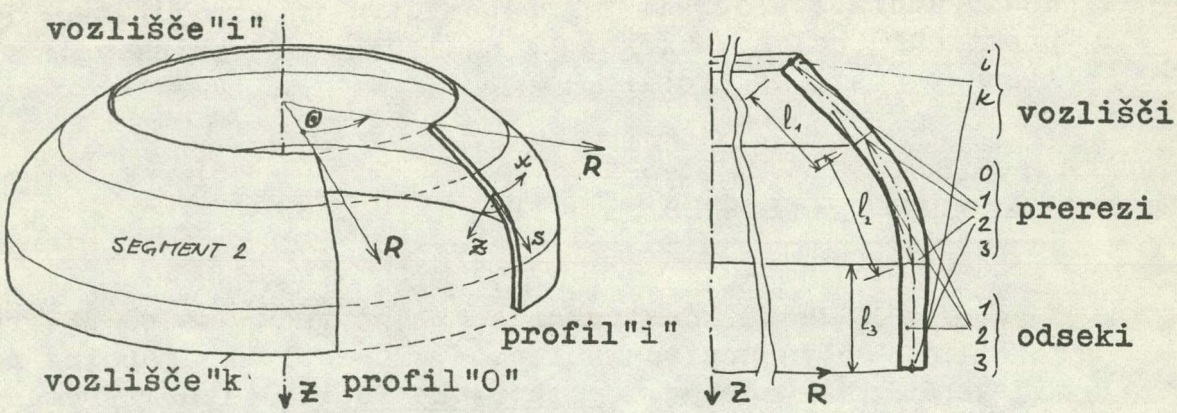
Vzporedniki so pri rotacijskih lupinah popolni krogi, pri izsekih pa so to izseki krožnic z istim središčnim kotom, ki ga označujemo z 2ϑ . Izsek rotacijske lupine preide v prizmatično lupino, če se rotacijska os odmakne v neskončnost. Vzporedniki se pri tem zravnajo in preidejo v tvorilke prizmatične lupine, ki so vse enako dolge. Središčni kot izgubi svoj pomen, dolžino tvorilke pa imenujemo razpetina. Vse kar bo pri rotacijskih lupinah in izsekih veljalo za vzporednike, velja pri prizmatičnih lupinah analogno za tvorilke. S prerezi vzdolž določenega števila vzporednikov oziroma tvorilk je lupina razdeljena na odseke (ne zamenjati z izsekom, gl. sl. 1, 2, 3), ki so osnovni elementi konstrukcije. Odsek je lahko del toroida, krogle, stožca, valja, plošče ali stene.

ROTACIJSKE LUPINE

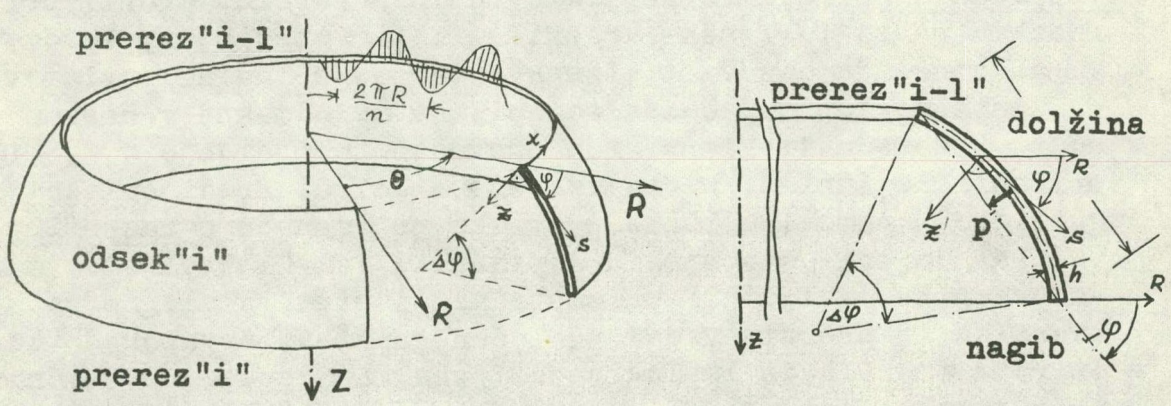
Konstrukcija:



Ena lupina:



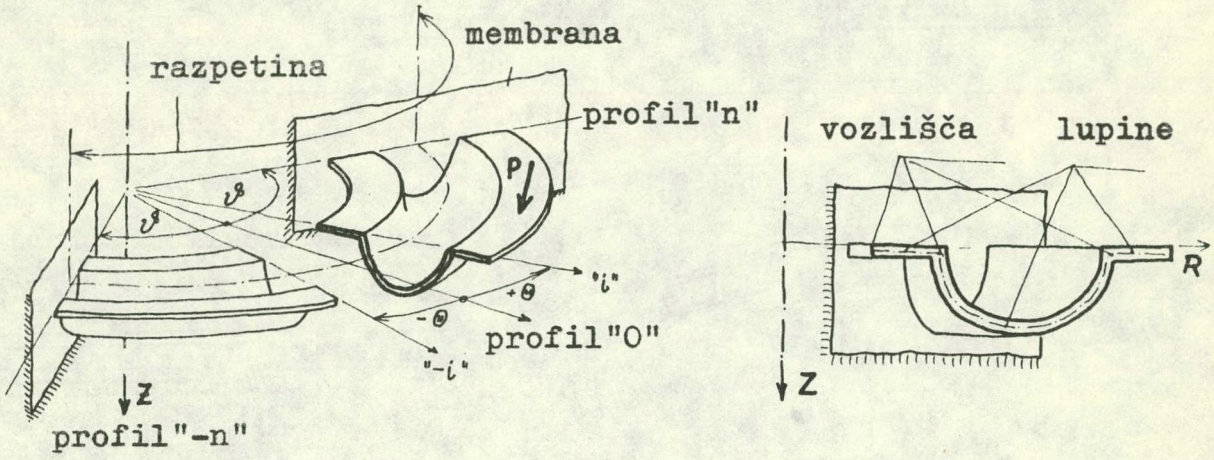
En odsek:



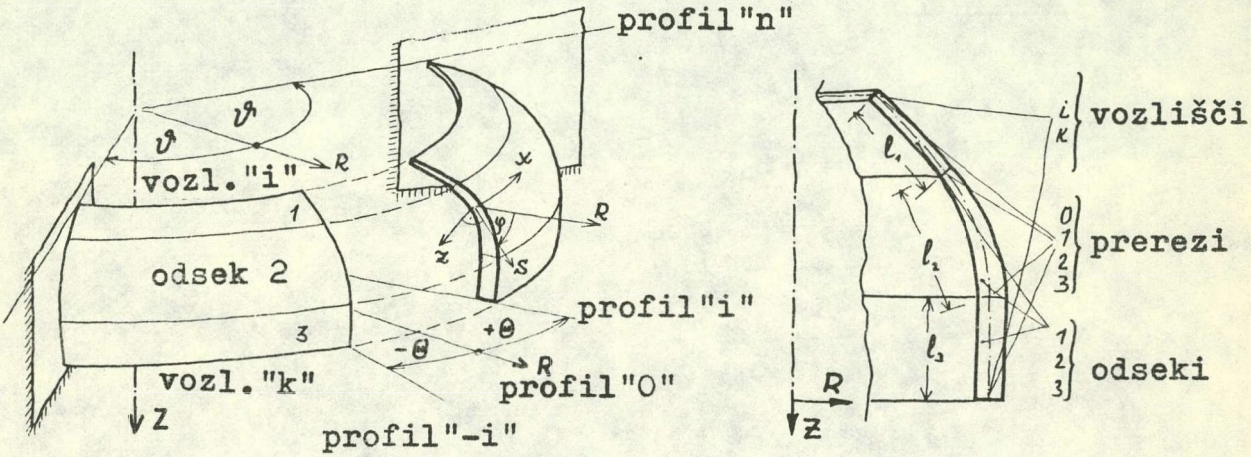
Slika 1

IZSEK ROTACIJSKE LUPINE

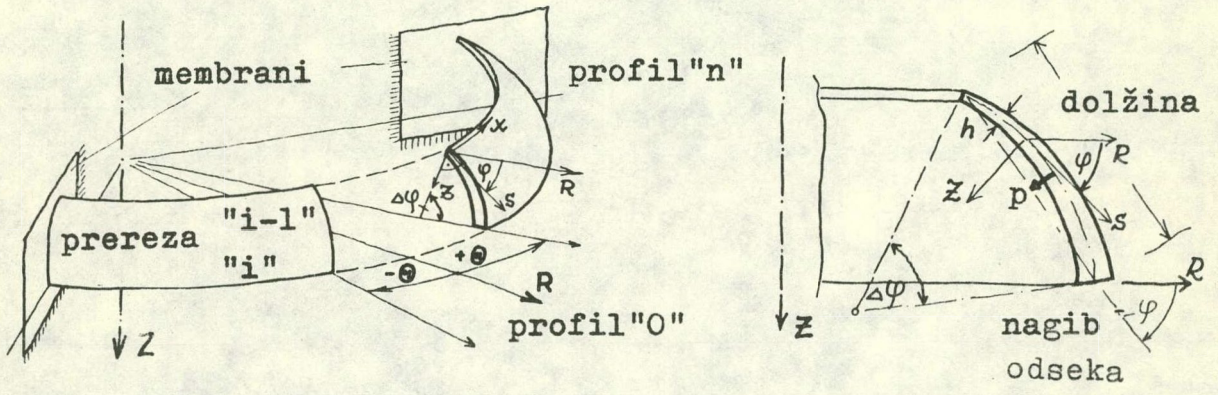
Konstrukcija:



Ena lupina:



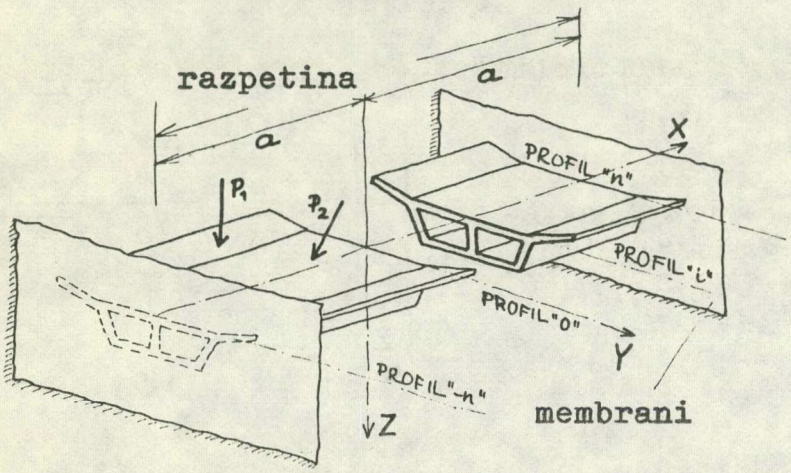
En odsek: (odsek"i")

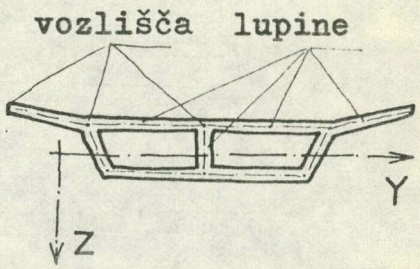


Slika 2

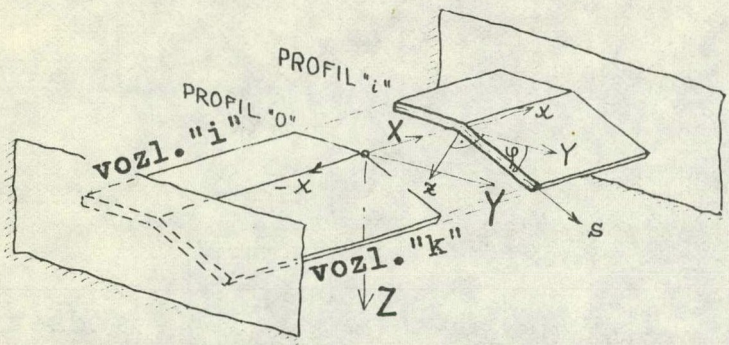
PRIZMATIČNE LUPINE

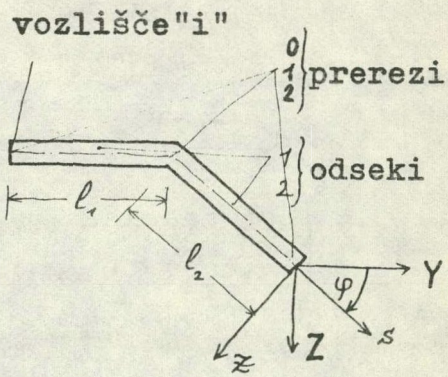
Konstrukcija:



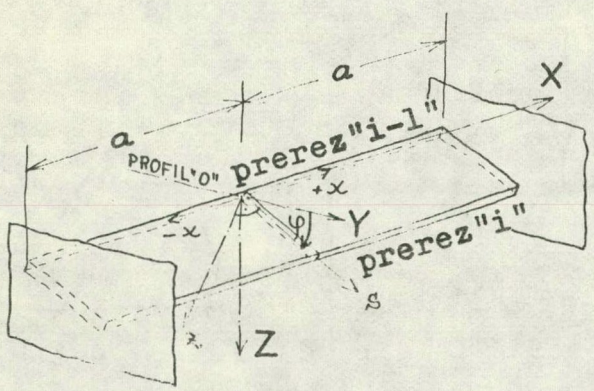


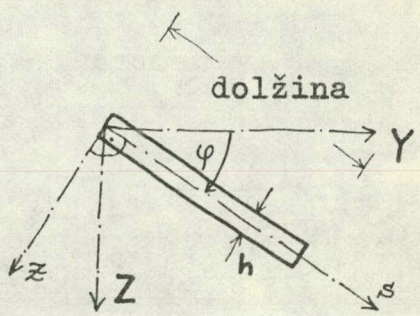
Ena lupina:





En odsek: (odsek"i")





Slika 3

Pri rotacijskih lupinah so odseki v sebi zaključeni obroči, pri izsekih so to le deli obročev, pri prizmatičnih lupinah pa so deli plošč. Na prerezu med dvema odsekoma se lahko debelina lupine skokoma spremeni, na posameznem odseku je vzdolž meridiana debelina lahko linearno spremenljiva, vzdolž vzporednikov pa mora biti konstantna. Lupino lahko sestavlja eden ali več odsekov (glej slike 1, 2, 3).

Konstrukcija je lahko sestavljena iz več lupin, ki so med seboj vzdolž vzporednikov oz.tvorilk (ki jih v tem primeru imenujemo vozlišča) togo ali členkasto povezane. Lupine morajo biti pri isti konstrukciji vse istovrstne: rotacijske lupine morajo imeti skupno rotacijsko os, izseki morajo imeti poleg skupne rotacijske osi tudi isti središčni kot, tvorilke prizmatičnih lupin pa morajo biti enako dolge.

Karakteristični profil je lik, ki ga dobimo s presekom konstrukcije pravokotno na vzporednike oz. tvorilke (torej po meridianu pri rotacijskih lupinah in izsekih). Ta lik je vedno enak, ne glede na mesto prereza. Ker so odseki lahko ravni ali krožno ukrivljeni, je karakteristični profil poligon s stranicami, ki so ravne ali deli krožnic.

Profili so prerezi ob poljubnih meridianih oziroma na poljubnih mestih tvorilk. Profili služijo orientaciji na lupini in so oštevilčeni.

Srednji profil (s številko "nič") razpolavlja pri izsekih vzporednike in pri prizmatičnih lupinah tvorilke. Pri rotacijskih lupinah leži na poljubnem meridianu.

Robna ali končna profila omejujeta konstrukcijo pri izsekih in prizmatičnih lupinah, pri rotacijskih lupinah pa tisti del, za katerega tiskamo rezultate. Srednji profil stoji simetrično med končnima profiloma.

Izseki in prizmatične lupine so na obeh robnih profilih priključeni na togo in nepomično robno membrano, stoječo v ravnini profila. Pod pojmom toga membrana si predstavljamo membrano, ki se v lastni ravnini ne more deformirati, nima

pa upogibne togosti in zato dopušča pomike v smeri svoje normale (smer vzporednikov oziroma tvorilk) in zasuke, katerih vektorji ležijo v ravnini membrane. Z lupin se na to membrano prenašajo strižne napetosti, normalne napetosti pa so v lupini na obeh robnih profilih nične. Tak način podpiranja odgovarja prostoležeči podpori plošče in strižni podpori stene.

Kot rotacijske lupine lahko računamo različne konstrukcije, npr. hladilne stolpe, silose, okrogle posode, zaščitne plašče jedrskih reaktorjev, kupole, vodohrame, okrogle plošče na elastični podlagi ali točkovno podprte različne obroče, mnoge strojne elemente, dele turbin, črpalk, cementarske opreme itd.

Izseki omogočajo računanje škatlastih mostov v krivini, različnih konstrukcijskih delov, in tudi celih gradbeniških konstrukcij. Omogočen je tudi študij torzije tenkostenskih ukrivljenih nosilcev, Karmanov efekt pri ceveh različnega profila itd.

Prizmatične lupine omogočajo računanje ravnih škatlastih mostov, različnih šednih streh, stenastih in ploščatih nosilcev, različnih plošč in torzijo tenkostenskih odprtih in zaprtih profilov, sonosilno širino nosilcev s širokimi pasnicami itd.

1.3 KOORDINATNI SISTEMI

Za orientacijo se poslužujemo globalnega in lokalnih koordinatnih sistemov.

Globalni koordinatni sistem je enoten za vso konstrukcijo. Pri rotacijskih lupinah in izsekih določajo lego točke v prostoru koordinate R, θ in Z. (glej sliki 1 in 2). R je radij točke, to je njena razdalja od rotacijske osi, θ je središčni kot med srednjim profilom in profilom točke, "višina" Z se meri vzdolž rotacijske osi. Ker imajo vse točke na istem profilu isti središčni kot θ , je lega točke podana tudi z lego točke na karakterističnem profilu in s številko tega profila.

Pri nekaterih konstrukcijah (npr. mostovi v krivini) je zaželjeno podajati tudi razdaljo med profili, merjeno vzdolž nekega določenega vzporednika, ki ga imenujemo "os lupine" (npr. os mostne trase, glej sliko 2). Zato je pri rotacijskih lupinah in izsekih podan tudi "radij osi lupine", to je radij vzporednika, vzdolž katerega merimo razdaljo med profili in pri izsekih tudi "razpetino", to je razdaljo med obema robnima membranama. Razdalje vzdolž vzporednikov so označene z $x = R \cdot \Theta$, označba x je privzeta od prizmatičnih lupin.

Pri prizmatičnih lupinah izgubita svoj pomen koordinati R in Θ , ker je rotacijska os pomaknjena v neskončnost. Ravnine vseh profilov so vzporedne, razdalje med njimi merimo z ordinato x. Globalna os Z ostane ista kot pri rotacijskih lupinah in kaže navzdol, globalna os Y leži vodoravno v ravnini profila, nadomešča ordinato R in tvori z osema X in Z desnosučni pravokotni koordinatni sistem (glej sliko 3).

Lokalni koordinatni sistem omogoča orientacijo v posameznih točkah lupine. Nanj so navezane notranje statične količine in deformacije ter nekatere vrste obtežbe. Lokalni sistem tvorijo osi x, s in z. Os x stoji v točki pravokotno na ravnino profila in je usmerjena v pozitivno smer središčnega kota Θ oziroma v pozitivno smer globalne X-osi. Os s je tangenta na lupino v profilni ravnini točke in je pozitivno usmerjena v smeri rastočih številk lupininih odsekov. Os z je normala lupine, leži v profilni ravnini in tvori z osema x in s pravokotni desnosučni sistem (glej slike 1, 2, 3). Ker ležita osi s in z v ravnini profila, ki vsebuje tudi globalni osi R in Z (oziroma Y in Z) in ker sta zato globalna os X in lokalna os x vzporedni, je lega lokalnega koordinatnega sistema enolično določena z lego točke in z nagibom φ , to je kotom med ravnino vzporednikov (oziroma ravnino XY) in med lokalno osjo s.

1.4 KOLIČINE STANJA

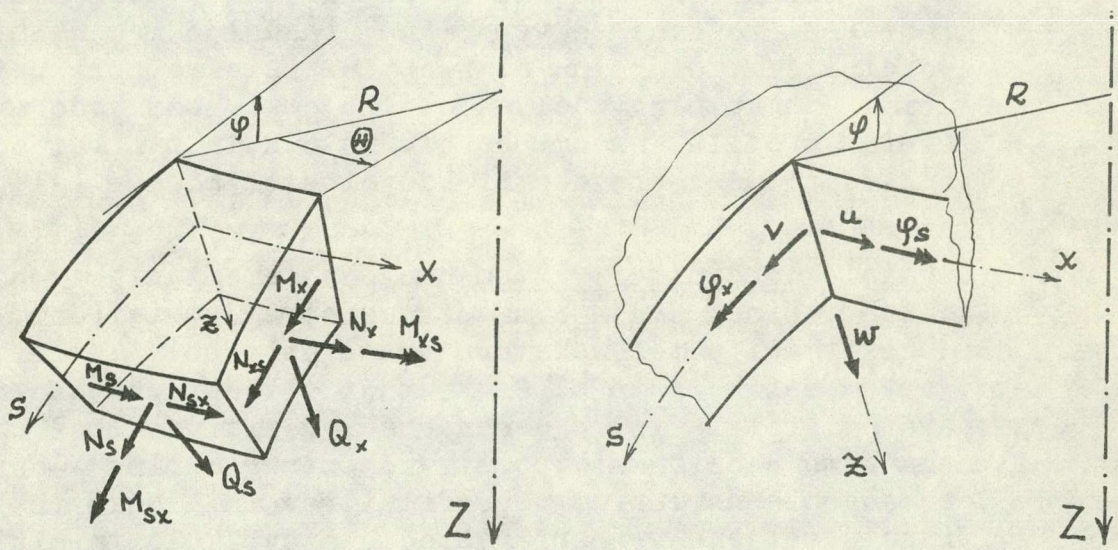
Označbo in usmerjenost notranjih statičnih količin prikazuje slika 4. Vse količine so usmerjene v pozitivnih smereh lokalnega koordinatnega sistema. Vse statične količine (sile in momenti - sl. 4a) se merijo v enotah statične količine na dolžinsko enoto prerezne ploskve. Slika 4b prikazuje poimenovanje in usmerjenost deformacij. Pomike točke središčne ploskve v lokalnih smereh x, s in z označujemo z u,

v in w. Zasuk tangente središčne ploskve (to je osi s) okrog osi x označujemo s φ_s, zasuk tangente središčne ploskve (to je osi x) okrog osi s označujemo s φ_x. Strižna deformacija ravnine xs je označena z γ_{xs}.

Med rezultati programa se namesto prečne sile Q_s tiska tako imenovana reducirna prečna sila $\bar{Q}_s$:

$$\bar{Q}_s = Q_s + \frac{\partial M_{sx}}{\partial x} ,$$

ki omogočata upoštevanje Kirchhoffovih robnih pogojev vzdolž vzporednikov.



Slika 4

Količine statičnega stanja delimo na "membranski" in "upogibni" del.

Membranski del zajema obe osni sili N_x in N_s, obe strižni sili N_{sx} in N_{xs}, pomika u in v ter strižno deformacijo γ_{sx}.

Upogibni del stanja zajema prečni sili Q_x in $\bar{Q}_s$, upogibna momenta M_x in M_s, torzijska momenta M_{sx} in M_{xs}, pomik w in zasuka φ_x in φ_s.

1.5 ROBNI POGOJI

Izseki in prizmatične lupine so na obeh robnih profilih priključeni na že omenjeno togo in nepomično membrano. Rotacijske lupine, ki so zaključene same v sebi, z robnimi membranami niso podprte.

Vzdolž celotne dolžine poljubnih vzporednikov (tvorilk) so lupine lahko togo ali elastično podprte proti pomiku v smeri vzporednika (tvorilke) in proti poljubnemu pomiku v ravnini profila ter togo ali elastično vpete proti zasuku okrog vzporednika (tvorilke). Prav tako lahko nastopajo vzdolž celotne dolžine poljubnih vzporednikov (tvorilk) sprostitve (členki) za poljubne notranje statične količine.

Poljubne točke lupine so lahko med seboj ali na togo podlago povezane s togimi ali elastičnimi razporami. S sistemom takih razpor je mogoče uspešno simulirati različne prečne ojačitve, rebra itd.

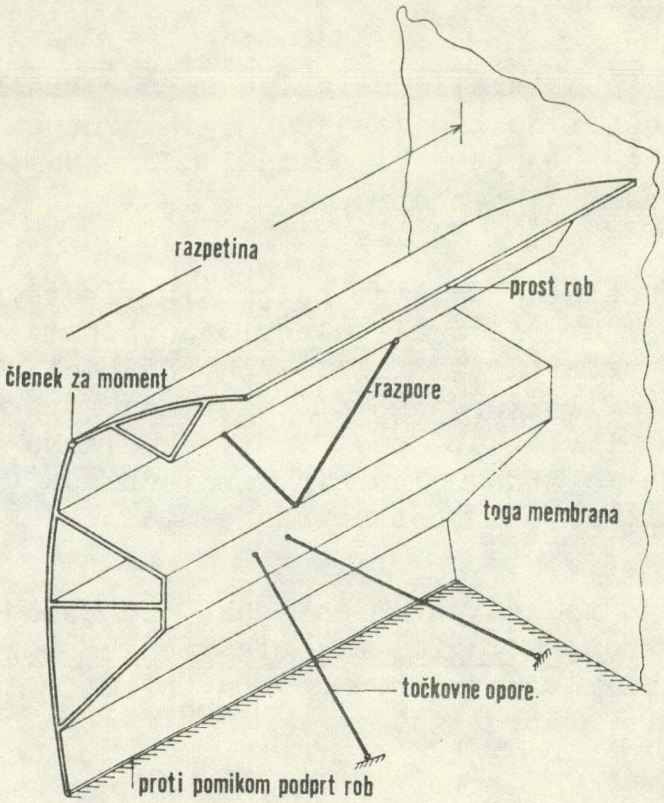
Poljubne točke lupine so lahko togo ali elastično vpete proti zasuku okrog vzporednika (tvorilke).

Odseki rotacijskih lupin in izsekov so lahko v lokalni smeri krožno ukrivljeni, imajo lahko vzdolž osi s linearno spremenljivo debelino in so lahko podloženi z elastično podlago po vsej središčni ploskvi.

Pri prizmatičnih lupinah niso dopustne: spremenljiva debelina, ukrivljenost odsekov in elastična podlaga. Kadar se to pri neki konstrukciji zahteva, je mogoče tako konstrukcijo računati kot izsek rotacijske lupine z zelo velikim radijem.

Karakteristični profil ima lahko poljubno poligonalno obliko, tudi s krožnimi stranicami. Debelina lupine se na prerezih med odseki lahko skokoma menja. Različni odseki so lahko iz različnih materialov.

Obtežba lupin je poljubna. Program upošteva po želji tudi lastno težo, delujočo v poljubni smeri, centrifugalne sile, spremembe temperature, veter itd.



Slika 5

Računski postopek zahteva, da morajo biti pri vsaki konstrukciji same lupine stabilne, ne glede na točkovne robne pogoje (razpore, opore, točkovne vpetosti). Lupinam samim morajo robni pogoji onemogočati takoimenovane "premike togega telesa". Stabilnost mora biti zagotovljena z zveznimi podporami vzdolž vzporednikov, z elastično podlago in z obema robnima membranama (pri izsekih in prizmatičnih lupinah).

Pri prizmatični lupini preprečujeta obe robni membrani vsako rotacijo in dopuščata le translacijo v smeri tvorilk. Za stabilizacijo zadošča toga ali elastična podpora poljubne tvorilke v smeri x. Če je statično stanje konstrukcije tako, da je integral (rezultanta) strižne sile N_{sx} vzdolž vsake tvorilke ničen, lahko tudi to oporo opustimo in začnemo Fourierjevo analizo s členom 1.

Izsek rotacijske lupine moramo v splošnem primeru stabilizirati proti rotaciji okoli rotacijske osi, ki je obe robni membrani ne preprečujeta. Tudi tu ta stabilizacija ni potrebna,

če je pri stanju lupine integral strižne sile vzdolž vseh vzporednikov ničen. V primeru, da sta pri izseku obe podporni membrani koplanarni (pri polkgoru ali polnem krogu), je lupini omogočena rotacija okrog poljubne, v robni membrani ležeče, osi in s tem tudi translacija pravokotno na robno membrano. Taka lupina mora biti stabilizirana proti vsem tem gibanjem.

Rotacijska lupina je sklenjena sama v sebi in se ne opira na membrane. Robni pogoji vzdolž vzporednikov ji morajo preprečevati vsako rotacijo in translacijo.

V praksi nastopajo tudi konstrukcije, pri katerih so lupine podprte le s točkovnimi oporami. Take lupine so brez podpor nestabilne. Da zadostimo zahtevi programa, jih stabiliziramo s tem, da jih "privežemo" s sorazmerno mehko "stabilizacijsko lupino" na togo podlago. Stabilizacijska lupina mora biti dovolj mehka, da pri končnem stanju ne privzame bistvenih sil, vendar pa toliko toga, da stabilizira numerični postopek. Med računskimi primeri se je pokazalo, da lahko volimo za stabilizacijsko lupino element enakih razsežnosti, kot jih ima poljuben odsek konstrukcije, elasticitetni modul pa je lahko tudi do desettisočkrat manjši.

1.6 TEORETIČNE OSNOVE

Postopek je osnovan na upogibni teoriji, ki temelji na običajnih predpostavkah za tenkostenske lupine, to so male debeline, majhne deformacije in zanemarljive normalne napetosti v smeri normale. Tako je postopek omejen na teorijo I. reda, vse enačbe so linearne in omogočajo superpozicijo različnih obtežnih primerov.

Po običajnem postopku dobimo z upoštevanjem ravnotežnih in kompatibilitetnih pogojev na delcu lupine ter Hookovega zakona sistem štirinajstih parcialnih linearnih diferencialnih enačb, ki povezujejo 14 količin statičnega stanja. Teoretične osnove in enačbe so podrobno opisane v literaturi /3/ in jih tu zaradi obširnosti ne ponavljamo.

Pri tem je upoštevano, da pri rotacijskih lupinah in izsekih v splošnem strižni sili N_{sx} in N_{xs} nista enaki, prav tako tudi ne torzijska momenta M_{sx} in M_{xs}. Enakost velja samo pri prizmatičnih lupinah in krogli.

Pri prizmatičnih lupinah razpade sistem parcialnih enačb na dva ločena dela (membranski in upogibni), zato je tu mogoča tudi analitična rešitev (glej /1/).

Sistem parcialnih diferencialnih enačb rešimo s Fourierjevim nastavkom. Vsako izmed količin stanja in obtežbe razvrstimo vzdolž vzporednikov (tvorilk) po načelu:

$$f(s,x) = \sum_{M} f_m(s) \sin(bmx) + \sum_{N} f_n(s) \cos(bnx) \quad \ldots 1$$

$$m = 0, 1, 2, 3, 4, \ldots, \qquad n = 0, 1, 2, 3, 4,, \ldots$$

S tem nastavkom dosežemo separacijo spremenljivk s in x in ploskovni problem preide v linijskega. Ker so členi Fourierjeve vrste med seboj ortogonalni, pripada istoimenskemu členu obtežbine vrste le istoimenski del razvrstitve stanja in ker velja načelo superpozicije, lahko obravnavamo vsak člen obtežbe kot samostojno delno obtežbo in delna stanja superponiramo.

Če združimo 8 količin stanja (ki so med seboj neodvisne) v vektor stanja Z_n :

$$Z_n = (u_n, v_n, w_n, \varphi_{sn}, N_{sxn}, N_{sn}, \bar{Q}_{sn}, M_{sn})^T \quad \ldots 2$$

in preostale količine (ki so odvisne le od Z_n) v vektor $\bar{Z}_n$:

$$\bar{Z}_n = (\varphi_{xn}, N_{xn}, N_{xsn}, Q_{xn}, M_{xn}, M_{sxn}, M_{xsn})^T \quad \ldots 3$$

dobimo po separaciji spremenljivk naslednji matrični enačbi:

$$\bar{Z}_n = H_n \cdot Z_n \quad \ldots 4$$

$$Z_n^{\bullet} = A_n \cdot Z_n + B_n \quad \ldots 5$$

Enačba (4) prikazuje odvisnost vektorja stanja $\bar{Z}_n$ od Z_n, matrika H_n vsebuje le lastnosti lupine ob prerezu.

Enačba (5) predstavlja preostali sistem osmih navadnih diferencialnih enačb z nekonstantnimi koeficienti, vektor B_n je vpliv neposredne obtežbe odseka na odvod vektorja Z_n.

Matriki H_n in A_n, katerih izpeljava je zamudna, sta objavljeni v literaturi /3/.

Rešitev sistema (5) lahko napišemo v matrični obliki:

$$Z_n(s) = P_n \cdot Z_n(s_o) + O_n \qquad \ldots 6$$

Matriko P_n (ki jo imenujemo prenosna ali poljska matrika) in vpliv neposredne obtežbe - vektor O_n izračunamo po znanem numeričnem postopku Runge-Kutta iz matrike A_n in iz vektorja B_n. Pri prizmatičnih lupinah je možna tudi analitična rešitev /1/.

Enačba (6), ki povezuje količine stanja na začetnem in končnem prerezu poljubnega odseka, je osnova deformacijskemu postopku, s katerim določamo deformacije vozlišč, iz le-teh pa zopet s pomočjo enačbe (6) končne rezultate. Ker je vektor Z_n odvisen le od spremenljivke s, je račun zelo podoben računu ravninskih okvirjev na elastični podlagi, le število prostostnih stopenj (u, v, w, φ_s) je za eno večje. Togostne matrike odsekov in obtežbeni vektorji so enostavno in na znani način izračunljivi iz matrike P_n in vektorja O_n.

Še ugodnejša od deformacijskega postopka je kombinacija letega z redukcijskim postopkom (postopek prenosnih matrik). Tako lahko obravnavamo posamezne, iz več odsekov sestavljene lupine z redukcijskim postopkom, vozlišča za deformacijski postopek pa nameščamo le med lupinami in ne med odseki. Tudi ta metoda je znana iz literature.

Med možnimi robnimi pogoji so omenjene tudi razpore in opore. Njihove sile se računajo po silni metodi in se nato v ponovnem računu upoštevajo skupaj z obtežbo lupin. Za "statično določeni" osnovni sistem vzamemo samo lupino, opore in razpore pa nadomestimo z zaenkrat neznanimi silami. Deformacije pod enotnimi silami na mestu neznank in pod zunanjo obtežbo se računajo za neko predvideno število Fourierjevih členov po zgoraj navedenem postopku. Iz njih so sestavljene deformacijske enačbe silne metode, iz katerih izračunamo neznanke.

Uvedba razpor je zelo razširila možnosti uporabe postopka, ker lahko z njimi računamo točkovno podprte konstrukcije, upoštevamo razna prečna rebra in ojačitve ter simuliramo najrazličnejše robne pogoje.

1.7 ŠTEVILO FOURIERJEVIH ČLENOV

Kot je razvidno iz predhodnega poglavja, predstavlja Fourierjeva razvrstitev obtežbe in razpornih sil osnovo računa. Vsa zunanja obtežba in razporne sile se razvrstijo vzdolž vzporednikov (tvorilk) v Fourierjeve vrste. Vsi istovrstni členi teh vrst tvorijo eno delno stanje. Superpozicija vseh delnih stanj predstavlja končno rešitev problema.

Vsako delno stanje je točno izračunano po upogibni teoriji tenkostenskih lupin. Ujemanje končnega stanja s stanjem realne konstrukcije pa je odvisno od števila upoštevanih Fourierjevih členov, ki ga podajamo z vhodnimi podatki.

Rotacijsko simetrično stanje rotacijske lupine je združeno v konstantnem, to je "ničelnem" členu Fourierjeve analize. Ostali del obtežbe pa zajemajo členi z indeksom od 1 do n. Pri rotacijskih lupinah se upoštevajo vsi vmesni členi. Čim več členov upoštevamo, tem natančneje se upoštevana obtežba prilagaja dejansko opisani, toda tudi tem več računskega časa porabimo. Zavedati se je treba, da se pri "n" upoštevanih členih razdelijo točkovne sile obtežbe ali razpor na približno n-tem delu vzporednika (tvorilke).

V dejanski konstrukciji sile nikdar niso točkovne, zato lahko iz velikosti njihovega območja določamo potrebno število Fourierjevih členov. Če je členov preveč, potem so sile preveč koncentrirane in razpore lahko povzročajo nepravilne lokalne deformacije.

Pri izsekih in prizmatičnih lupinah se za del obtežbe, ki je simetrična glede na srednji profil upoštevajo le lihi Fourierjevi členi in za antimetrični del obtežbe le sodi. Če hočemo za konstantno obtežbo (npr. lastna teža), ki je simetrična, upoštevati npr. pet členov, moramo zahtevati člene od 1 do 9, program bo tokrat upošteval lihe člene 1, 3, 5, 7, 9. Analogno velja za antimetrično obtežbo. Pri teh lupinah predstavlja konstantni člen le zelo izjemne konstantne strižne napetosti v lupini. Tudi pri določevanju števila členov za razporne sile, s katerim reguliramo razširitev točkovne razpore vzdolž vzporednikov, se moramo pri teh konstrukcijah zavedati, da upošteva program le vsak drugi člen. Slika 6 prikazuje nekatere člene Fourierjeve vrste pri rotacijskih lupinah ter pri izsekih in prizmatičnih lupinah.

FOURIERJEVA RAZVRSTITEV:

Rotacijska lupina

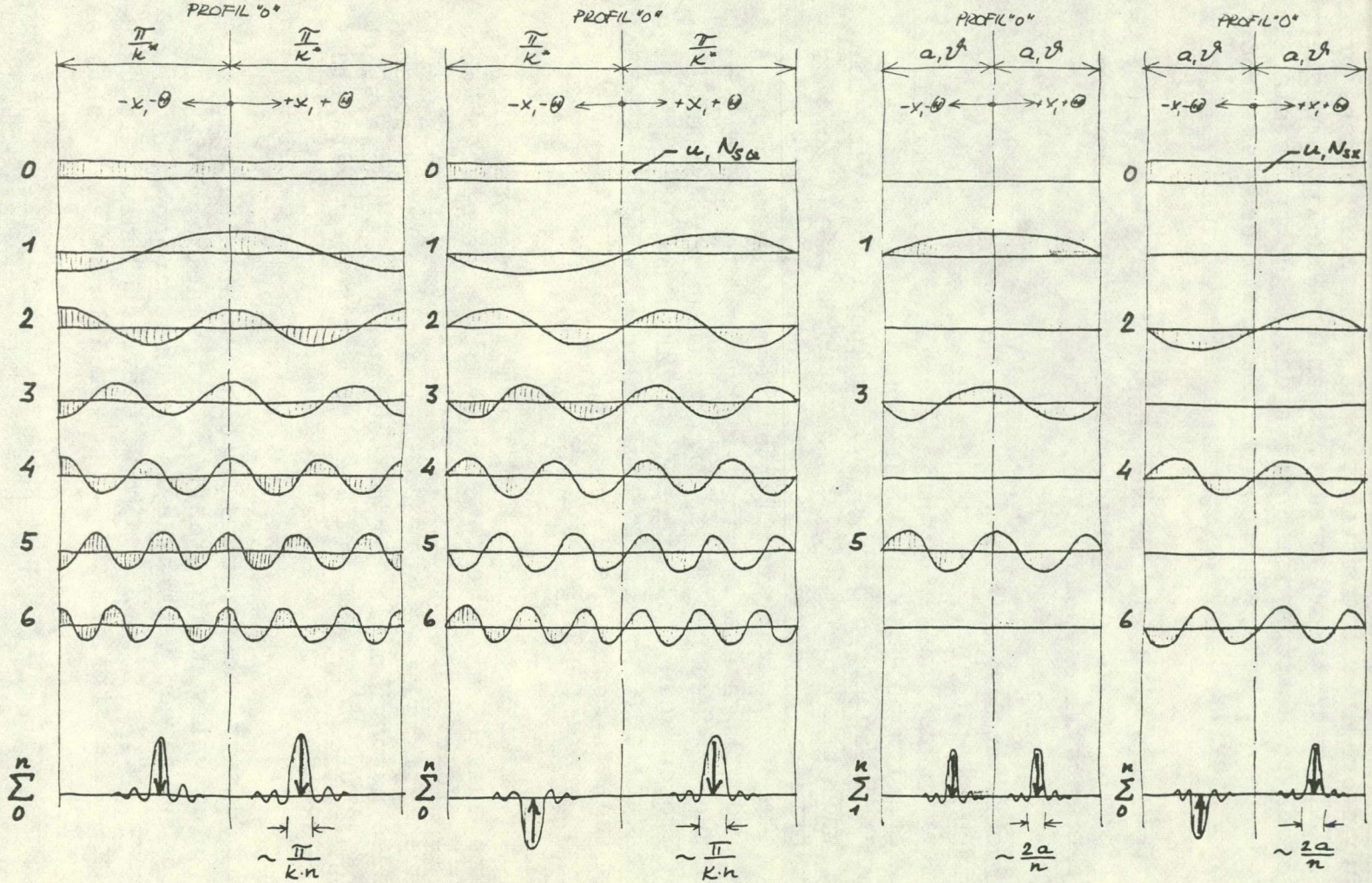
simetrično

antimetrično

Izsek in prizmatična lupina

simetrično

antimetrično



Slika 6

*k ≠ 1 samo, če je $f(\theta)=f(\theta+\frac{2\pi}{k})$, to je pri večkratni simetriji

Kljub zgornjim ugotovitvam se znajdemo pri uporabi programa SHELLS vedno znova pred vprašanjem s koliko Fourierjevimi členi bo nastopajoča obtežba dovolj dobro zajeta. Vprašanje je važno, ker je porabljeni računski čas linearno odvisen od števila členov.

Pri rotacijskih lupinah brez razpor in pod rotacijsko simetrično obtežbo je odgovor enostaven. Tu zajame konstantni člen pravilno vso obtežbo.

Pri vseh ostalih konstrukcijah je potrebno število členov odvisno od obtežbe in od konstrukcije same. Število mora biti prirejeno najneugodnejši obtežbi, to je tisti, ki je v smeri x najbolj spremenljiva. Najneugodnejše so točkovne sile in ker delujejo tudi razpore točkovno, mora biti tudi pri konstrukcijah z razporami število členov temu primerno, ne glede na ostalo obtežbo. Previsoko število členov ne kvari rezultatov, pomeni le nepotrebno izgubo računskega časa. Edina izjema pri tej trditvi so točkovne in razporne sile, ki postajajo z večanjem števila členov vedno bolj točkovne, lahko tudi bolj kot je na konstrukciji mogoče in se lokalno zajedajo v lupino, toda tudi ta motnja je le lokalna.

Rezultati, ki jih dobimo s programom, niso pravilni za podano temveč za razvrščeno obtežbo, ki je odvisna od števila Fourierjevih členov. Primerjave na naslednjih straneh prikazujejo različne razvrstitve, ki od podane obtežbe na prvi pogled precej odstopajo. Največja so odstopanja pri točkovni sili, ki se spremeni v valovito zvezno obtežbo.

Vendar nas pri konstrukcijah bolj kot obtežba sama zanima njen vpliv na napetosti in deformacije. Potek leteh pa je zaradi večkratne integracije mnogo bolj gladek in rezultati se že pri majhnem številu členov zelo približajo vrednostim, ki bi jih povzročila dejanska obtežba.

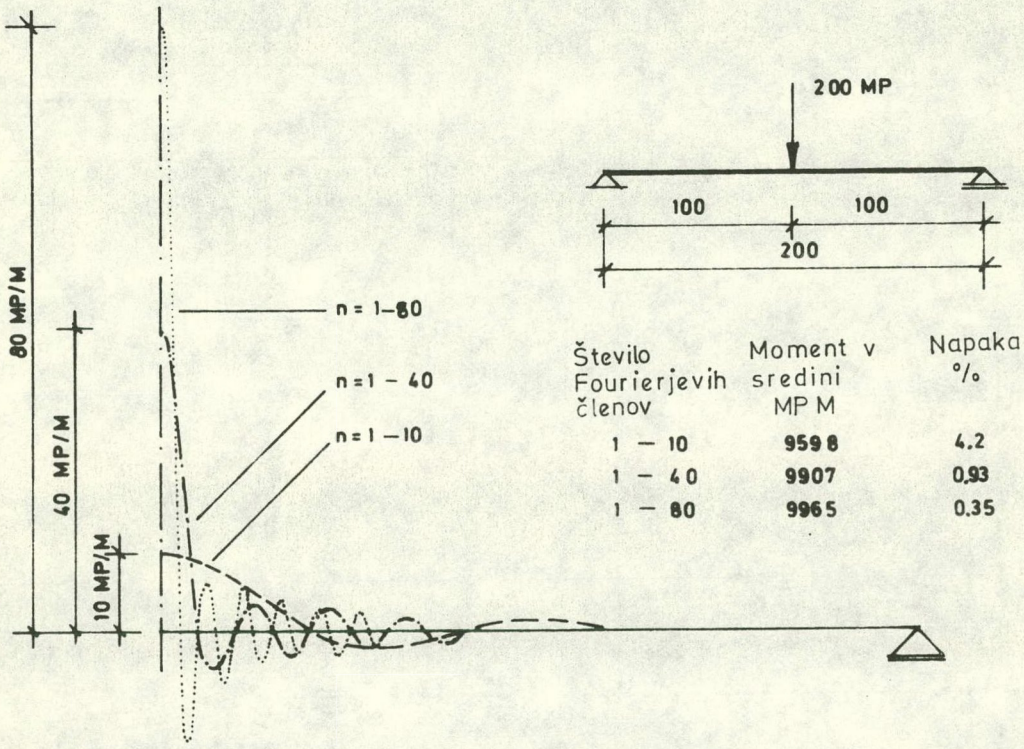
Spodnji primeri prikazujejo prostoležeč nosilec z razpetino 200 cm (računan kot prizmatična lupina), na katerem delujejo točkovna sila 200 kp na sredini, enakomerna zvezna obtežba 10 kp/cm na srednji desetini razpetine in enaka zvezna obtežba na srednji polovici razpetine. Prikazani so rezultati za 5, 10, 15, 20 in 40 Fourierjevih členov. Za vsako število členov je prikazana razvrstitev obtežbe in pripadajoči upogibni moment, ki ponazarja natančnost rezultatov.

Največja neskladja nastopajo pri točkovni sili, vendar znaša največje odstopanje tik pod silo in pri le petih upoštevanih členih samo 4,2 %. V prerezu , ki je za desetino razpetine od sile oddaljen, znaša napaka le še 1,4 %. Napaka hitro upada z naraščanjem števila členov.

Zvezna obtežba je mnogo pohlevnejša. Kjer je obtežena le desetina razpetine, znaša največje odstopanje pri petih členih le 0,63 %, pri obteženi polovični razpetini pa samo še 0,2 promila.

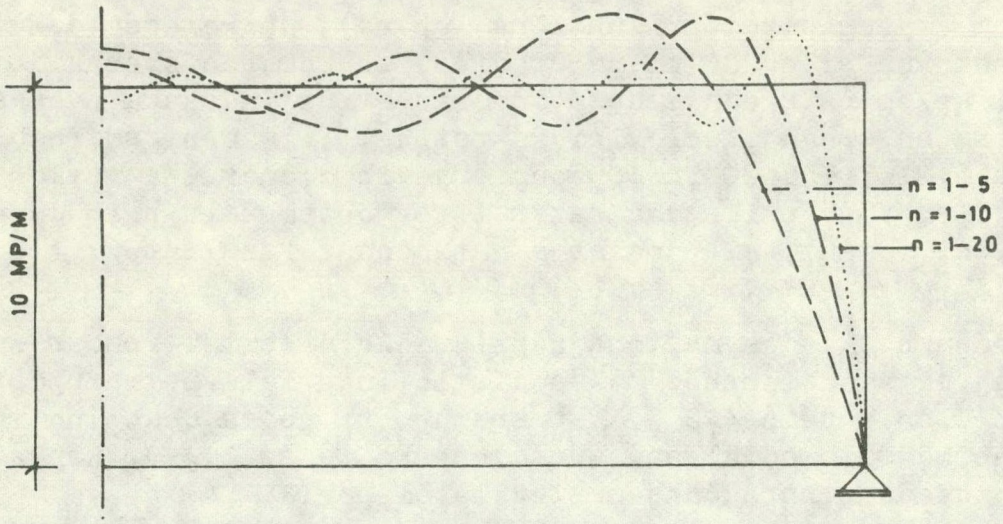
Napaka pri povesu znaša v najneugodnejšem primeru pri točkovni sili in 5 členih 0,016 %, pri 10 členih pa le še 0,002 %.

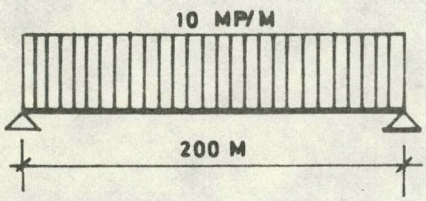
Točkovna sila na sredini nosilca:



Število Fourierjevih členov	Moment v sredini MP M	Napaka %
1 – 10	9598	4.2
1 – 40	9907	0,93
1 – 80	9965	0.35

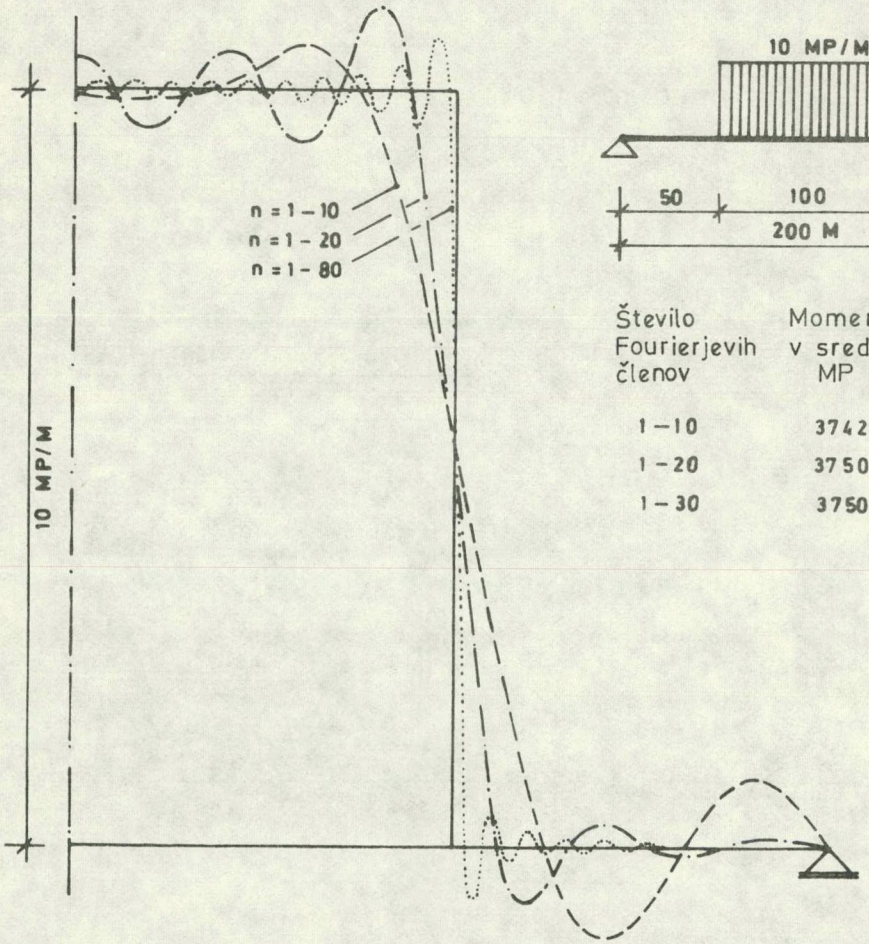
Enakomerna obtežba po vsej razpetini:





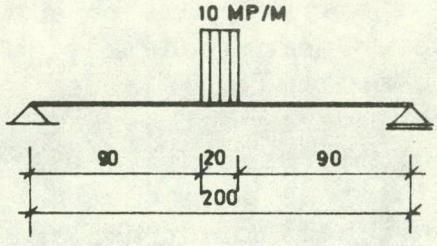
Število Fourierjevih členov	Moment M v sredini MP M	Napaka %
1 - 5	50104.	0.21
1 - 10	50024.	0.05
1 - 20	49997	0.01

Enakomerna obtežba na srednji polovici razpetine:

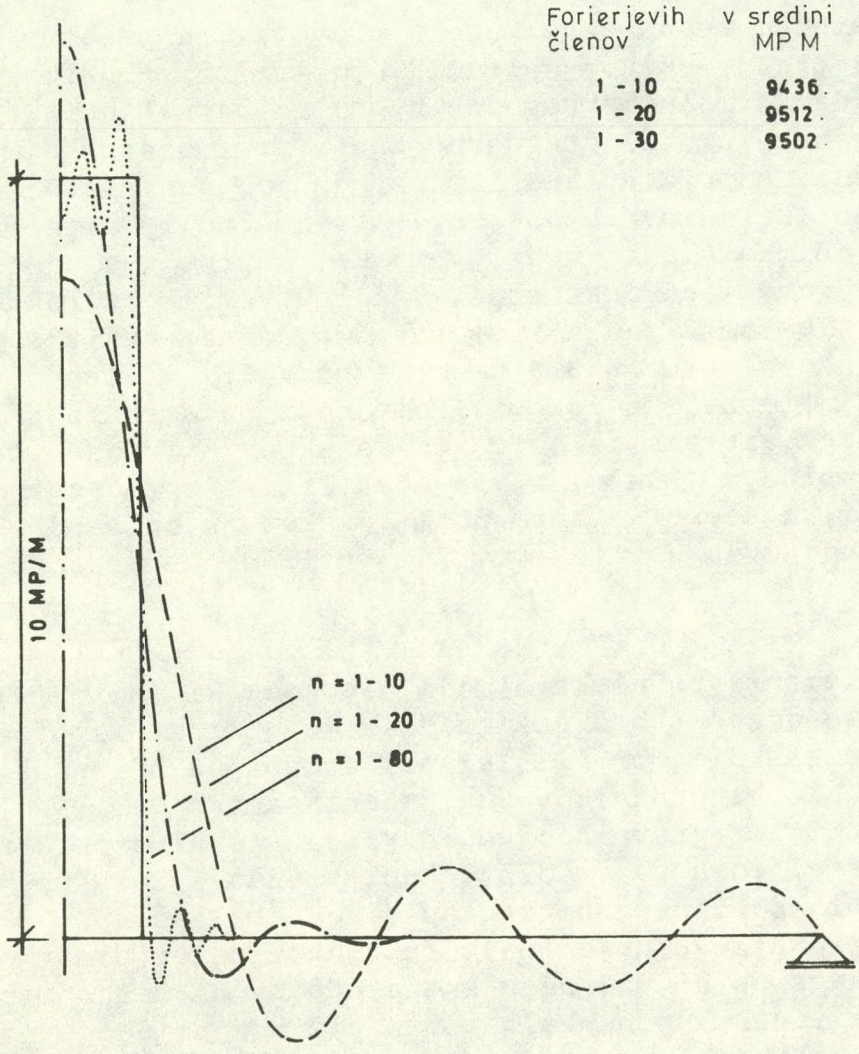


Število Fourierjevih členov	Moment M v sredini MP M	Napaka %
1 - 10	37429.	0.02
1 - 20	37504.	0.01
1 - 30	37500.	0.00

Enakomerna obtežba na srednji polovici razpetine:



Število Forierjevih členov	Moment M v sredini MP M	Napaka %
1 - 10	9436.	0.67
1 - 20	9512.	0.13
1 - 30	9502.	0.02



1.8 RAČUNSKI MODEL

Konstrukciji, ki jo računamo po programu SHELLS, priredimo računski model. Tu se pokaže velika prednost programa SHELLS pred vsemi programi po klasičnem postopku metode končnih elementov. Večina podatkov je potrebna praktično le za eno dimenzijo, medtem ko je obseg podatkov za drugo dimenzijo (to je v smeri vzporednikov oziroma tvorilk) minimalen. Kljub temu pa dobimo rezultate o statičnem stanju lupine v vseh presečiščih mreže dveh sistemov krivulj, ki potekajo po srednji ploskvi naše konstrukcije.

Osnovni sistem računskega modela predstavlja celotno lupino z robnimi pogoji, ki so opisani v točki 1.5. Profil lupine je lahko sestavljen iz ravnih in krožno ukrivljenih odsekov. Če je dejanski profil drugačen, mu priredimo aproksimacijo. Kadar računamo prizmatične lupine, je poligon profila lahko sestavljen le iz ravnih odsekov. Ker ima poligon profila poljubno obliko, lahko upoštevamo kot lupine vse ojačitve in rebra, ki potekajo konstantno, vzdolž tvorilk oziroma vzporednikov. Vse ostale ojačitve (prečna rebra, okvirje, membrane itd.) nadomestimo s sistemom razpor, ki ima lahko tudi upogibno in torzijsko togost. Podajnost posameznih palic tega nadomestnega sistema določimo iz karakteristik ojačitev. Kadar celotna lupina ni stabilna, jo stabiliziramo z dodatno mehko lupino, priključeno na togo podlago, kot je opisano v točki 1,5 ali tudi z zadostnim številom različno usmerjenih mehkih vzmeti.

Osnovni elementi računskega modela so odseki lupin (glej tč. 1.2), ki so omejeni z dvema tvorilkama oziroma vzporednikoma in z obema končnima profiloma, pri rotacijskih lupinah so odseki vzdolž vzporednikov zaključeni sami v sebi. Dolžino odseka merimo pri ravnih odsekih vzdolž lokalne osi "s", pri krožno ukrivljenih pa vzdolž sekante. Vzdolž lokalne osi "s" ima odsek lahko linearno spremenljivo debelino (pri prizmatičnih lupinah le konstantno), lastnosti materiala in elastične podlage se na področju enega odseka ne smejo menjati. Pri prizmatičnih lupinah elastična podlaga ni dopustna. Obtežba odseka se vzdolž njegove osi ne sme spremeniti. Rezultati se računajo in tiskajo samo na začetku in na koncu odseka.

Dolžino odseka volimo v skladu z vsemi zgoraj navedenimi razlogi, poleg tega je dolžina odseka omejena še iz numeričnih razlogov, kar je opisano v naslednjem odstavku.

Lupina je element višjega reda, ki je sestavljen iz več (najmanj enega) zaporedno togo spojenih odsekov, ki se stikajo ob tvorilkah oziroma vzporednikih. Os lupine je sestavljena iz stranic profilovega poligona in ne sme biti razvejana, lahko pa je lomljena. Dolžina lupine je vsota dolžin posameznih stranic profila. Odseki lupine so oštevilčeni od ena naprej, zaporedno od začetka do konca lupine. Odsekova lokalna os "s" kaže v smer oštevilčenja. Prerezi med oseki (to so tvornice oziroma vzporedniki) so označeni s številko nižje oštevilčenega priključenega odseka. Prvi prerez lupine ima številko nič, številka zadnjega odseka je enaka številu odsekov v lupini. Na vsakem prerezu se lahko skokoma menjajo debelina odseka, lastnosti materiala, konstanta elastične podlage odseka, odsekov nagib (kot φ) in obtežba. Vzdolž prvega in zadnjega prereza je lupina priključena na ostalo konstrukcijo na mejah, ki jih imenujemo vozlišča. Ta sovpadajo s tvorilkami oziroma vzporedniki. V začetnem in končnem prerezu lupine lahko nastopajo členki (sprostitve) za poljubne notranje statične količine, ti členki se raztezajo kontinuirno prek vse dolžine tvorilke oziroma vzporednika.

Dolžina lupine je omejena iz numeričnih vzrokov in naj ne presega dvojne valovne dolžine najvišjega Fourierjevega člena, torej naj ne bo večja od

$$L = \frac{4a}{n \cdot k}$$

V obrazcu je z "a" označena polovična širina pripadajočega odseka: to je pri prizmatični lupini in pri izseku rotacijske lupine polovična razpetina, pri rotacijski lupini pa polovični obseg vzporednika. Z "n" je označeno število upoštevanih členov Fourierjeve vrste. "k" je običajno enojka, le pri rotacijskih lupinah, katerih stanje izkazuje večkratno simetrijo(tako, da je stanje pri kotu θ enako stanju pri kotu $\theta + 2\pi/k$), je "k" število simetrijskih ravnin. Drugič mora biti lupina tako kratka, da vplivajo robne motnje z začetka lupine še občutno na konec lupine (in obratno), sicer nam deformacijski postopek ne zagotovi uporabnih rezultatov. V tem smislu omejeno dolžino lupine volimo največkrat po občutku, pri čemer imata debelina lupine in njen nagib " φ " svoj pomen. Lahko si pomagamo tudi z literaturo, kjer je opi-

sano področje razširjanja robnih motenj, ali pa izvedemo preizkusni račun. Na primer za valjaste lupine se je pokazalo, da njihova dolžina ne sme presegati vrednosti

$$L = \sqrt{R \cdot h}$$

kjer je R rotacijski radij valja, h pa debelina lupine. Če ima lupina dvojno ukrivljenost (npr. hiperboloid so lupine lahko daljše.

Vse lupine konstrukcije numeriramo v poljubnem vrstnem redu. Kadar je več lupin med seboj popolnoma enakih (enaki morajo biti tudi členki in začetni radiji), je treba opisati samo prvo izmed njih, naslednje pa označimo kot enake prvi. Na ta način lahko prihranimo precej prostora v pomnilniku in računskega časa.

Vozlišča, to so meje med lupinami, ki potekajo vzdolž tvorilk oziroma vzporednikov, oštevilčimo od ena naprej. Vozlišče "nič" pomeni togo podlago. Pri oštevilčenju moramo paziti, da ostane največja diferenca številk začetnega in končnega vozlišča poljubne lupine čim manjša, ker to občutno skrajša računski čas in zmanjša potrebni spomin v računalniku: pri tem upoštevamo samo lupine, ki niso priključene na vozlišče "nič" (toga podlaga).

Lupine, ki so z enakim koncem priključene na vozlišče "nič", so na tem mestu togo vpete na podlago. Če se na tem mestu zahteva prosti rob ali katerakoli sprostitev, je treba v lupino uvesti členke.

Vsakemu vozlišču lahko priredimo njegov lastni lokalni koordinatni sistem z navedbo kota φ . Vsako vozlišče je lahko vzdolž vse svoje dolžine (vzdolž tvorilke oziroma vzporednika) togo ali elastično podprto proti poljubnemu pomiku v smeri svojih lokalnih koordinatnih osi in proti zasuku okrog tvornice ali vzporednika.

Orientaciji v smeri tvorilk oziroma vzporednikov služijo oštevilčeni profili. Srednji profil ima številko "nič", ostale profile priredimo z navedbo oddaljenosti od srednjega profila (pri prizmatičnih lupinah ordinata x, pri rotacijskih kot θ) in jih zaporedno oštevilčimo od profila "nič" v smeri tvorilke oziroma vzporednika. Profili na negativni strani ordinat "x"

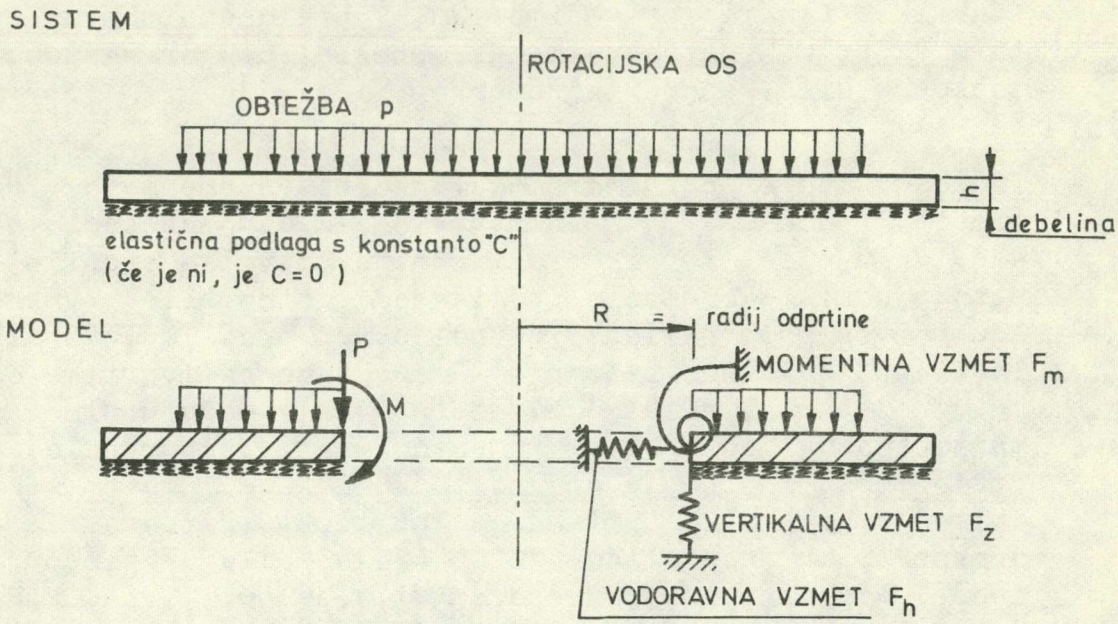
oziroma " θ " so nameščeni simetrično in prejme negativne številke. Profile priredimo tam, kjer hočemo dobiti rezultate, kjer se nezvezno menja obtežba in kjer nastopajo točkovne sile, opore in razpore .

Točkovne opore in razpore se lahko nameščene samo v vozliščih. Podane so s smernim vektorjem, z označbami točk, kjer delujejo (številka vozlišča in številka profila) in s podajnostno konstanto (pomik pod enotno silo). Vsako poljubno vozlišče je lahko na poljubnem profilu togo ali elastično točkovno vpeto proti zasuku okrog tvorilke oziroma vzporednika, elastičnost je podana s podajnostno konstanto (zasuk pod enotnim momentom). Pri razporah ločimo oprto točko lupine in oporno točko lupine. Smerni vektor opiranja poteka od oprte k oporni točki. Razporo, katere oporna točka je vozlišče "nič" (toga podlaga), imenujemo opore. Razporna oziroma oporna sila je pozitivna, kadar je v razpori nateg. Kadar so točkovne opore in razpore razporejene simetrično glede na srednji profil, in če je tudi obtežba lupine simetrična, je mogoče računati le polovico konstrukcije. S tem prihranimo precej računskega časa in dela pri nastavljanju podatkov, ker opisujemo samo eno polovico opor in razpor.

Pri rotacijskih lupinah, ki prehajajo preko rotacijske osi, moramo pri računskem modelu singularno območje okrog osi izrezati in nadomestiti z vzmetmi. V nadaljnjem so navedeni obrazci za nadomestne vzmetne konstante za krožno ploščo in krožno steno, ki so uporabni tudi za lupino, če izrežemo dovolj majhno območje.

Obrazci za vzmeti so pravilni samo za konstantni Fourierjev člen. Če pričakujemo vzdolž izreza velike spremembe v statičnih količinah, nadomeščanje izrezanega dela z vzmetmi ni pravilno.

VAŽNO: Kadar podpiramo neko vozlišče z vzmetni, ga ne smemo hkrati v isti smeri tudi vpeti ali togo podpreti, ker bi ostala potem vzmet brez vpliva.



E = modul elastičnosti

ν = Poissonov količnik

$$F_h = \frac{h \cdot E}{R(1-\nu)}$$

$$F_z = \frac{c \cdot R}{2}$$ (samo, če je plošča elastično podložena)

$$F_m = \frac{h^3 E}{12 R (1-\nu)}$$

Pri momentni vzmeti ni zajet vpliv elastične podlage. Ta vpliv je pri majhnih izrezih majhen in pada s padajočim radijem, medtem ko vpliv lupine same s padajočim radijem narašča (glej obrazec). Če je plošča obremenjena (tudi, če je to le lastna teža), moramo rob izreza obremeniti z linijsko obtežbo in linijskim momentom.

$$P = \frac{p \cdot R}{2} \quad (kp/m)$$

$$M = -\frac{p \cdot R^2}{8} \quad (kpm/m)$$

1.9 OBTEŽBA RAČUNSKEGA MODELA

Program obdeluje zaporedno lahko več skupin obtežnih primerov. Eno skupino tvorijo obtežni primeri, ki se računajo istočasno in z istim številom Fourierjevih členov. Obtežni primeri ene skupine se pri tiskanju rezultatov lahkov kombinirajo in seštevajo, lahko so pomnoženi s faktorji in program lahko išče nejneugodnejše kombinacije. En obtežni primer zajema vse obtežbe, ki vedno nastopajo istočasno, tako da nas zanimajo vedno le skupni rezultati.

Poljubno področje lupine, ki ga omejujeta dva prereza in dva profila, je mogoče obtežiti s ploskovno obtežbo v vseh treh smereh lokalnega ali globalnega koordinatnega sistema. Obtežba mora biti v smeri profila konstantna, v smeri tvorilke oziroma vzporednika pa se lahko linearno spreminja. Če sovpadata pri obteženem področju oba prereza ali oba profila, privzame program linijsko obtežbo v ustreznih merskih enotah, če pa se področje skrči v točko (če sovpadata prereza in profila), upošteva program točkovno obtežbo. Med obtežbo lahko upošteva program ploskovne, linijske in točkovne sile, momente, premike, zasuke in spremembe temperature v središčni ploskvi in v smeri normale.

Z uporabo deformacijskih skokov je mogoče računati vplivne ploskve.

Vozlišča so lahko na isti način obremenjena z linijskimi ali točkovnimi silami in momenti.

Program lahko upošteva delovanje lastne teže v različnih smereh, centrifugalne sile zaradi rotacije rotacijskih lupin, konstanten pritisk na vso lupino itd.

Za obtežbo hladilnih stolpov z vetrom sta predvideni dve razdelilni krivulji vetra vzdolž vzporednikov (pritisk in srk), podaja se le maksimalni pritisk.

Če je vsa obtežba ene skupine le simetrična ali antisimetrična glede na srednji profil in če so tudi razpore razporejene simetrično, ali če jih ni, računa program le ustrezne Fourierjeve člene in porabi samo polovico računskega časa.

1.10 SESTAVA IN IZPIS VHODNIH PODATKOV O SISTEMU

Navodila za sestavljanje vhodnih podatkov so podana v poglavju 2. Pričujoče poglavje opisuje vhodne podatke samo na splošno in hkrati tolmači njihov izpis.

Program zahteva v glavnem samo osnovne podatke, ki jih vsebujejo načrti konstrukcije in statikove skice.

Na začetku programskega izpisa se tiskajo vsi vhodni podatki v tabelarični obliki. Besedila se tiskajo po želji v slovenskem, nemškem, angleškem ali francoskem jeziku. Strani izpisa so oštevilčene in opremljene s poljubnim besedilom v prvi vrstici.

Vhodni podatki in rezultati niso vezani na nek določen sestav dimenzijski enot. Paziti je potrebno le, da so vsi podatki podani v medsebojno skladnih enotah (npr. dolžine v metrih, ploskovne sile v kilopondih na kvadratni meter, linijske sile v kilopondih na meter podajnosti v metrih na kilopond itd.). Izbrati pa je treba tak sestav enot, da ne pride pri tiskanju rezultatov do prevelikih števil (ki bi povzročala tiskanje "zvezdic") ali premajhnih števil (ki bi se tiskale kot ničle). Po čitanju vhodnih podatkov in pred začetkom računanja preverja program skladnost in logičnost podanega sistema. Če najde napako, ki jo je možno odkriti, tiska opozorilo in preide k računu naslednjega primera. Tolmačenje napak je podano v poglavju 1.3.

Vhodni podatki se izpisujejo v istem vrstnem redu, kot so podani (glej poglavje 2). Najprej je podan tip lupine, ki je lahko:

- prizmatična lupina
- pravokotna plošča
- pravokotna stena

- krožnosimetrična lupina
- krožna plošča
- krožna stena
- izsek krožno simetrične lupine
- izsek krožne plošče
- izsek krožne stene.

Med splošnimi podatki sledi število vozlišč, število lupin (elementov), število točkovnih opor in razpor, število dogovorjenih profilov. Pri prizmatičnih lupinah sledi polovična razpetina lupine "a", pri rotacijski lupini in njih izsekih pa še radij vzporednika, na katerega se nanašajo oddaljenosti profilov od srednjega profila in polovični središčni kot. Pri rotacijskih lupinah, katerih stanje izkazuje večkratno simetrijo je tiskana opomba, da se računa samo k-ti del lupine.

Za lažje razumevanje je pri podatkih tiskana tudi razlaga kode vpetja vozlišč in členkov lupin:

Šifre pomenijo:

1 vpetost za pomik	u oziroma členek za	N_{sx}
2 vpetost za pomik	v oziroma členek za	N_s
4 vpetost za pomik	w oziroma členek	$\overline{Q}_s$
10 vpetost za zasuk	φ_s oziroma členek za	M_s

Šifre se poljubno sestavljajo: tako pomeni opiranje 17 pri vozlišču polno vpetost (1 + 2 + 4 + 10), členek 17 pri lupini pa prosti rob. Šifra 0 pomeni pri vozlišču, da ni podprto in vpeto, pri lupini pa, da ni sproščena.

Različni materiali konstrukcije so oštevilčeni in podani z elasticitetnim modulom, Poissonovim številom, specifično težo in temperaturnim razteznostnim koeficientom. Pri opisu odsekov je vrsta materiala podana s številko. Karakteristični profil je podan z opisom lupin. Za vsako lupino sta podani številki začetnega in končnega vozlišča, šifri začetnih in končnih členkov, ter pri rotacijskih lupinah radij začetnega vzporednika lupine.

Za vsak odsek lupine je podana številka odseka, njegova dolžina, obe projekciji dolžine v globalnem koordinatnem sistemu, nagib odseka, debelina, številka materiala in število ponovitev, ki pove, da sledi odseku še nekaj popolnoma enakih odsekov. Ponavljanje odseka je možno samo pri prizmatičnih lupinah.

Pri rotacijskih lupinah in izdsekih, kjer je dovoljena spremenljiva debelina, elastična podlaga in ukrivljenost, se podajajo tudi ustrezne vrednosti. Debelina se podaja na začetku in koncu odseka, kostanta elastične podlage je sila, ki je potrebna za posed enote površine za enoto dolžine. Ukrivljenost je podana s spremembo nagiba vzdolž odseka ($\Delta\varphi$), s puščico in z radijem. Če so vrednosti nagativne, leži središče odsekovega kroga na negativni strani lokalne z osi. Dolžina ukrivljenega odseka se meri vzdolž tetive.

Če je več lupin po vseh karakteristikah enakih in se razlikujejo le v številkah vozlišč, je podana le najnižje oštevilčena lupina, za ostale pa se poleg številke vozlišč tiska opomba, da so enake prvi.

Za vozlišča so podane šifre opiranja, nagib lokalnega koordinatnega sistema in pri rotacijskih lupinah radij vozliščnega vzporednika.

Za vzmetena vozlišča se tiskajo vzmetne konstante, to so sile, ki povzročijo na enoti dolžine posed za enoto dolžine. Za točkovne razpore in opore so podane oprta in oporna točka s številkami vozlišč in profilov, smerni vektor delovanja opore in podajnostna konstanta (osna deformacija opore pod enotno silo). Smerni vektor se podaja v globalnem koordinatnem sistemu, pri rotacijskih lupinah je kot ordinata x podana projekcija smernega vektorja na tangento vzporednika oprte točke. Pri oporah je oporna točka podana z vozliščem "nič".

Točkovne vpetosti (okrog tvorilke oziroma vzporednika) podajamo s številko vozlišča in profila vpete točke in podajnostno konstanto vpetja (zasuk pod enotnim momentom).

Če stoji za podatki o točkovnih oporah opomba, da so vse opore in razpore dvojne, simetrične glede na srednji profil, se lahko računajo samo simetrični obtežni primeri. V tem primeru so opisane le opore na pozitivni strani lupine.

Podatki o profilih podajajo oddaljenost oštevilčenih profilov od srednjega ničnega profila. Ker so negativni profili simetrično razporejeni, so podane samo pozitivne vrednosti. Pri rotacijskih lupinah so poleg oddaljenosti profilov po profilnem vzporedniku podani tudi središčni koti med profili in srednjim profilom.

1.11 SESTAVA IN OPIS PODATKOV O OBTEŽBI

Za vsako skupino obtežnih primerov se tiskajo najprej podatki o obtežbi, nato podatek, s katerimi Fourierjevimi členi je račun izveden in nato rezultati.

Posamezne obtežbe so opisane z razumljivim tekstom in pri vsaki se tiska označba h kateremu obtežbenemu primeru spada. Vedno so podani: obteženo območje, obtežbeni parametri in (z okrajšavami), ali je obtežba simetrična, asimetrična ali antisimetrična glede na srednji profil in ali je podana v globalnem ali v lokalnem koordinatnem sistemu.

Ob koncu podatkov o obtežbi je tiskana opomba, ali je statično stanje lupine simetrično, antisimetrično ali asimetrično glede na srednji profil.

Sledijo najmanjša in največja številka Fourierjevih členov, ki so bili uporabljeni za izračun rezultatov. Če so bili za izračun razpornih sil uporabljeni drugi členi, se tiska tudi ta podatek.

1.12 REZULTATI

Rezultati vsake skupine obtežnih primerov se tiskajo za podatki o obtežbi. Neposredno po podatkih sledijo velikosti sil v razporah, posebej za vsak obtežbeni primer.

Pri opisu sistema je možno podati zahtevo, naj se rezultati za posamezne lupine ne računajo. S tem je mogoče prihraniti precej računskega časa. Med rezultati se take lupine ne pojavijo.

Izpis rezultatov je lahko zelo raznolik. Lahko se tiska le ena količina stanja enega obtežnega primera na določenem območju. Lahko se tiskajo vse količine stanja za poljubne obtežbene primere za vse točke konstrukcije. Program računa na zahtevo tudi primerjalne napetosti (po Misesu) za vse točke konstrukcije za poljuben obtežni primer.

Kadar zahtevamo vse rezultate nekega obtežnega primera, se tisk zaradi obilice rezultatov deli na dva dela - membranski in upogibni del stanja.

Posebne možnosti pri rezultatih nudijo kombinacije obtežnih primerov. Vsaki lupini obtežnih primerov lahko priredimo poljubno število kombinacij. V kombinaciji je vsak izmed prvotnih obtežnih primerov lahko množen s podanim faktorjem, obtežni primeri pa se lahko delijo na stalno obtežbo, na prometno obtežbo in na alternativne grupe.

Tudi tisk rezultatov pri poljubni kombinaciji je lahko raznolik. Za poljubna področja konstrukcije je mogoče tiskati posamezne količine stanja za vsoto vseh stalnih obtežb, med njimi tudi primerjalne napetosti po Misesu, glavne sile in glavne momente. Za celotno kombinacijo pa išče program ekstremne statične količine (maxima in minima) ter pripadajoče količine pri isti postavitvi obtežbe. Pri tem upošteva prometno obtežbo le, kadar prispeva k ekstremu, izmed vsake alternativne grupe pa vzame le tisto obtežbo, ki največ prispeva k ekstremu, če sploh katera deluje neugodno.

Rezultati, ki jih dobimo na ta način so maxima maximorum in je s tem prihranjeno zamudno izvrednotenje vplivnih ploskev. Na most lahko npr, postavimo mnogo kamionov v različne lege, vsakega kot poseben obtežni primer, nato predvidimo vse v isto alternativno grupo. Program bo pri ekstremnih upošteval vedno le tistega, ki deluje najneugodnejše.

Razporeditev količin stanja pri tiskanju kombinacij je poljubna in določena z vhodnimi podatki.

1.13 NUMERIČNA KONTROLA REZULTATOV

Pri računu konstrukcije se lahko izkaže, da je togostna matrika posamezne lupine ali konstrukcije ali pa togostna matrika točkovnih opor in razpor singularna. V tem primeru tiska program posebno opombo, nato pa preide k obdelavi naslednjega problema. Pri posamezni lupini pride do singularnosti, če ji s členki omogočimo "gibanje togega telesa". Singularnost matrike sistema lahko nastopi zaradi nestabilnosti osnovnega sistema, lupin, ali zaradi predolgih dolžin lupin. Singularnost matrike opor lahko nastopi, kadar sta si dve opori preveč podobni (ležita blizu skupaj in imata isti smerni vektor), ali pa, če upoštevamo za izračun opornih sil premalo Fourierjevih členov (glej tudi poglavje 1.3!).

Seveda je treba rezultate elektronske obdelave podatkov kontrolirati. Pregledati je treba, ali so vsi vhodni podatki pravilni, kajti, če smo pozabili neko obtežbo, ali jo podali nekajkrat manjšo, tega programa ne more kontrolirati. Zato je priporočljivo kontrolirati velikostne stopnje rezultatov s približnim računom.

Pri rezultatih programa SHELLS pa je potrebna še ena kontrola. Preveriti je treba, če so izpolnjeni robni pogoji lupin (npr. morata biti momenta M_s dveh lupin, ki se kot edini stikata v enem vozlišču, na mestu stika enaka, če vozlišče ni posebej obremenjeno z momentom. Neizpolnjeni robni pogoji pa kažejo na nepravilnost, ki jo lahko povzročajo predolge lupine, predebele lupine ali kaj drugega.

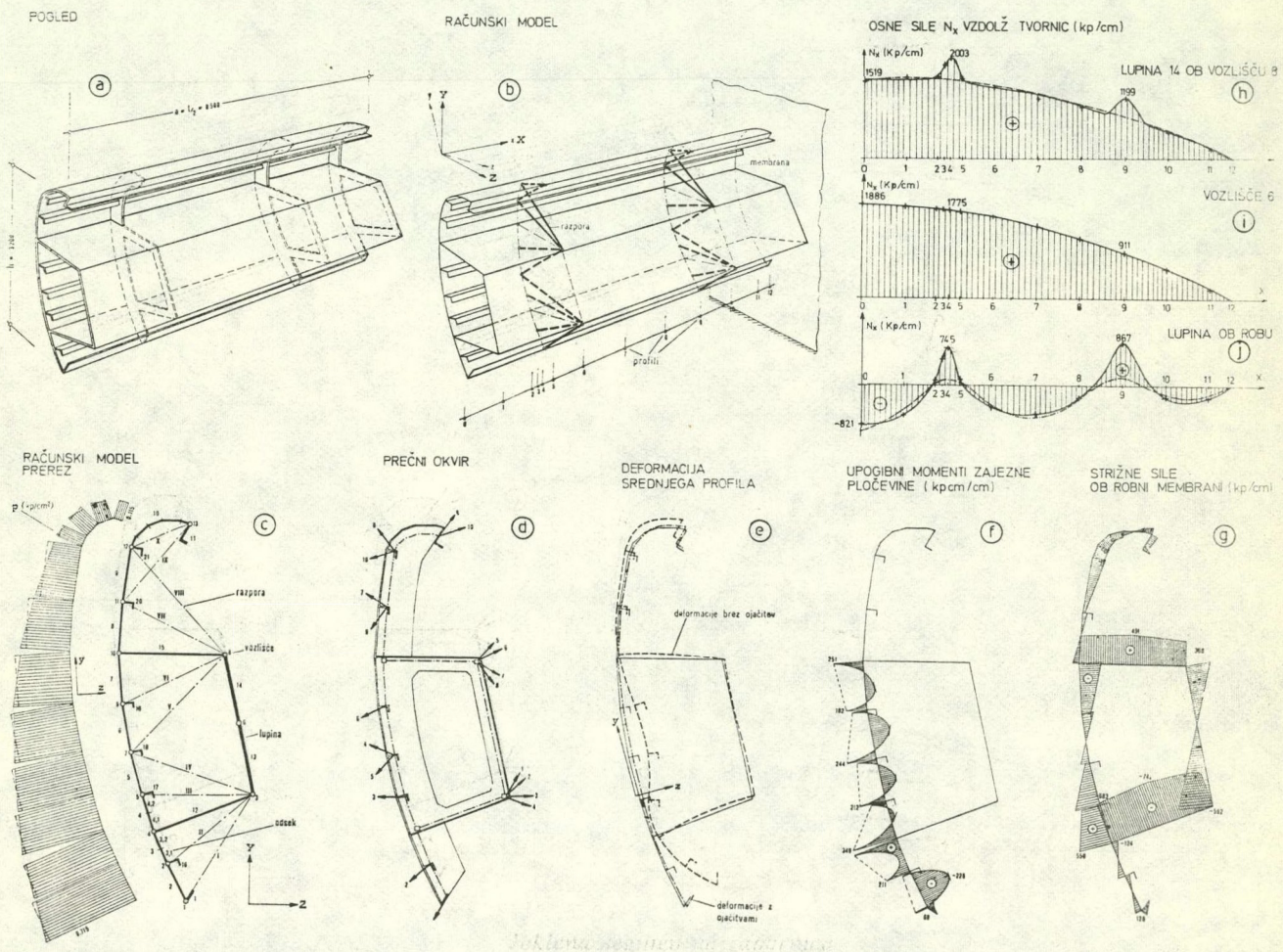
Neizpolnjenost robnih pogojev (skoki v notranjih količinah na stikih lupin) pomeni po drugi stranim da sile in momenti nekontrolirano odhajajo iz konstrukcije, na ta način so te točke nekako podprte in lahko nepravilno "stabilizirajo" prvotno nestabilno lupino. To pomeni, da lahko dobimo rezultate (ki so nepravilni) tudi z nestabilno lupino, če so pri tem tudi posamezne lupine predolge.

V izjemnih primerih pa pri neprizmatičnih lupinah (pri rotacijskih lupinah in izsekih) tudi izpolnjeni robni pogoji še ne zagotavljajo točne rešitve. Flüggejeva teorija lupin, na kateri je program osnovan, ni popolnoma čista in po njej izračunane togostne matrike neprizmatičnih lupin so neznatno nesimetrične. Zato program pri neprizmatičnih lupinah ne upošteva simetričnih matrik in uporablja naveden Gaussov eliminacijski postopek (za pasovne matrike). Na ta način so robni pogoji lahko izpolnjeni tudi pri nekoliko predolgih lupinah. Če so lupine mnogo predolge, so rezultati očitno napačni, pri rahli prekoračitvi pa se napaka zaradi prevelike dolžine ali premajhnega števila Runge-Kutta-korakov lahko skrije. Zato je v programu vgrajena tudi možnost, da rešuje izjemoma tudi neprizmatične lupine na simetrični način. Takrat podamo v polje R 6 na KA 3 (glej poglavje 2.2) enojko (da polje ne ostane prazno). V tem primeru bo pri izpisu tiskano opozorilo, da je treba še enkrat preveriti robne pogoje, račun pa bo izveden simetrično. Če so robni pogoji izpolnjeni, je rešitev pravilna. Stopnja neizpolnjenosti pa pokaže na velikost napake. Ta možnost je vgrajena za izjemno preverjanje in v študijske namene.

Kadar hočemo pri obsežni konstrukciji uporabiti razmeroma dolge lupine, da bi tako prihranili na računskem času, je priporočljivo preizkusiti numerično stabilnost takih lupin na manjšem modelu in to enkrat s celotno in drugič s polovično dolžino lupin. Če lupine niso predolge, se morajo rezultati obeh računov popolnoma ujemati.

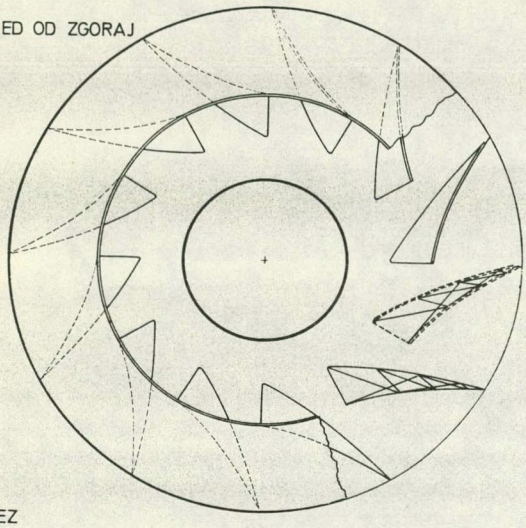
1.14 PRIMERI IZRAČUNANIH KONSTRUKCIJ

Računski primeri v poglavju 1.4 prikazujejo sestav podatkov in nekaj rezultatov. Na tem mestu podajamo samo skice dveh izračunanih primerov iz prakse.

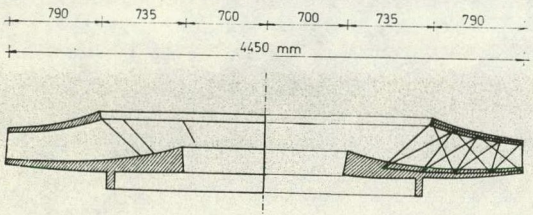


Jeklena segmentna zapornica

POGLED OD ZGORAJ

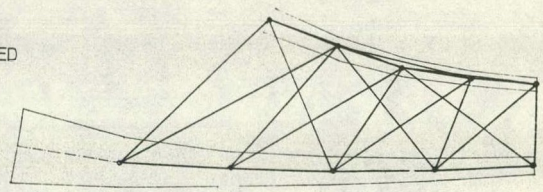


PREREZ

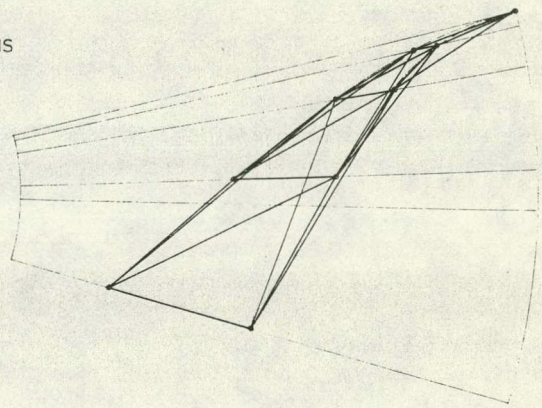


SIMULACIJA LOPATICE S SISTEMOM ELASTIČNIH RAZPOR

POGLED

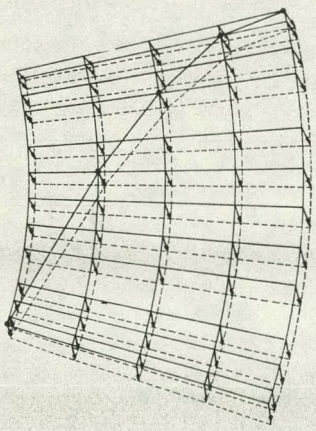


TLORIS

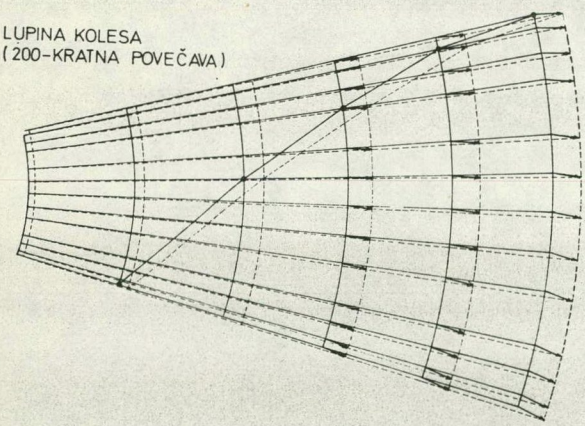


DEFORMACIJE V TLORISU

POKROVNA LUPINA
(20-KRATNA POVEČAVA)

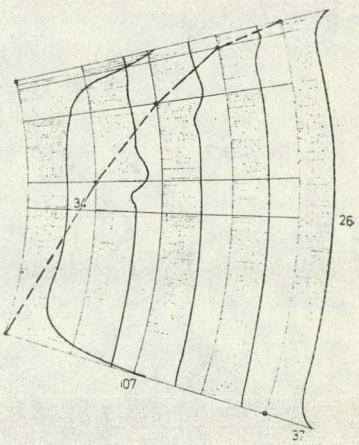


LUPINA KOLESA
(200-KRATNA POVEČAVA)

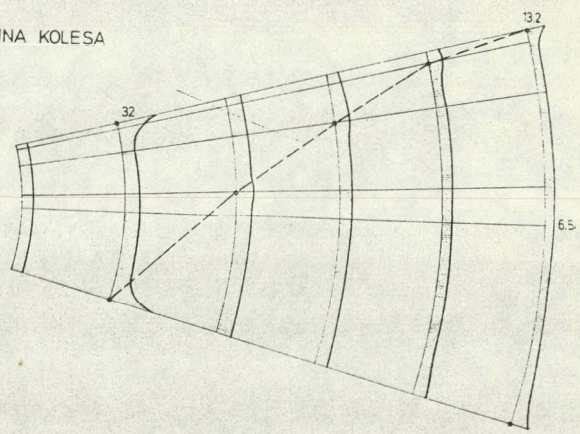


PRIMERJALNE NAPETOSTI SREDIŠČNE PLOSKVE (Kp/mm^2)

POKROVNA LUPINA



LUPINA KOLESA



Kolo kompresorja pod centrifugalnimi silami

2. VHODNI PODATKI ZA SHELLS

2.1 SPLOŠNO

Vse vhodne podatke za program SHELLS vpisujemo v skupen formular, imenovan "STATIK". Naslednja točka opisuje posamezne vrste kartic, točka 2.3 pa podaja kratek pregled vseh različnih kartic z vhodnimi podatki. Uporabnik, ki je skrbno proučil točko 2.2 in se seznanil z vsebino in omejitvami posameznih kartic, ali tisti, ki je program že nekajkrat uporabljal, si bo pri sestavljanju podatkov pomagal največ s pregledom kartic v točki 2.3 in bo segel po točki 2.2 samo izjemoma, kadar bo rabil podrobnejšo informacijo.

Formular "STATIK" je prazen, 80-kolonski formular, razdeljen na posamezna polja (glej točko 2.2). Razen kartic z besedilom (KA 1, KA 2, KA 10 in KA 40) bere program vse podatke z enotnim formatom :

FORMAT (I2, 2x, 6I3, 2I2, 2I3, 6 (F6.3 , I2)).

Zato je 80 kolon vhodnega formularja razdeljenih na naslednja imenovana polja:

Kolone :	Ime	Namen :
1 - 2	KA	Oznaka kartice (celo število)
3 - 4	-	Polje se uporablja samo pri KA1 kot celo število, na drugih karticah ga program ignorira.
5 - 22	I1 do I6	Šest polj po tri kolone za cela števila.
23 - 26	L1 in L2	Dve polji po dve koloni za cela števila.
27 - 32	M1 in M2	Dve polji po tri kolone za cela števila.
33 - 80	R1 do R6	Šest polj po osem kolon za decimalna števila.

Vsako od šestih R-polj se deli dalje na dve trikolonski in eno dvokolonsko območje. Če ne luknjamo decimalne pike, upošteva program, da leži pika med obema trikolonskima področjema. Dvokolonsko območje je rezervirano za morebitni eksponent decimalne potence (od -9 do +99), s katero se množi v prvih dveh področjih podano število. Tako lahko n.pr. število - 0.012 podano na različne načine :

-12 ali -.12 -1 ali -12 -2

itd.

Neizpolnjene kolone se upoštevajo kot ničle. Cela števila morajo biti vpisana v desni kot pripadajočega polja.

2.2 POSAMEZNE VHODNE KARTICE

KA 1 Kartica z besedilom na začetku vsakega novega sistema

Kolona 4 vsebuje navodilo za tiskanje rezultatov v različnih jezikih :

0 ali 1	slovensko
2	nemško
3	angleško
4	francosko

Kolone 5 do 76 - poljubno besedilo, ki se tiska v prvi vrstici na vsaki novi strani izpisa.

Kolone 77 do 80 - številka prve strani izpisa, podana kot celo število v desnem robu. Če ostane polje prazno ali če podamo ničlo,se bo oštevilčenje strani začelo z 1.

KA 2 Besedilo, komentar

Besedilo, podano v kolonah od 5 do 80 se tiska med izpisom kot tekst. Dopustni so vsi znaki. Število kartic KA 2 je poljubno.

Kartice KA 2 podajamo lahko za KA 1 in za KA 10. Če jih podamo na drugih mestih, pokvarimo izgled izpisa.

KA 3 Splošni sistemski podatki

Kartica KA 3 vsebuje splošne podatke, iz katerih je razviden med drugim tudi tip lupine. Če ostane polje R3 prazno, je lupina prizmatična, od podatka v L1 pa je odvisno, ali je to prizmatična lupina (L1 = 0), pravokotna plošča (L1 = 1) ali pravokotna stena (L1 = 2). Pri rotacijski lupini ali njenem izseku mora biti v polju R3 naveden radij vzporednika, po katerem se merijo oddaljenosti med profili in lupinina razpetina. Ali gre pri tem za popolno rotacijsko lupino ali za njen izsek, je razvidno iz podatkov v R1 in R2, kjer podajamo izsekovo polovično razpetino in njegov polovični središčni kot. Pri popolni rotacijski lupini morata ostati polji R1 in R2 prazni. Podatek v L1 kaže pri popolni rotacijski lupini, ali je to lupina (L1 = 0), okrogla plošča (L1 = 1) ali okrogla stena (L1 = 2), pri izsekih pa na analogen način, da je konstrukcija izsek omenjenih lupin. Če je statično stanje popolne rotacijske lupine (ali plošče ali stene) večkrat simetrično, podajamo v I5 število enakih lupininih delov. V tem primeru obdela program le enega izmed njih in upošteva pri tem pravilne robne pogoje ob obeh končnih profilih, to je na stiku s sosednjimi, enakimi deli. Zato se v tem primeru tudi na KA 8 podani profili ne smejo raztezati preko posameznega dela.

Podatki na KA 3 :

I1 Število vozlišč v profilu, kar je hkrati najvišja vozliščna številka, ker vozlišča "nič" ne štejemo (NVOZ $\geq$ 1).

I2 Najvišja številka lupine na vsej konstrukciji. Z "lupino" označujemo konstrukcijin del, ki leži med obema vozliščema ali med enim vozliščem in med podlago (NLUPIN > 0).

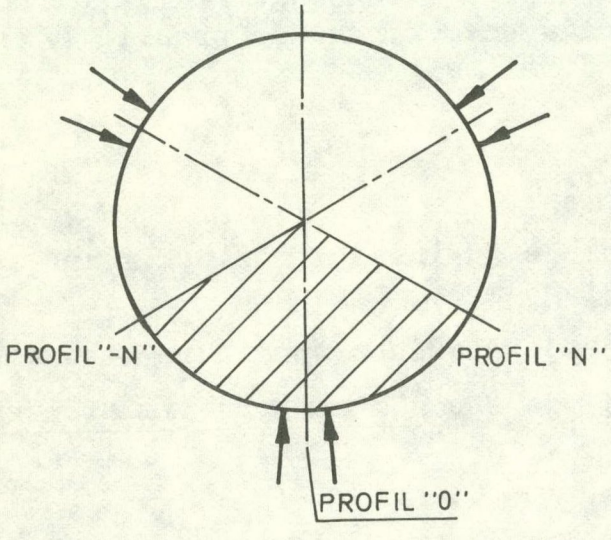
I3 Vsota števil vseh opor, razpor in točkovnih vpetosti. (NOPOR $\geq$ 0).

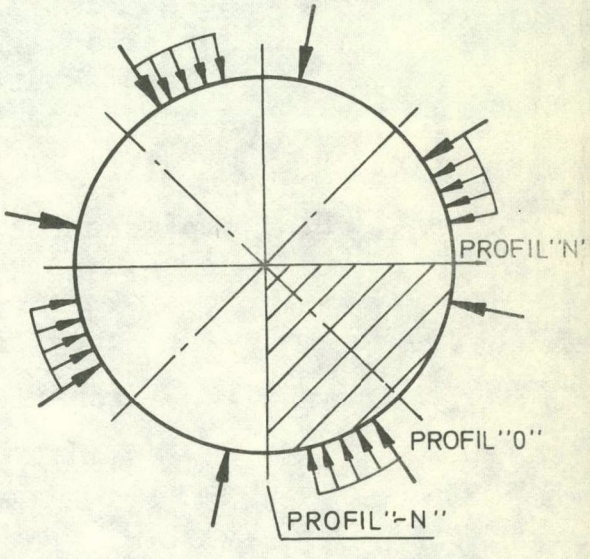
Če podamo v L2 (glej dalje) trditev, da je konstrukcija simetrična, navedemo v I3 le polovično število vseh opor, razpor in vpetosti.

I4 **Najvišja profilova številka (NPROFILOV > 0). Razdalje med profili podajamo na KA 8.**

I5 **Polje izpolnimo le pri popolnih rotacijskih lupinah, katerih stanje izkazuje večkratno simetrijo. Takrat podamo število enakih lupininih izsekov. Srednji profil leži potem na sredini enega dela, tako, da lahko izkazuje en tak del še nadaljnjo lastno simetričnost ali antisimetričnost. V splošnem pa je tak del asimetričen.**

Primer:





I5 = 3 - **trije enaki deli, vsak za sebe je simetričen. Obstaja še en način delitve, da so vsi deli simetrični.**

I5 = 4 - **štirje enaki deli, vsak za sebe je asimetričen. Lega mej med deli je poljubna in jo fiksiramo z opisom obtežb.**

I6 Polje ostane običajno in pri prizmatičnih lupinah vedno prazno. Pri neprizmatičnih lupinah lahko v njem podajamo število Runge-Kutta korakov za numerično integracijo diferencialnih enačb po odsekih. Pri praznem polju privzame program vrednost 4, ki zadošča za običajne odseke. Če podamo število, ki je večje od 20, ga program ne upošteva, da ne bi zaradi pomote porabili preveč računskega časa.

Število korakov velja le za najneugodnejši odsek, to je za tistega, pri katerem je produkt med njegovo dolžino in srednjo vrednostjo njegovih radijev največji. Pri ostalih odsekih se število korakov sorazmerno zmanjša.

Program preverja tudi med obdelavo, ali je število korakov glede na posebne pogoje zadovoljivo. Če ni, se število poveča do take mere, da je korak vedno manjši od 1/15 srednjega odsekovega radija in da prirastek debeline v enem koraku ne preseže 1/15 srednje odsekove debeline.

L1 Tip konstrukcije :

0 - konstrukcija je lupina z membranskim in upogibnim stanjem

1 - konstrukcija je plošča z upogibnim stanjem

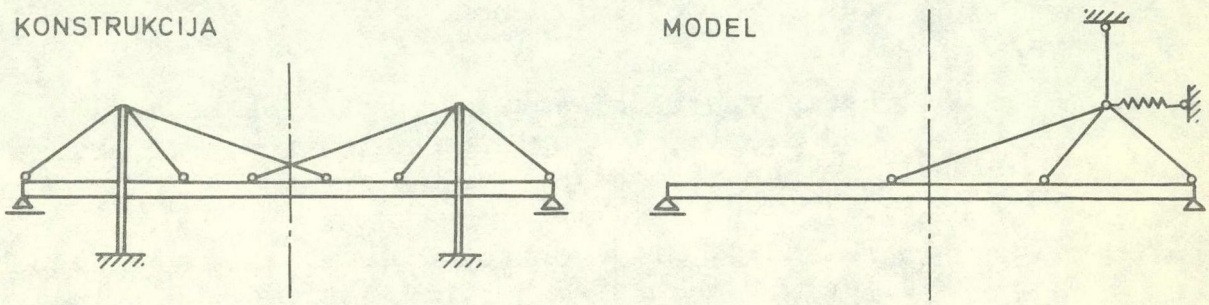
2 - konstrukcija je stena z membranskim stanjem

$(0 \leq ITIP < 3)$

VAŽNO: Pri $L1 \neq 0$ leži konstrukcija (plošča ali stena) vedno v globalni ravnini $Z = 0$. Vsi ostali podatki morajo to upoštevati, nagib mora biti povsod ničen in pri šifrah členkov opiranja so dovoljene samo tiste, ki pripadajo plošči oziroma steni.

L2 Hkratna simetričnost razpor in obtežbe. Polje lahko vsebuje le nič ali enojko. S podano enojko povemo, da je konstrukcija z vsemi točkovnimi robnimi pogoji in obtežbo glede na srednji profil simetrična. V tem primeru moramo in smemo podajati le eno simetrično polovico točkovnih pogojev. Če leži neka razpora, opora ali vpetost v simetrijski ravnini, moramo njeno podajnostno konstanto podvojiti, ker bo program upošteval na tistem mestu dve razpori, opori ali vpetosti. Ob I3≠0, ko je torej podana vsaj ena opora in če v L2 ne podamo enojke, bo program, četudi bo vsa obtežba simetrična, upošteval nesimetričnost in porabil dvojni računski čas.

Primer konstrukcije s simetrično obtežbo



M1 S poljem M1 lahko vplivamo na programovo interno razporeditev podatkov. Polje M1 pustimo običajno prazno, ker je običajna razporeditev podatkov najbolj gospodarna.

Če se izkaže, da je obseg pomnilnika pri velikem številu v isto skupino združenih obtežnih primerov premajhen in da program zato ne obdela primera, lahko račun ponovimo, če vstavimo v polje M1 enojko. V tem primeru bo program uporabljal manj spomina, bo pa porabil precej več IO - časa in račun bo dražji.

M2 Polje mora ostati prazno. Katerokoli podano število povzroči tiskanje vmesnih rezultatov za testiranje programa.

R1 Polovična razpetina "A"

Pri prizmatičnih lupinah podatek ne sme manjkati. Vrednost "A" je razdalja od srednjega profila do robne membrane oziroma polovična oddaljenost obeh robnih membran.

Pri izsekih se meri količina "A" vzdolž profilnega vzporednika (R3) in predstavlja na ta način polovično dolžino tega vzporednika. Pri izsekih lahko namesto podatka v R1 podajamo polovični središčni kot ϑ v R2.

R2 Polovični središčni kot ϑ (kot med srednjim profilom in robno membrano). Polje sme biti izpolnjeno le pri izsekih rotacijskih lupin in tudi pri teh le, če je polje R1 prazno.

R3 Radij vzporednika vzdolž katerega se merijo razdalje med profili in lupinina razpetina. Pri prizmatičnih lupinah mora ostati polje prazno.

Ta radij, ki je običajno eden izmed vozliščnih radijev ali neka srednja,vrednost, mora biti pozitiven.

Če hočemo računati prizmatične lupine z linearno spremenljivo debelino ali na elastični podlagi, jih lahko računamo kot izsek rotacijske lupine z zelo velikim radijem. V tem primeru podamo tudi v R3 zelo veliko vrednost.

R4 Polje ostane prazno.

R5 Polje ostane prazno.

R6 Običajno polje ostane prazno. Če hočemo rotacijske lupine ali izseke računati s simetrično togostno matriko (glej točko 2.1!), podamo v polje R6 neko vrednost (n.pr. 1,0). Pri prizmatičnih lupinah mora ostati polje prazno.

KA 4 Lastnosti materialov

S KA 4 podajamo različne materiale, ki jih poljubno oštevilčimo med 1 in 99.

I1 Številka materiala (0 < IMAT < 100)
R1 Modul elastičnosti
R2 Poissonovo število
R3 Specifična teža
R4 Specifični temperaturni raztezek

Vse vrednosti morajo biti večje od nič !

Program predvideva tudi ortotropne lupine, pri katerih se lastnosti materialov podajajo drugače. Ta del programa je namenjen predvsem raziskovanju in še ni gotov. Zato bodo navodila objavljena kasneje.

KA 5 Opis karakterističnega profila

Profil konstrukcije delimo na lupine, to so elementi, ki se stikujejo v vozliščih in ki lahko vsebujejo več odsekov. Podatki o vsaki lupini se začnejo z lupinsko kartico KA 5, njej pa sledijo kartice KA 5 s podatki o lupininih odsekih. Lupinska kartica ima polje I2 prazno, v odsekovih karticah stoji v tem polju številka odseka. Podatki o lupinah morajo biti razvrščeni tako, da lupinske številke naraščajo, pri tem pa ni nujno, da bi bile lupine oštevilčene brez presledkov. Lupinini odseki morajo biti oštevilčeni zaporedno in njihove kartice morajo biti razvrščene po rastočih številkah.

a) Podatki lupine KA 5

I1 Številka lupine (0 < I1 ≤ NLUPIN)
I2 Prazno
I3 Številka začetnega vozlišča lupine (0 ≤ I3 ≤ NVOZ). Ničla pomeni, da je lupina z začetkom priključena na togo podlago
I4 Številka končnega vozlišča lupine (0 < I4 ≤ NVOZ). Ničla pomeni, da je lupina s koncem priključena na togo podlago

I5 Prazno

I6 Številka neke že opisane lupine, ki je sedaj podajani lupini popolnoma enaka (razen številk vozlišč), enaki morajo biti tudi radiji pri neprizmatičnih lupinah.

Če je polje I6 izpolnjeno, ne smemo podajati za lupino (izvzemši polje M2)nobenih podatkov več. Vse podatke prevzame program od lupine I6. S ponavljanjem lupin prihranimo čas in prostor.

Pri rotacijskih lupinah in izsekih so vse ponovljene lupine avtomatično obremenjene kot originali in jih pozneje ne smemo posebej obremenjevati.

Pri prizmatičnih lupinah enakost lupin ne povzroča avtomatično enakosti obtežbe in je treba to s KA 29 posebej definirati.

L1 in L2 Šifri členkov na začetku (L1) in na koncu lupine (L2).

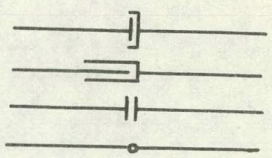
Členke označujejo številke:

1 - členek za strižno silo N_{sx}

2 - členek za osno silo N_s

4 - členek za prečno silo Q_s

10 - členek za moment M_s



Členke kombiniramo s seštevanjem številk. Kadar je na KA3/L1 podano, da je konstrukcija plošča ali stena, moramo uporabljati samo pripadajoče členke. Tako lahko popolnoma sprostimo rob lupine s členkom 17, stenski rob s členkom 3 in ploščnega s členkom 14.

Kadar je lupina na začetku ali koncu priključena na vozlišče "0", to je na togo podlago, je tam tudi polno vpeta. Če naj bi bil rob sproščen, moramo namestiti primerne členke.

Po drugi strani moramo paziti na stabilnost vozlišč. Če neko vozlišče v neki smeri popolnoma sprostimo, tako da ločimo vse pripadajoče lupine od njega s členki, moramo tako vozlišče dodatno togo ali vsaj elastično podpreti.

M1 Število lupininih odsekov (NODS > 0)

M2 Poljubno, v tem polju podano število (n.pr. 1) pomeni, da za to lupino ne potrebujemo rezultatov. Ti rezultati ne bodo računani, s čimer prihranimo računski čas. Normalno je M2 = 0.

R1 Začetni radij prvega odseka lupine, prazno pri prizmatičnih.

R2 Prazno

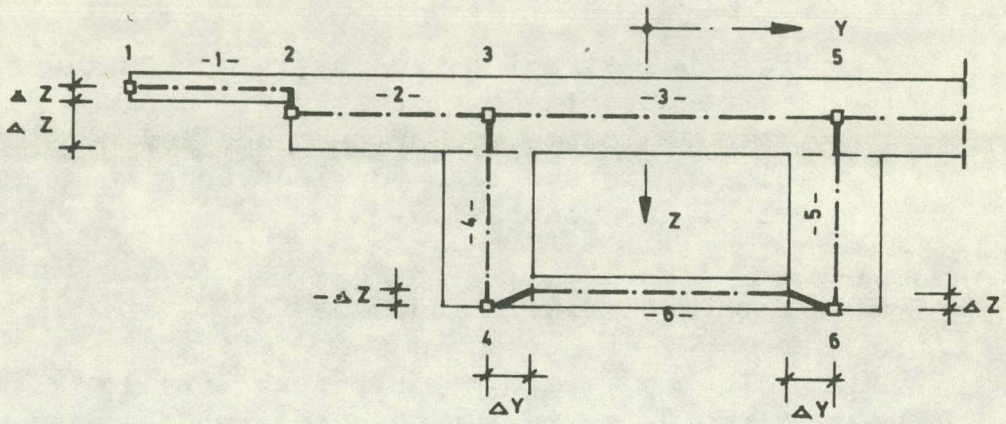
R3 $(\triangle Y)_i$ oz. $(\triangle R)_i$ Ekscentričnost začetka lupine

R4 $(\triangle Z)_i$ Ekscentričnost začetka lupine

R5 $(\triangle Y)_k$ oz. $(\triangle R)_k$ Ekscentričnost konca lupine

R6 $(\triangle Z)_k$ Ekscentričnost konca lupine

Ekscentričnost pomeni ekscentrični priključek lupine na začetno in končno vozlišče. S tem je omogočeno boljše prilagajanje računskega modela dejanski konstrukciji, zlasti pri debelejših lupinah (n.pr. pri mostovih). Vektor ekscentričnosti k_o je vedno v smeri numeriranja, torej začetna ekscentričnost od začetnega vozlišča do začetka lupine (prerez "nič"), končna ekscentričnost pa od konca lupine (zadnji prerez) do končnega vozlišča. Primer :



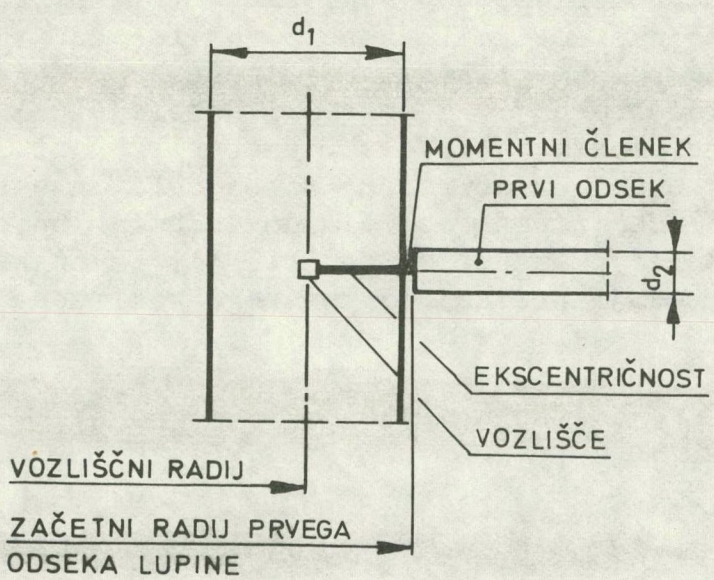
lupina 1 od vozlišča 1 do 2 ima končno ekscentričnost ΔZ

lupina 4 od vozlišča 3 do 4 ima začetno ekscentričnost ΔZ

lupina 6 od vozlišča 4 do 6 ima začetno ekscentričnost ΔY in ΔZ

in končno ekscentričnost ΔY in ΔZ

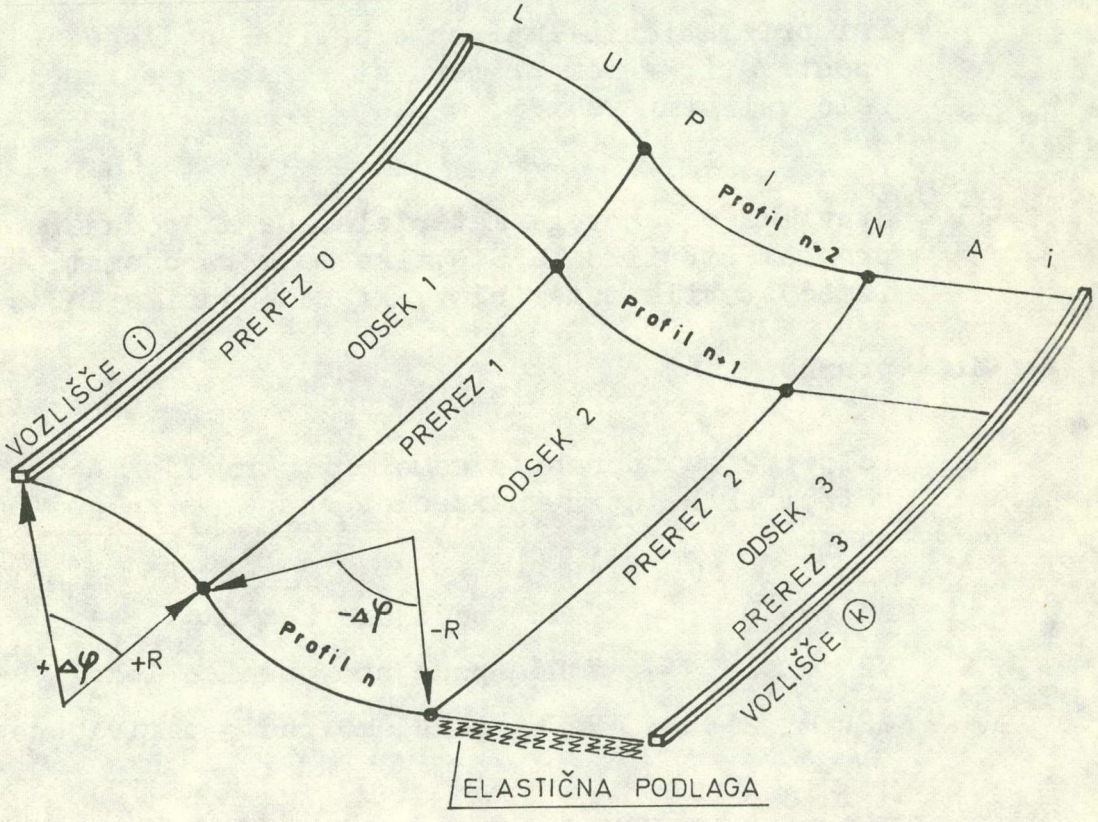
Če namestimo na neki lupini členke in ekscentričnost, potem so členki nameščeni med ekscentričnostjo in med prvim odsekom, torej proč od vozlišča. Na ta način lahko členkasto priključimo n.pr. tanjšo lupino na debelejšo:



Pri podajanju radija v Rl moramo pri ekscentričnosti upoštevati, da je to radij prvega lupininega odseka in ne radij začetnega vozlišča. Ta radija se med seboj razlikujeta za projekcijo ekscentričnosti na vzporedniško ravnino.

b) <u>Odsekova kartica KA 5</u>

Odseki vsake lupine morajo biti oštevilčeni zaporedno od 1 naprej. Kartice morajo biti razporejene po rastočih številkah.



I1 Številka lupine

I2 Številka odseka

I3 Prazno

I4, I5, I6 Konstanta elastične podlage (Bettungsziffer)

Konstanto, ki je pozitivno realno število pišemo izjemoma v I-polja. V polje I4 pišemo vrednosti pred decimalno piko, v I5 vrednosti za decimalno piko, v I6 lahko napišemo morebitni eksponent decimalne potence. Decimalne pike ne pišemo!

Konstanta elastične podlage je sila na enoto ploskve, ki povzroči posedek za dolžinsko enoto (n.pr. Kp/cm^3 ali Mp/m^3).

Pri prizmatičnih lupinah elastične podlage ne moremo upoštevati, v tem primeru si pomagamo z izsekom z zelo velikimi radiji.

L1 Številka odsekovega materiala. Če ni podana, privzame program številko 1. Številka se mora ujemati z eno izmed številk materialov, ki so podani s KA 4.

M1 prazno

M2 Polje M2 se uporablja samo pri ukrivljenih odsekih rotacijskih lupin in izsekov skupaj s poljem R6 in pomeni:

M2 = 0 - V R6 podajamo kot $\Delta\varphi$.

M2 = 1 - V R6 podajamo puščico loka.

M2 = 2 - V R6 podajamo radij ukrivljenosti.

Pri prizmatičnih lupinah ostaja polje prazno.

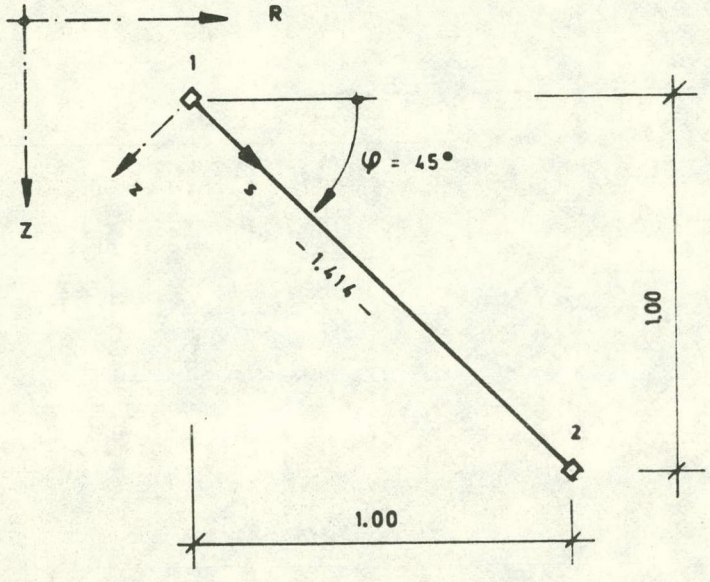
R1
R2
R3 : V polja podajamo vektor smeri, ki povezuje začetek in konec odseka v ravnini srednjega profila. Pri ravnih odsekih je vektor istoveten z odsekovo osjo, pri ukrivljenih odsekih pa s tetivo loka. Vektor lahko podamo ali s komponentama ΔY (ΔR pri neprizmatičnih lupinah) in ΔZ ali pa z njegovo dolžino in nagibom φ. V prvem primeru uporabimo polji R1 in R2, pri čemer imata komponenti lahko poljubna predznaka in polje R3 mora ostati prazno. V drugem primeru uporabimo polji R1 in R3, polje R2 ostane prazno s tem, da mora biti dolžina vektorja pozitivna. Vektor mora imeti v vsakem primeru neko končno dolžino.

R1 Komponenta ΔY oziroma ΔR ali odsekova dolžina

R2 Komponenta ΔZ

R3 Nagib φ v stopinjah $(0 \leq \varphi \leq 360.0)$

Primer:



Ali: $\ell = 1{,}414$ in $\varphi = 45^{\circ}$

ali: $\Delta R = 1{,}0$ in $\Delta Z = 1{,}0$

R4 Debelina lupine na odsekovem začetnem prerezu. Podatek mora biti pozitiven. Pri prizmatičnih lupinah, kjer linearno spremenljiva debelina ni dovoljena, velja ta podatek za debelino po vsem odseku.

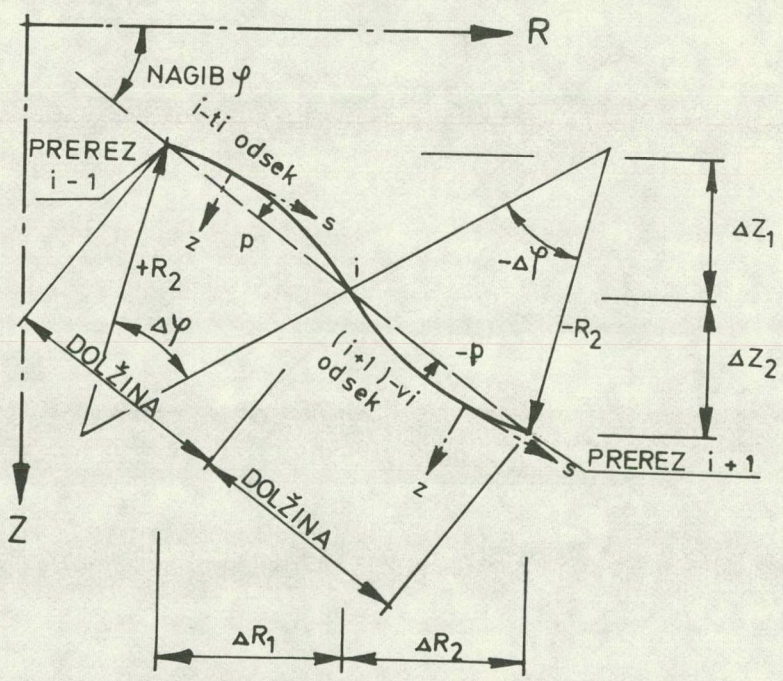
R5 Debelina lupine na odsekovem končnem prerezu. Če je polje prazno, privzema program vrednost R4. Pri prizmatičnih lupinah polja ne smemo izpolniti.

R6 Podatek za krožno ukrivljenost odsekove osi. Podatek je odvisen od podatka M2 in pomeni

$\Delta\varphi$ (v stopinjah)	- če je M2	=	0
puščica loka p	- če je M2	=	1
Radij ukrivljenosti r2	- če je M2	=	2

Pri prizmatičnih lupinah ostane polje prazno, ker pri njih odseki ne smejo biti ukrivljeni.

Podatki $\Delta\varphi$, p in r2 so negativni, če leži središče odsekove krožnice na strani negativne lokalne osi in smejo biti le tako veliki, da absolutna vrednost $\Delta\varphi$ ni večja od 90^0 in da je r2 absolutno večji od polovične odsekove debeline.



KA 6 Podatki o vozliščih

Pri prizmatičnih lupinah opisujemo samo vozlišča, ki izkazujejo neko posebnost, to je tista, ki so ali togo ali elastično podprta ali tista, ki imajo lasten lokalni koordinatni sistem. Pri rotacijskih lupinah in izsekih moramo zaradi navajanja radijev podajati vsa vozlišča.

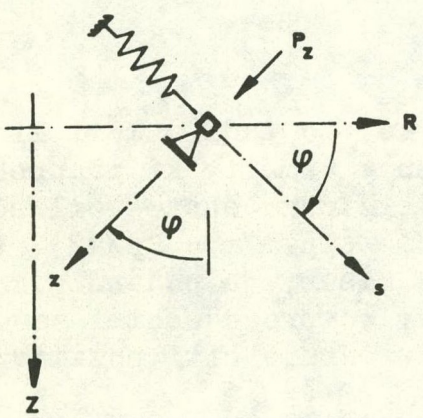
Vozlišče je točka samo v profilu, sicer pa je krivulja in to cela vzporednikova krožnica pri rotacijskih lupinah, izsek vzporednikove krožnice pri izsekih ter premica tvorilka pri prizmatičnih lupinah.

Koordinatni sistem vozlišča običajno sovpada z globalnim koordinatnim sistemom, tako da poteka vozliščna os x vzdolž vozliščne krivulje, osi s in z pa sta vzporedni globalnima osema Y oz. R in Z. Kadar moramo vozlišče poševno togo ali elastično podpreti, mu priredimo lasten koordinatni sistem, ki je za nagib φ zasukan okrog globalne osi x. Nagib vozliščnega koordinatnega sistema, ki ga podajamo v polju R6, pomeni, da ostane vozliščna os x istovetna z globalno osjo x, ostali dve osi (s in z) pa sta od globalnih osi (Y oz. R in Z) zasukani pa kot φ . Vsi nadaljnji vozliščni podatki to je opiranje, vzmetenje in obtežba (na KA 17) se nanašajo na vozliščni lokalni sistem.

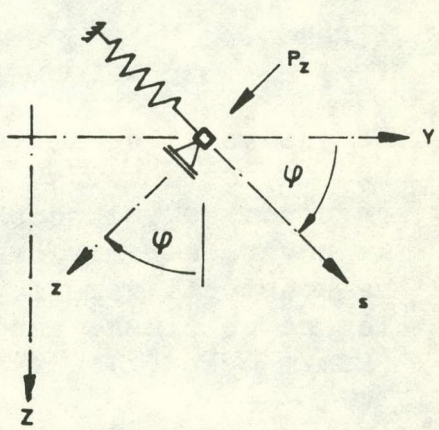
Važno: na vozlišče z lastnim lokalnim sistemom ne smemo priključevati opor in razpor!

Primer: poševno vzmetenje vozlišča proti pomiku v smeri s in podpiranje proti pomiku v smeri z:

rotacijska lupina:



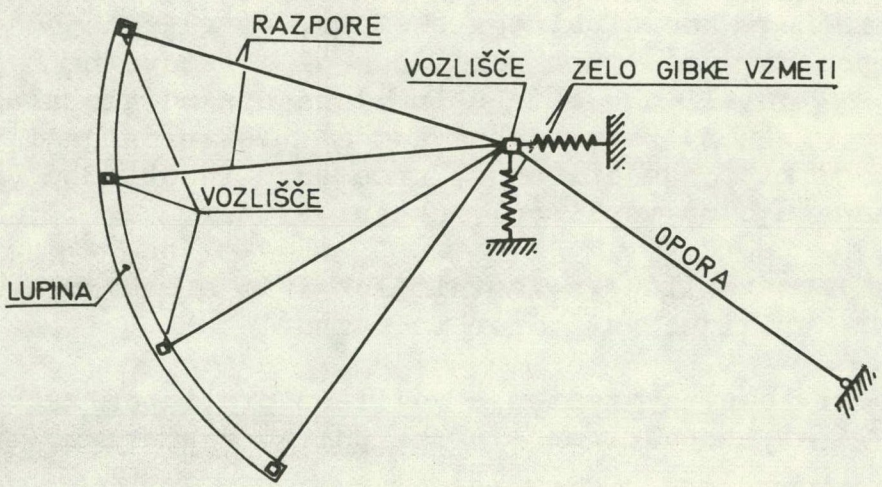
prizmatična lupina:



Vozlišča morajo biti stabilna, to pomeni, za vsako prostostno stopnjo morajo biti ali priključene vsaj na eno lupino ali dodatno elastično ali togo podprta.

Včasih rabimo pri računskem modelu konstrukcije popolnoma prosto vozlišče, ki ni priključeno na nobeno lupino. Tako vozlišče nam na primer lahko določa točko v prostoru, kjer se stika več razpor. Ker je taka točka stabilizirana s samimi razporami, bi bilo vozlišče lahko prosto. Ker mora biti zaradi računskega postopka lupinski del konstrukcije z vsemi vozlišči stabilen, moramo tudi tako vozlišče podpreti, in ker mora ostati gibljivo, ga "podpremo" z zelo gibkimi vzmetmi:

Primer:



Ker je vozlišče krivulja in ne točka, so tudi vzmeti linijske in ne točkovne. Vzmetne konstante vzmeti, ki preprečujejo pomike, so podane s silo na dolžinsko enoto vozlišča, ki povzroča pomik za dolžinsko enoto (kp/m/m = kp/m2). Vzmetna konstanta vzmeti, ki preprečuje zasuk, je podana z momentom na dolžinsko enoto vozlišča, ki povzroča enotni zasuk (kpm/m = kp). Vse vzmetne konstante morajo biti pozitivne.

Vozliščni podatki:

I1 Številka vozlišča ($0 < I1 \leq NVOZ$)

L1 Šifra togega opiranja vozlišča:

1 podprto proti pomiku v smeri x
2 podprto proti pomiku v smeri s
4 podprto proti pomiku v smeri z
10 vpeto proti zasuku okrog osi x

Šifre kombiniramo s seštevanjem številk. Kadar je na KA 3/L1 podano, da je konstrukcija plošča ali stena, smemo uporabljati le pripadajoča opiranja. Tako lahko popolnoma vpnemo lupinsko vozlišče s šifro 17, stensko vozlišče s šifro 3 in ploščno s šifro 14!

Če smo vozlišče v neki smeri podprli in ga istočasno v isti smeri podpremo tudi z vzmetjo, ostane ta brez učinka. Če hočemo vozlišče podpreti elastično, namestimo samo vzmet.

R1 Radij vozliščnega vzporednika (prazno pri prizmatičnih lupinah)

R2 Vzmetna konstanta proti pomiku v smeri x

R3 Vzmetna konstanta proti pomiku v smeri s

R4 Vzmetna konstanta proti pomiku v smeri z

R5 Momentna vzmetna konstanta proti zasuku okrog osi x

R6 Nagib φ vozlišču lastnega koordinatnega sistema. Podatek je v stopinjah.

KA 7 Razpore, opore in točkovna vpetja

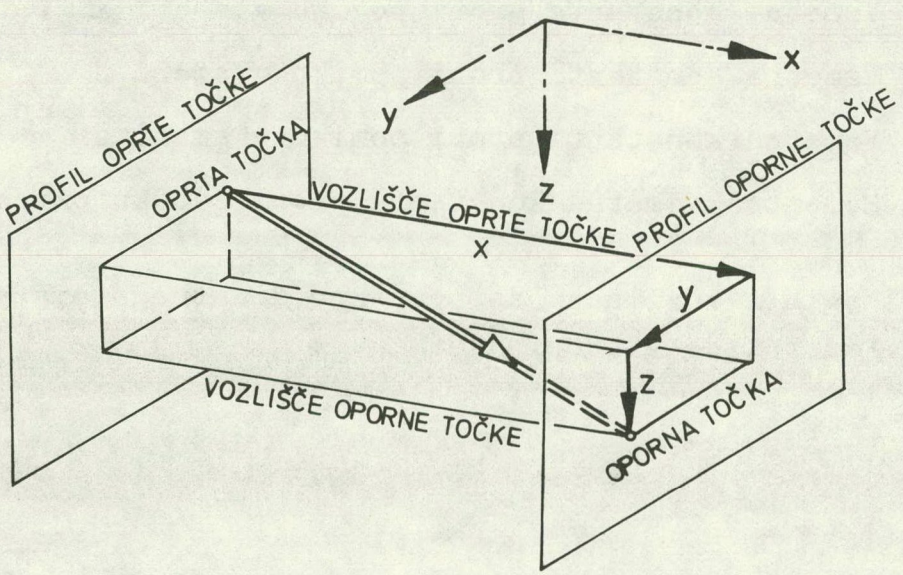
S KA 7 opisujemo vse tri v naslovu naštete točkovne robne pogoje.

Razpora je toga ali elastična palica, ki povezuje dve lupinini točki. Vsaka od obeh točk mora ležati na nekem vozlišču in na profilu, tako, da je njena lega določena. Eno (katerokoli) izmed obeh točk imenujemo oprta točka, preostalo pa oporna točka. Smerni vektor razpore poteka od oprte proti oporni točki (in ne obratno!). Elastičnost razpore podajamo s podajnostno konstanto, ki je enaka skrčku razpore pod enotno tlačno silo. Toga razpora ima nično podajnost.

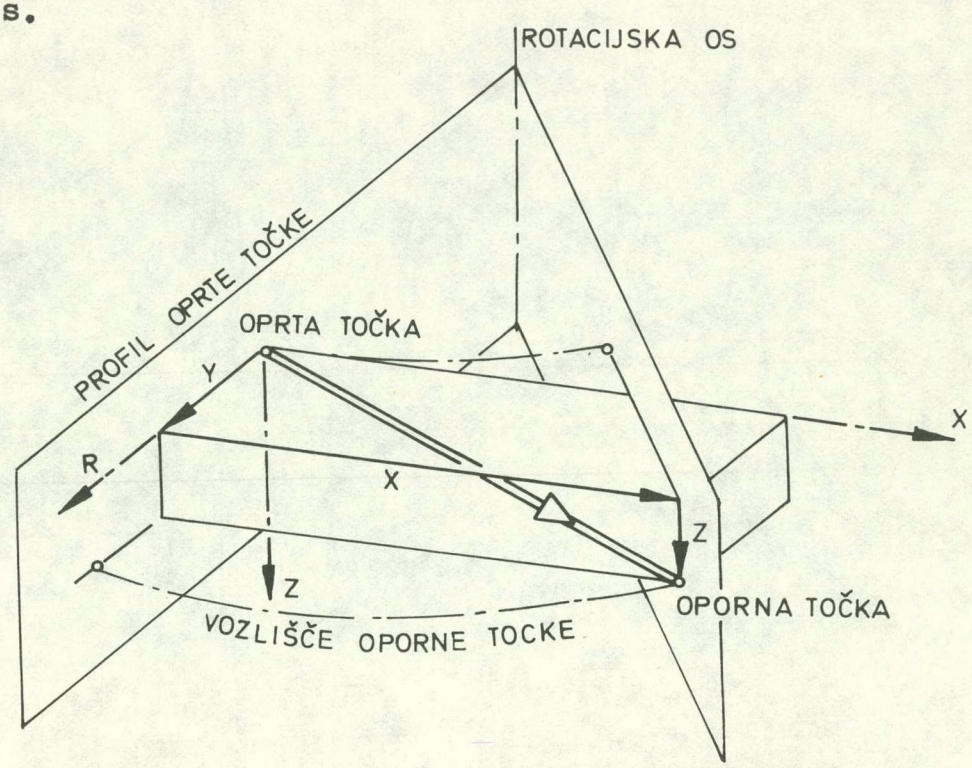
Opora ima iste lastnosti kot razpora z edino razliko, da leži njena oporna točka na togi podlagi in ne na lupini. Program loči med oporo in razporo po podatkih o oporni točki, ki jih pri opori ne podajamo.

Prostorsko smer in dolžino podajamo pri opori s smernim vektorjem. V programu so bile sprva predvidene samo opore. Pri poznejši razširitvi programa na razpore je bilo težko spreminjati sistem vhodnih podatkov, zato se smerni vektor zahteva tudi pri razporah, čeprav so le-te določene že z obema točkama.

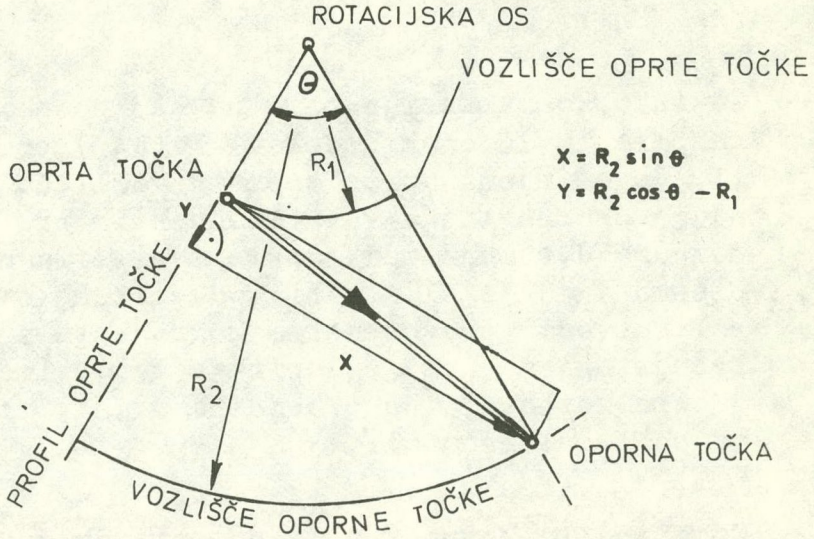
Smerni vektor se pri prizmatičnih lupinah podaja s komponentami razpore v globalnem koordinatnem sistemu X, Y in Z.



Pri rotacijskih lupinah in izsekih se podaja vektor v lokalnem sistemu oprte točke, zato je njegova komponenta x projekcija razpore na vzporednikovo tangento v oprti točki, njegova komponenta y je projekcija razpore na radij skozi oprto točko, komponenta z je projekcija razpore na rotacijsko os.

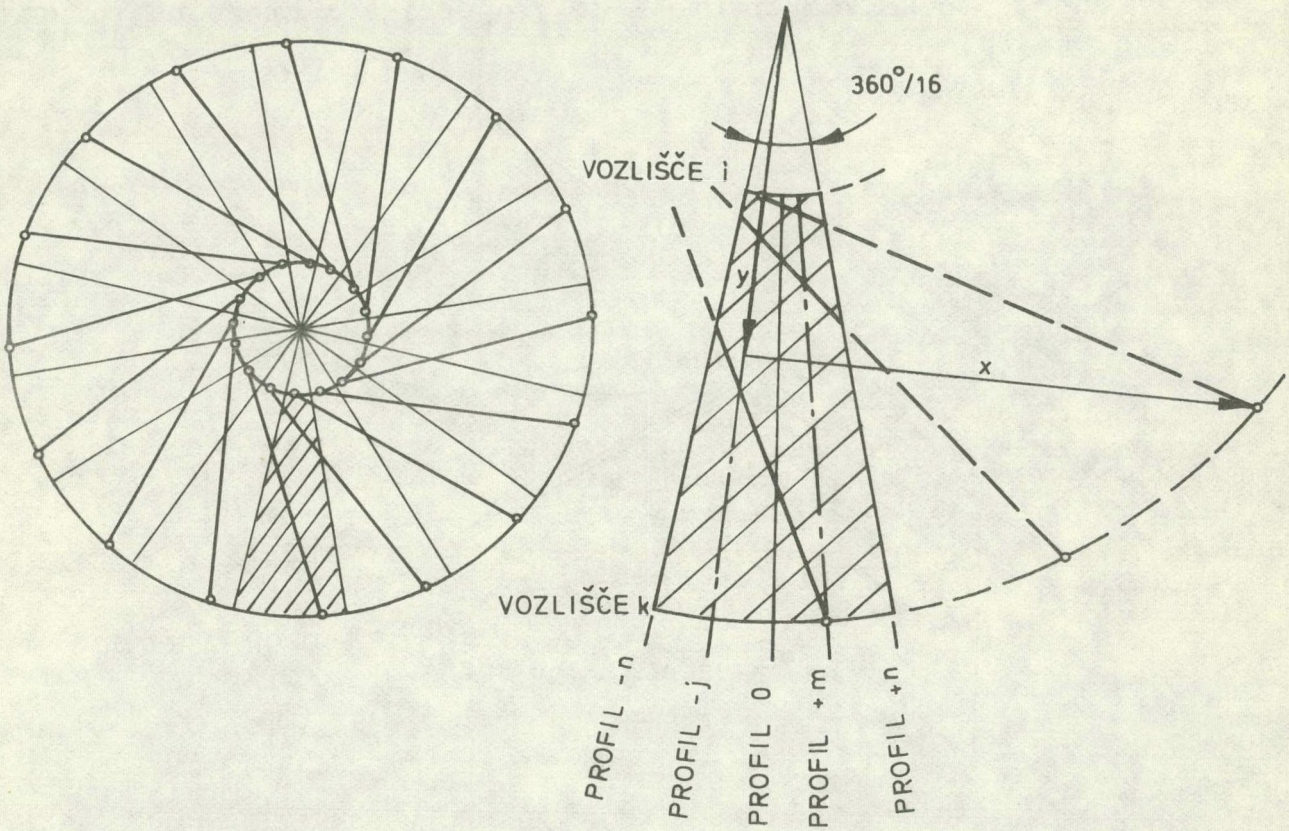


Tloris:



Pri rotacijskih lupinah in izsekih je izračun komponent x in y zamuden, zato je vgrajena možnost, da jih program izračuna iz lege obeh točk. Če izpustimo pri podatkih obe vrednosti x in y, ju bo program izračunal sam. To je mogoče samo pri razporah in samo pri neprizmatičnih lupinah. Komponenta z mora biti vedno podana.

Pri rotacijski lupini z večkratno simetrijo (glej KA 3/I5) lahko posamezne razpore prehajajo iz dela, ki ga računamo, na sosednja enaka področja. Skica prikazuje lupino, katere stanje izkazuje pri simetrični obtežbi 16 enakih delov. Če si ogledamo posamezen del, vidimo, da se v vsakem delu ena razpora začne, ena konča, ena ga pa prehaja:



Za tako konstrukcijo bomo na KA3 podali, da ima eno samo razporo in 16 enakih delov. Na KA 7 bomo za razporo navedli, da je njena oprta točka v vozlišču i in profilu -j, njena oporna točka v vozlišču k in profilu +m in da preide razpora dve meji med enakimi deli. Ta zadnji podatek napišemo v polje Ml. Če bi podajali še smerni vektor, bi morali navesti pravo smer s komponentama x in y, kot jih prikazuje skica. Ker je lupina v tem primeru rotacijska in ker gre za razporo, lahko podatka x in y izpustimo in program ju bo sam izračunal.

<u>Momentno točkovno vpetje</u> pomeni, da je točka, ki jo podamo s številko vozlišča in profila, togo ali elastično vpeta proti zasuku okrog osi x, to je okrog vozliščne linije. Za razloček od opor in razpor vpišemo pri vpetju v polje I4 enojko. Ker je vpenjanje mogoče le v eni smeri, odpadejo podatki o oporni točki in o smernem vektorju. Če je vpetje elastično, podamo njegovo podajnost, to je zasuk, ki ga povzroči enoten moment, v polje R4.

Podatki na KA 7 :

I1 Zaporedna številka točkovnega robnega pogoja (= številka razpore, opore ali vpetja, $0 < I1 \leq NOPOR$)

I2 Številka vozlišča, na katerem leži oprta ali vpeta točka

I3 Številka profila oprte ali vpete točke (lahko je tudi negativna)

I4 1 pri vpetju, prazno pri opori ali razpori

I5 Številka vozlišča, na katerem leži oporna točka (samo pri razporah)

I6 Številka profila oporne točke (samo pri razporah). Lahko je tudi negativna

M1 Število prekoračenih mej med enakimi deli pri večkratni simetriji. Število je lahko negativno, če prehaja razpora meje v smeri negativnih profilov. Po absolutni vrednosti mora biti to število seveda vedno manjše od podatka v KA 3/I5.

R1 X - komponenta smernega vektorja

R2 Y - komponenta smernega vektorja

R3 Z - komponenta smernega vektorja

R4 Podajnostna konstanta razpore, opore ali vpetja Konstanta ne sme biti negativna in pomeni dolžino, za katero se skrči opora pod enotno tlačno silo ali zasuk, za katerega se zasuče vpeta točka pod enotnim momentom.

KA 8 Razporeditev profilov

Profili so namenjeni orientaciji vzdolž X-osi to je vzdolž cirkularne smeri pri rotacijskih lupinah ter njih izsekih in vzdolž tvorilke pri prizmatičnih lupinah. Presečišča profilnih ravnin z vozlišči in prerezi, ki so črte, tvorijo mrežo enolično določenih točk na lupini, kjer se podajajo in tiskajo vse statične veličine. Profilne ravnine sovpadajo pri rotacijskih lupinah in izsekih z meridianskimi ravninami in so pravokotne na vzporednike, pri prizmatičnih lupinah pa so pravokotne na tvorilke. Srednji profil s številko "0" leži pri prizmatičnih lupinah in izsekih simetrično med obema robnima membranama, pri rotacijskih lupinah pa je njegova lega poljubna, vendar naj bo po možnosti taka, da je statično stanje konstrukcije glede na srednji profil simetrično ali antisimetrično. Pri rotacijskih lupinah z večkratno simetrijo leži profil "0" na sredi med dvema sosednjima mejama.

Profili so po lupini nameščeni simetrično glede na srednji profil in zaporedno oštevilčeni tako, da njihove številke naraščajo z oddaljevanjem od srednjega profila. Profili na negativni strani X-osi imajo negativne številke, ki naraščajo v negativni smeri in so simetrične pozitivnim. Vsi profili morajo biti podani v območju razpetine, pri večkrat simetričnih rotacijskih lupinah (glej KA 3/15) pa na območju enega simetričnega dela. Zadnji profil mora ležati na koncu razpetine, dovoljena toleranca je 1%.

I1 Profilova številka (na prvi KA 8 mora biti enojka)

L2 Število ponovitev enakega koraka. S tem je podano, da ima naslednjih L2 profilov enako medsebojno razdaljo. Številka naslednjega podanega profila mora biti enaka I1 + L2 + 1.

R1 Dolžina profilovega koraka, to je oddaljenost profila I1 od profila I1-1. Pri rotacijskih lupinah in izsekih se meri ta oddaljenost po loku vzporednika, katerega radij smo podali na KA 3/R3. Pri teh lupinah lahko namesto oddaljenosti podamo prirastek središčnega kota v R2. Podatek mora biti pozitiven.

R2 Prirastek središčnega kota ϑ od profila I1-1 do profila I1. Podatek je dovoljen samo pri rotacijskih lupinah in izsekih in to le takrat, kadar je polje R1 prazno. Podatek mora biti pozitiven.

KA 10 Začetna kartica vsake nove skupine obtežnih primerov

S prvo KA 10 za podatki o sistemu so le-ti zaključeni, po njej ne sme nastopati pri istem sistemu nobena KA < 10.

V KA 10 lahko napišemo od kolone 5 naprej poljubno besedilo, ki se tiska v drugi vrstici glave na vsaki strani rezultatov za podano obtežno skupino.

Po KA 10 lahko podajamo poljubno število kartic KA 2 s poljubnim spremnim besedilom. Le-to se tiska neposredno pred podatki o skupini obtežnih primerov.

Obtežbo združujemo v obtežne primere, ki zajemajo vse istočasno nastopajoče obremenitve, to je tiste, za katere zahtevamo le skupne rezultate in ne posameznih.

Različne obtežne primere združimo v skupine obtežnih primerov. Glede na krajši računski čas je smotrno združiti v isto skupino čimveč obtežnih primerov in, če je le mogoče, naj nastopajo vsi obtežni primeri v isti skupini. Ker se računajo togostne matrike za vsako skupino ponovno, je razdelitev na več skupin dražja. Obtežne primere, ki nastopajo v isti obtežni skupini lahko med seboj kombiniramo (glej KA 40 in naprej), seštevamo in iščemo ekstremne vrednosti. Vsi obtežni primeri iste skupine se računajo z istimi Fourierjevimi členi.

V več skupin razdelimo obtežne primere takrat, kadar hočemo pri različnih skupinah upoštevati različne Fourierjeve člene in takrat, kadar je obseg pomnilnika za veliko skupino obtežnih primerov premajhen.

Računski čas je linearno odvisen od števila Fourierjevih členov. Vzemimo za enoto računski čas, ki ga porabi računalnik za obdelavo skupine, v kateri je en sam obtežni primer in za en sam Fourierjev člen. Izkazalo se je, da poveča vsak dodatni obtežni primer skupinski računski čas za približno 10%. Če združimo torej dva obtežna primera v isto skupino, porabimo 1,1 enote, če pa sta vsak v svoji

skupini, pa dve enoti. Naslednji primer pa pokaže, da to združevanje včasih, kadar so potrebna različna števila Fourierjevih členov, ni več smotrno. Če sta dva obtežna primera rotacijsko simetrična in zahtevata le ničelni Fourierjev člen in če zahteva tretji obtežni primer 20 Fourierjevih členov, potem izgleda poraba računskega časa takole:

Če združimo vse tri primere v eno skupino, bomo porabili za 20 členov 20 x (1,0 + 2 x 0,1) = 24 enot, če pa računamo prva dva primera v eni skupini, tretjega pa posebej, bomo porabili 1 x (1,0 + 0,1) + 20 x 1,0 = 21,1 enote. Račun z dvema skupinama je v tem primeru cenejši.

KA 11 Splošna obtežba, ki velja za vse lupine

Obtežba, ki jo podajamo s karticami KA 11, velja za vse lupine, tudi za tiste, ki sicer niso obremenjene. Vrsto obtežbe določamo s podatkom v I1, številko obtežnega primera, h kateremu prištevamo podano obtežbo, podajamo v L1, velikost obtežbe in ostale podatke pa v polji R1 in R2.

VAŽNO! Pri isti skupini obtežnih primerov lahko nastopa vedno le ena istovrstna kartica KA11. Tako n.pr. ne moremo podajati dveh različnih konstantnih pritiskov (KA 11, I1 = 3) k dvema različnima obtežnima primeroma iste skupine. To pomanjkljivost lahko premostimo s kombinacijami, kjer lahko seštevamo posamezne, s poljubnimi faktorji pomnožene obtežne primere. Izjema pri tem pravilu je lastna teža, pri njej sta dovoljeni dve kartici KA 11, I1 = 1.

a) Lastna teža

I1 1

L1 Številka obtežnega primera.

R1 Faktor, s katerim se množi vpliv lastne teže. Če faktorja ne podamo, privzame program vrednost 1,0.

R2 Nagib φ lokalnega koordinatnega sistema, v katerem deluje lastna teža v smeri osi Z.

Kadar je $\varphi = 0^{\circ}$, deluje lastna teža v smeri globalne osi Z, sicer pa je smer njenega delovanja zasukana od globalne osi Z za kot φ tako, da leži še vedno v ravnini srednjega profila. Pri $\varphi = -90^{\circ}$ deluje lastna teža pri prizmatičnih lupinah v smeri globalne osi Y, pri rotacijskih lupinah in izsekih pa v smeri radija, ki leži v ravnini srednjega profila.

Z vodoravnim delovanjem lastne teže lahko simuliramo potresne obremenitve. Pri rotacijskih lupinah je v tem primeru zbrana vsa obtežba v Fourierjevem členu n = 1.

Kadar računamo samo ploščo ali steno, ne smemo podajati kota φ. Pri steni deluje lastna teža v ravnini stene, to je v ravnini Z = 0.

V isti skupini obtežnih primerov lahko nastopata istočasno dve različni kartici za lastno težo in omogočata istočasno kombinacijo lastne teže v dveh različnih smereh (n.pr. lastna teža + potres).

b) Centrifugalne sile

I1 2

L1 Številka obtežnega primera

R1 Število vrtljajev na minuto (celotna konstrukcija rotira okrog rotacijske osi, pri centrifugalnih silah se upošteva masa lupin).

R2 Pospešek prostega pada g, podan v uporabljenem dimenzijskem sistemu. Program izračuna specifično maso lupin tako, da deli specifično težo s pospeškom g.

Obtežbo s centrifugalnimi silami lahko podajamo samo pri rotacijskih lupinah in izsekih.

c) Konstanten pritisk

I1 3

L1 Številka obtežnega primera

R1 p = konstanten pritisk, ki deluje na vse lupine v smeri pozitivne lokalne osi Z.

Konstantnega pritiska ne smemo podajati, kadar računamo steno.

d) Enakomerna temperaturna sprememba

I1 4

L1 Številka obtežnega primera

R1 T = temperatura konstrukcije v stopinjah Celzija, medtem, ko je okoliška temperatura 0°.

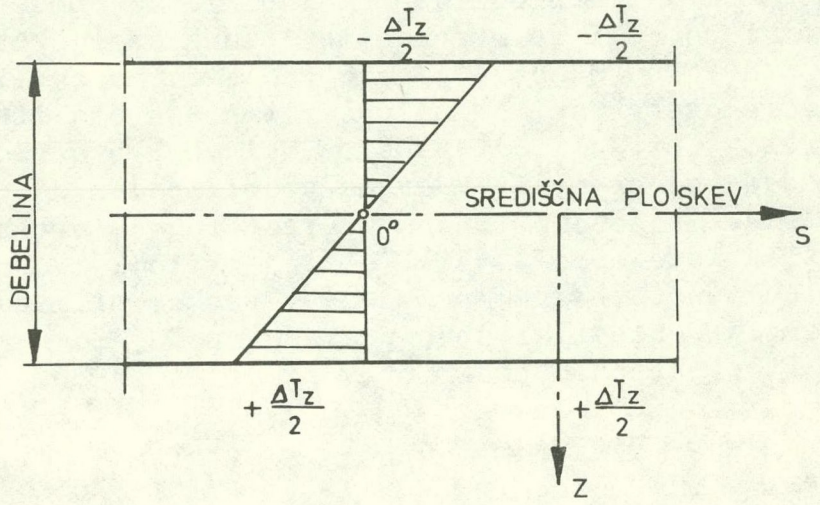
Konstantne temperature ne smemo podajati, kadar računamo ploščo. Konstantna temperatura ne zajame istočasnega podaljšanja razpor in opor. Če tega podaljšanja ne podamo k istemu obtežnemu primeru s kartico KA 11, I1 = 6, se razpore ne deformirajo in povzročijo dodatne sile v lupinah.

e) Temperaturni gradient na vseh lupinah

Il 5

Ll Številka obtežnega primera.

Rl ΔT_z = razlika temperature med pozitivno in negativno površino lupine, gledano v smeri lokalne osi z.



Temperaturnega gradienta ne smemo podajati, kadar računamo steno.

f) Specifični raztezek vseh razpor in opor

Il 6

Ll Številka obtežnega primera.

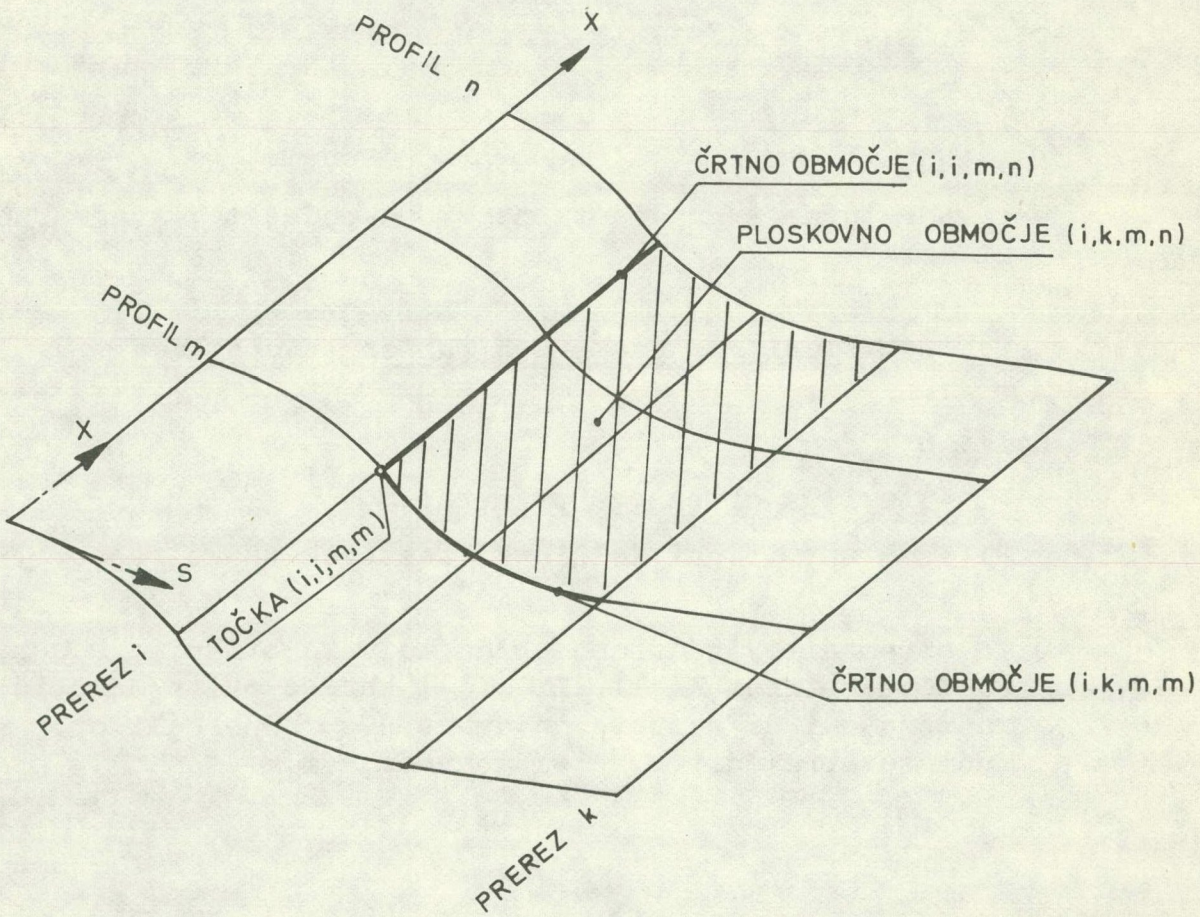
Rl ε = specifični dolžinski raztezek vsake razpore.

To obremenitev podajamo običajno v kombinaciji s konstantno temperaturo (KA 11, Il = 4), ker se pri njej običajno raztezajo tudi razpore in opore. Če razpor ali opor ni, tudi te obremenitve ne smemo podajati.

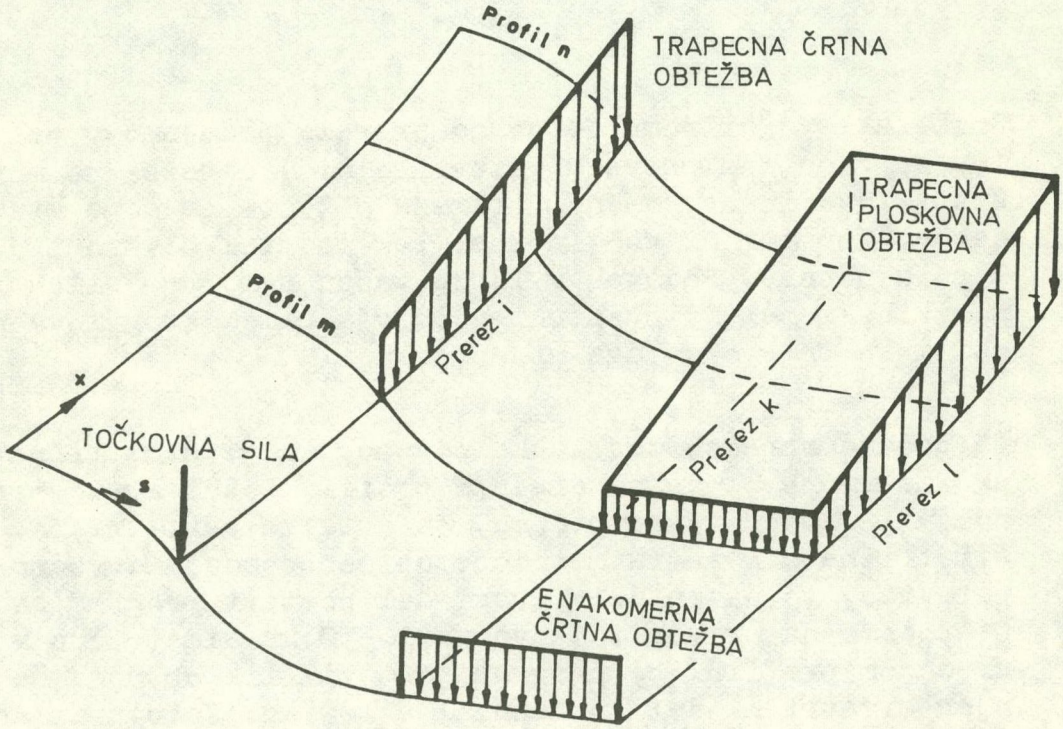
KA 12 do KA 16 Obtežba lupin

S karticami KA 12 do 16 podajamo ploskovne, črtne in točkovne obremenitve lupin s silami (KA 12), momenti m_s (KA 13), pomiki (KA 14), zasuki φ_s (KA 15) in temperaturo (KA 16). Ker se izpolnjujejo polja od I1 do L2 na vseh karticah na enak način, bo ta najprej razložen.

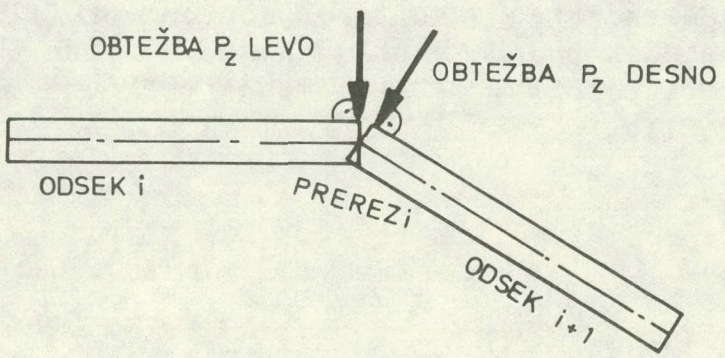
Z eno kartico podajamo obtežbo za neko območje ene lupine in za en obtežni primer. Številko obtežene lupine vpišemo v polje I1. Obtežimo lahko poljubno območje med dvema prerezoma in dvema profiloma na lupini. Od opisanega območja je odvisno, ali je obremenitev ploskovna, črtna ali točkovna. Ploskovno območje je omejeno z dvema različnima prerezoma in dvema različnima profiloma. Če sta številki obeh prerezov isti ali če sta številki obeh profilov isti, sta območje in obremenitev črtna vzdolž podanega prereza ali profila. Če podamo za oba prereza isto številko in za oba profila isto, smo skrčili območje v točko in obremenitev je točkovna. Program privzame v vsakem primeru pravilne dimenzije. Številki obeh prerezov podajamo v polji I2 in I3, številki obeh profilov v polji I4 in I5.



Vzdolž lokalne osi x, to je med obema podanima profiloma je obremenitev lahko konstantna ali trapecna ali tudi trikotna, če je ena izmed trapecovih ordinat zelo majhna. Vzdolž osi s mora biti obtežba po vsem podanem območju konstantna. Če se njena jakost ob prerezu skokoma spremeni, moramo za naslednji odsek prirediti novo območje z novo kartico. Jakost obtežbe ob začetnem profilu območja (polje I4) podajamo v polja R1 do R3. Če je obtežba trapecna, če so torej jakosti ob končnem profilu (polje I5) drugačne, jih podamo v polja R4 do R6. Teh polj seveda ne smemo izpolniti, če je območje točkovno ali črtno vzdolž profila.



Kadar podajamo črtno obremenitev vzdolž nekega prereza ali točkovno obremenitev, moramo povedati, ali stoji obremenitev ob prerezu levo, to je na koncu odseka z nižjo številko, ali desno, to je na začetku odseka z višjo številko. Podatek je važen takrat, kadar imata oba odseka različen lokalni koordinatni sistem, kar lahko vpliva na usmerjenost podane obtežbe.



Znak za levo oziroma desno od prereza podajamo v polje I6. Na začetnem prerezu (številka nič) obtežba ne more stati levo in na končnem prerezu obtežba ne more stati desno, ker tam ni več lupine. Tak podatek povzroči javljanje napake. Podatek v I6 je važen samo pri silah in pomikih, momenti in zasuki delujejo samo okrog lokalne osi x in ta svoje lege ne spreminja.

Za podano obremenitev lahko povemo, da je simetrična ali nesimetrična glede na srednji profil. Podatek stoji v polju L2 in če ga ne podamo, je obtežba asimetrična. Od simetrične ali antisimetrične obtežbe podajamo vedno le polovico, to je en del, drugi del postavi program sam. Če podamo na primer točkovno silo 50 kp simetrično v srednjem profilu, bo program postavil tik ob njej še njen simetrični del in računal s 100 kp. Zato podajamo take sile simetrično s polovično vrednostjo ali asimetrično s celo vrednostjo. Ker porabi program za račun samo simetričnega ali samo antisimetričnega stanja le polovico računskega časa, je stremeti za tem, da je po možnosti vsa obremenitev sistema istovrstna. Seveda pokvari sliko že ena sama drugovrstna obtežba.

Skupni podatki na KA-12 do KA-16 so:

I1 Številka obtežene lupine

I2 Številka začetnega prereza obteženega območja (začetni prerez vsake lupine ima številko nič, nato so prerezi zaporedno oštevilčeni).

I3 Številka končnega prereza območja

I4 Številka začetnega profila območja (-NPROFIL $\leq$ I4 $\leq$ NPROFIL)

I5 Številka končnega profila območja (I4 $\leq$ 15 $\leq$ NPROFIL)

I6 0 ali 1 = točkovna ali črtna obremenitev je levo od prereza

2 = obremenitev je desno od prereza.

Polje izpolnimo le, če sta prereza I2 in I3 enaka.

L1 Številka obtežnega primera, h kateremu spada obremenitev

L2 0 = obremenitev je asimetrična

1 = obremenitev je simetrična

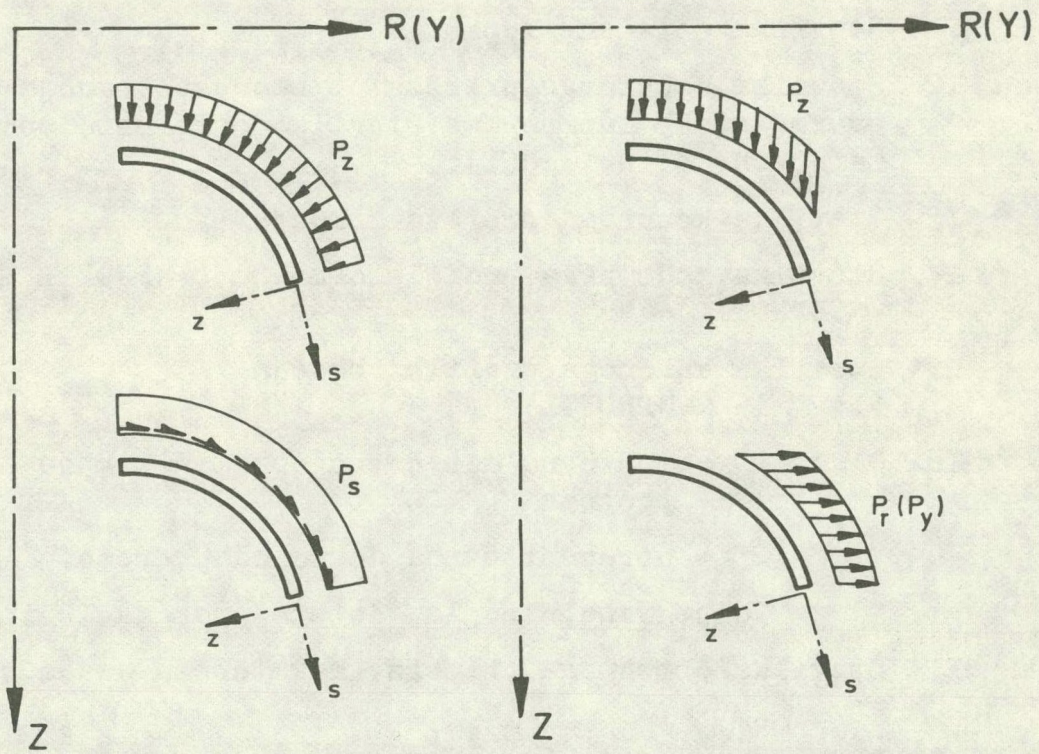
2 = obremenitev je antisimetrična.

Preostali podatki na KA-12 do KA-16 se razlikujejo:

a) KA 12 - Sile

Izjemoma lahko delujejo sile razen v odsekovem lokalnem sistemu tudi v globalnem sistemu konstrukcije.

Lokalno: Globalno:



Obtežba v smeri x ima v obeh sistemih isto smer. Ploskovna in črtna obtežba je podana vedno na enoto ploskve oziroma črte in ne na enoto projekcije.

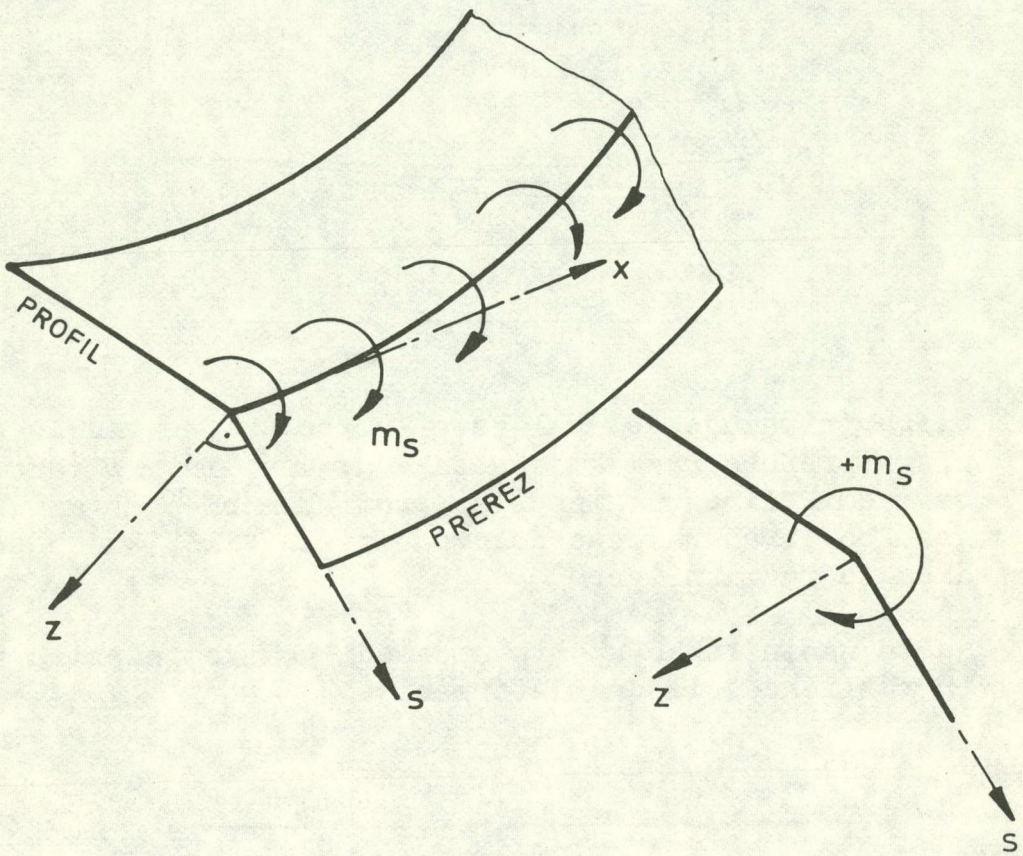
M1 0 = sile so podane v lokalnem sistemu
1 = sile so podane v globalnem sistemu.

R1 p_x
R2 p_s (ali globalno p_y oz. p_r)
R3 p_z (lokalno ali globalno)
} na profilu I_4

R4 p_x
R5 p_s (ali globalno p_y oz. p_r)
R6 p_z (lokalno ali globalno)
} na profilu I5, če je trapecna

b) KA 13 Moment m_s

Momenti lahko delujejo samo okrog lokalne osi x ter so lahko točkovni, črtni ali ploskovni.

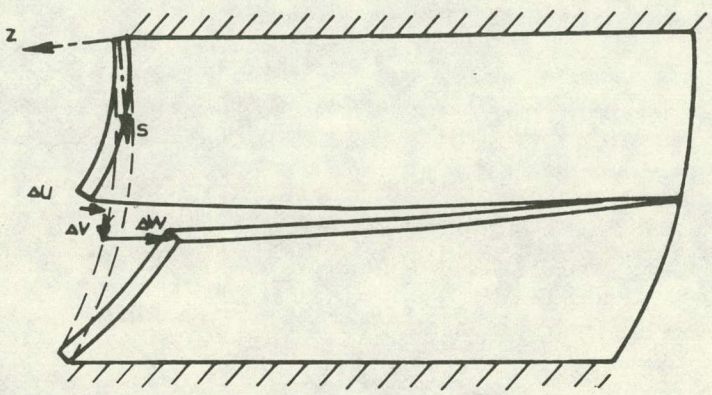


R1 m_s na profilu I4

R4 m_s na profilu I5, če je obremenitev trapecna.

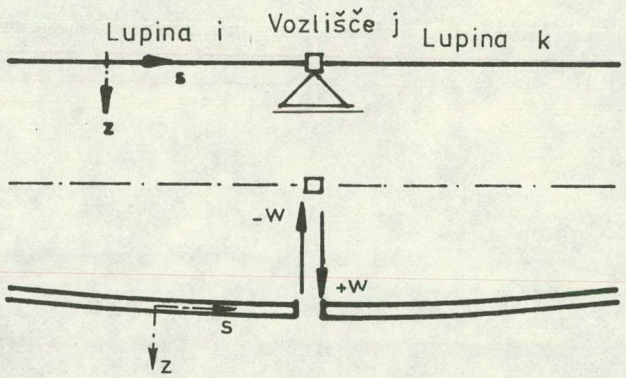
c) KA 14 Spremembe v pomikih

V resnični konstrukciji so smiselne samo črtne spremembe v pomikih, ki lahko nastopajo vzdolž prerezov ali vzdolž profilov. Program jih upošteva tako, da izračuna lupinsko stanje, ki bi nastopilo, če bi predhodno neprekinjeno lupino vzdolž podane črte prerezali in na silo razmaknili.



Slika prikazuje del valjaste lupine, ki je vzdolž srednjega prereza razmaknjena za Δu, Δv, in Δw tako, da se razmik linearno izgublja proti končni membrani. Program bo izračunal vse deformacije in sile, ki so posledica te razmaknitve.

Na ta način lahko upoštevamo tudi pomike podprtih robov in različne vsiljene deformacije:



Pomik -w na zadnjem prerezu lupine i in +w na prvem prerezu lupine k je enakovreden posedu podpore.

Točkovne spremembe pomikov v resnični konstrukciji niso smiselne, omogočajo pa računanje vplivnih ploskev za prečne in osne sile ter pomike. Ker so v tem primeru tako obremenitev kot tudi rezultati (ordinate vplivnih ploskev) pomiki, je treba upoštevati mnogo Fourierjevih členov, da bi bili rezultati v bližnji okolici opazovane točke dobri.

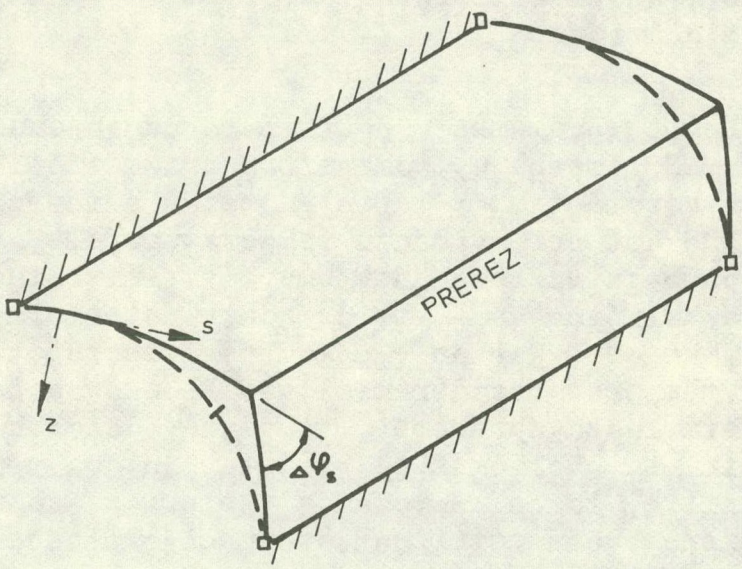
Ploskovne spremembe v pomikih so namenjene testiranju programa. Sprememba u_x pomeni pri prizmatičnih lupinah in pri izsekih rotacijskih lupin raztezanje materiala v smeri x, podobno kot pri zvišanju temperature, le, da ne pride do istočasnega raztezanja v smeri s. Pri rotacijskih lupinah je ta količina Δu_r, to je odmik materiala za Δu_r, od rotacijske osi, kar je v nekem pogledu zopet podobno enemu delu temperaturne obremenitve. Ploskovna pomika u_s in u_z predstavljata spremembi, to je odvode obeh količin po dolžini s. Količina u_s predstavlja del temperaturne obremenitve, to je raztezanje v smeri s, količina u_z pa nekakšno zvezno strižno deformacijo plošče.

Vse podane vrednosti Δu, Δv in Δw veljajo v lokalnem koordinatnem sistemu.

R1	Δu	na profilu I4
R2	Δv	
R3	Δw	
R4	Δu	na profilu I5 pri trapecni obremenitvi
R5	Δv	
R6	Δw	

d) KA 15 - Spremembe v zasukih φ_s

Kot pri pomikih (glej KA 14) so tudi pri zasukih smiselne samo črtne spremembe in to le vzdolž prerezov.



Zasuk $\Delta\varphi_s$ se meri s <u>tangensom</u>, tako je pri $\Delta\varphi_s = 1{,}0$ sprememba kota 45°.

Točkovna sprememba zasuka v resnični konstrukciji ni smiselna, omogoča pa izračun vplivne ploskve za moment M_s ($\Delta\varphi_s = -1{,}0$).

Ploskovne spremembe zasuka φ_s so namenjene testiranju programa in predstavljajo tisti del obremenitve s temperaturnim gradientom ΔT_z , ki povzroča ukrivljenost φ_s.

R1 $\Delta\varphi_s$ na profilu I4

R4 $\Delta\varphi_s$ na profilu I5, če je potek trapecen.

e) KA 16 Temperaturna obremenitev

Temperaturna obremenitev deluje lahko le ploskovno. Če priredimo črtno ali točkovno območje, javi program napako. Za ploskovno območje lahko podamo temperaturo središčne ploskve T, ki je lahko od profila I4 do profila I5 linearno spremenljiva in temperaturno spremembo ΔT_z , to je razliko med pozitivno in negativno lupinino površino, gledano v smeri lokalne osi. Program upošteva, da je okoliška temperatura 0°.

R1 T
R3 ΔT_z } na profilu I4

R4 T
R6 ΔT_z } na profilu I5, če je potek trapecen.

KA 17 in KA 18 - Vozliščna obtežba

Vozlišča lahko obremenimo s črtno in s točkovno obremenitvijo. Obremenitev s silami podajamo s kartico KA 17, obremenitev z momentom M_s s kartico KA 18. Obremenitev je podana v vozliščnem lokalnem koordinatnem sistemu, ali, če pri vozlišču na KA 6 v R6 nismo podali nagiba φ, v globalnem koordinatnem sistemu. Obremenjeno območje je na vozlišču podano s profiloma I4 in I5, potek črtne obremenitve med obema profiloma je lahko konstanten ali trapecen. Pri trapecnem poteku podajamo vrednosti na profilu I4 v polja R1 do R3, vrednosti na profilu I5 pa v polja R4 do R6. Če sta številki I4 in I5 isti, je obremenitev točkovna in izpolnimo lahko samo polja R1 do R3. Ker so podatki od I1 do L2 za obe vrsti kartic isti, jih navajamo skupno:

Skupni podatki za KA 17 in KA 18:

I1 Vozliščna številka

I4 Začetni profil območja (-NPROFIL ⩽ I4 ⩽ NPROFIL)

I5 Končni profil območja (I4 ⩽ I5 ⩽ NPROFIL)

L1 Številka obtežnega primera

L2 0 = obtežba je nesimetrična
1 = obtežba je simetrična
2 = obtežba je antimetrična

Posebni podatki:

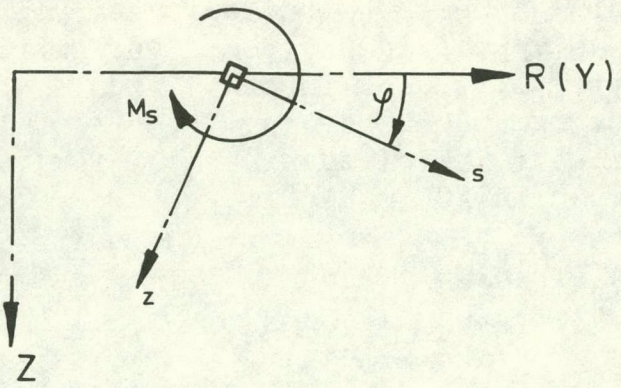
a) KA 17 - Sile

R1 P_x
R2 P_s } na profilu I4
R3 P_z

R4 P_x
R5 P_s } na profilu I5, če je potek trapecen
R6 P_z

Sile so podane v lokalnem koordinatnem sistemu vozlišča, zato je njihova smer odvisna od podatka R6 na KA 6 (glej tudi stran 27!). Z nagibom tega lokalnega sistema se spreminja samo smer osi s in z, smer osi x je od nagiba sistema neodvisna (smer vzporednika ali tvorilke).

b) KA 18 - Moment M_s



R1 M_s na profilu I4

R4 M_s na profilu I5, če je potek trapecen.

KA 19 - Raztezek opor in razpor

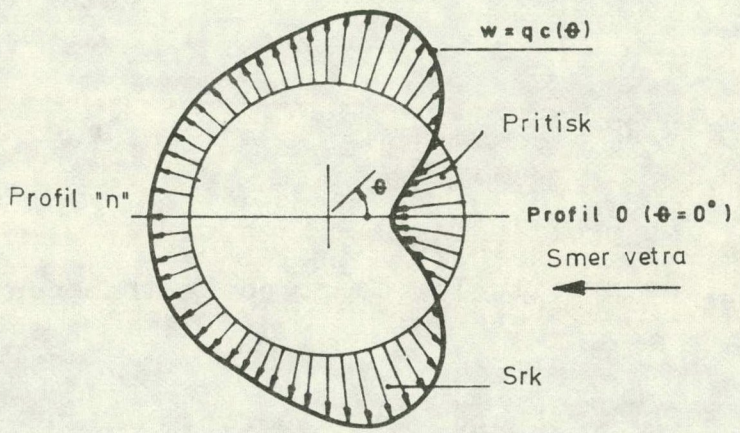
S to kartico podamo spremembo dolžin opor ali razpor. Taka sprememba dolžine lahko nastane zaradi temperaturne spremembe, krčenja materiala, posedanja opor, itd. Z isto kartico lahko obremenimo eno ali več opor. Spremembo dolžine lahko podamo absolutno v R1 ali relativno (ε = sprememba dolžine na enoto) v R2.

I1 številka opore I1
I2 številka opore I2
L1 številka obtežnega primera
R1 Δl (dejanska sprememba dolžine)
R2 ε (specifična sprememba dolžine) $\varepsilon = \Delta l/l$)

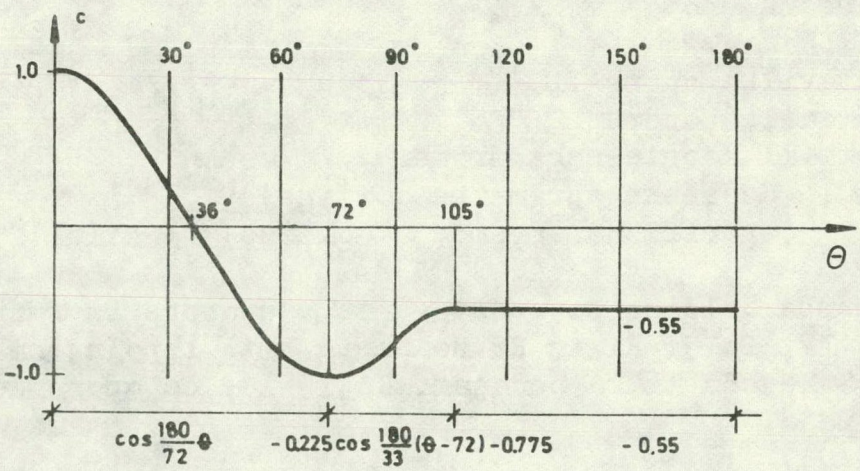
Sprememba dolžine se upošteva za vse opore in razpore od I1 do I2. Polji R1 in R2 ne smeta biti izpolnjeni istočasno. Seveda lahko podajamo KA 19 le, če opore dejansko nastopajo.

KA 20 in 21 - Obtežba z vetrom za hladilne stolpe

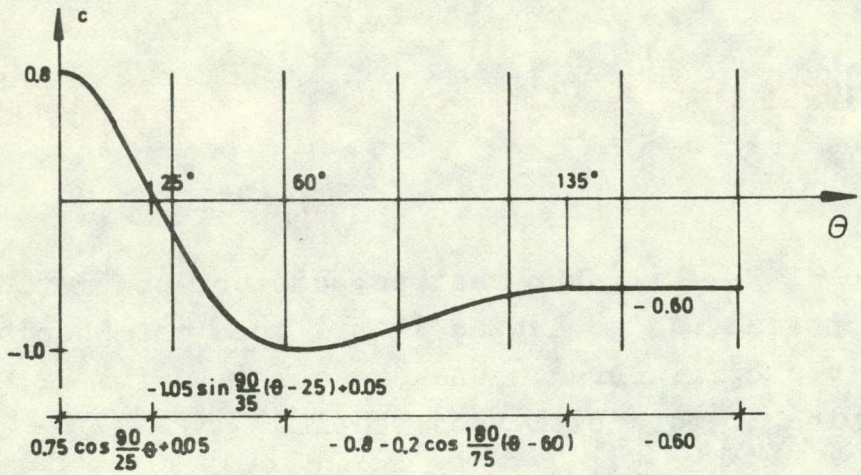
Pri obtežbi z vetrom za hladilne stolpe (in podobna rotacijska telesa) podajamo za vsako lupino le ordinato maksimalnega pritiska (zajezitveni pritisk, Staudruck), ki deluje v profilu 0 v pozitivni smeri lokalne z-osi. Razdelitev pritiskov in srkov vzdolž vzporednikov izračuna program po obrazcu $w = p.c\ (\Theta)$. Predvideni sta dve različni razdelitveni krivulji $c\ (\Theta)$, ki sta dosegljivi s KA 20 in KA 21:



a) razdelitvena krivulja po KA 20:



b) razdelitvena krivulja po KA 21:



Za obtežbo z vetrom se upoštevajo Fourierjevi členi od 0 do 10, višji členi ostanejo brez vpliva. Za praktično računanje zadoščajo že členi od 0 do 5.

Podatki:

I1 lupina št. I1

I2 lupina št. I2

L1 številka obtežnega primera

R1 maksimalni pritisk p = zajezitveni pritisk (p je treba podati negativno, če kaže lokalna z-os navzven).

Z eno kartico bodo obtežene lupine od I1 do I2 s pritiskom p.

V eni obtežni skupini morajo pripadati vse kartice KA 20 oziroma KA 21 istemu obtežnemu primeru. Vsaka lupina je v isti obteženi skupini lahko samo enkrat obremenjena z istovrstnim vetrom. Obtežbo z vetrom lahko uporabljamo samo pri rotacijskih lupinah brez večkratne simetrije.

KA 29 - Ponovitev obtežbe lupin

I1 lupina I1

I2 lupina I2

S kartico KA 29, ki lahko nastopa samo pri prizmatičnih lupinah, povemo, da je lupina I1 pri vseh obtežbenih primerih v skupini obremenjena enako kot lupina I2. Številka lupine I1 mora biti večja od I2!

Če je za neko lupino podano, da je enaka neki drugi, ali če je več lupin med seboj enakih in če so nekatere izmed teh lupin tudi enako obtežene, podajamo obtežbo le pri lupini z najmanjšo številko. Pri ostalih lupinah navajamo, da so obtežene tako, kot tista, ki smo jo vpisali. S ponovitvijo obremenitve prihranimo računski čas, zato je vredno deklarirati enakost obtežbe tudi v primeru, da gre le za lastno težo!

Enakost obremenitve velja za vso skupino obtežnih primerov, to pomeni, da je ponovljena lupina za vsakega izmed obtežnih primerov obtežena kot prvotna.

Pri rotacijskih lupinah in njihovih izsekih ponovitve obtežbe ne podajamo. Pri teh lupinah smo s samo ponovitvijo geometrijskih lastnosti že definirali enakost obtežbe. Torej so in morajo biti vse ponovljene lupine tudi enako obremenjene.

KA 30 - Zaključna kartica podatkov o eni skupini obtežnih primerov

S KA 30 zaključimo podatke o obtežbi. Program prečita še podatke o tiskanju rezultatov, izvrši nekaj preverjanj podatkov in začne računati rezultate te obtežne skupine, ne da bi preverjal podatke o naslednji skupini. Hkrati podajamo s KA 30 številke Fourierjevih členov, ki naj jih program upošteva za to skupino obtežnih primerov.

I1 Najmanjša številka Fourierjeva člena, ki naj se upošteva za račun končnih rezultatov. Pri prizmatičnih lupinah in izsekih rotacijskih lupin je to običajno enojka, ker pomeni ničelni člen le konstantne strižne napetosti, ki običajno ne nastopajo, če pa nastopajo, mora biti lupina stabilna tudi v x oz. ϑ smeri. Pri rotacijskih lupinah je najmanjši člen ničelni člen, ki pomeni rotacijsko simetrično stanje.

I2 Najvišja številka Fourierjevega člena, ki naj se upošteva za račun končnih rezultatov. Število členov je odvisno od vrste obremenitve in konstrukcije. Kadar računamo rotacijsko simetrično stanje rotacijske lupine, stoji tudi v I2 ničla.

I3 = prazno, če ni nobenih opor ali razpor (KA 3/I3 prazno)
= prazno, če naj se sile v razporah računajo z istimi Fourierjevimi členi kot končni rezultati (normalni primer)
= - 1, če naj se sile v razporah računajo samo s konstantnim (ničelnim) členom
= sicer številka najmanjšega člena, ki naj se upošteva pri računu sil v razporah.

I4 = prazno, če ni razpor ali opor
= prazno, če naj se sile v razporah računajo z istimi Fourierjevimi členi kot končni rezultati (normalno!)
= prazno, če stoji v I3 - 1.
= sicer številka najvišjega člena, ki naj se upošteva pri računu sil v razporah.

Pri nekaterih konstrukcijah je mogoče upoštevati za račun razpornih sil manjšo število členov kot za končne rezultate (n.pr. pri popolnih rotacijskih lupinah na eni podpori pri rotacijsko simetrični obtežbi). Zato je podana možnost v I3 in I4. Običajno se računajo razporne sile z istimi členi kot končni rezultati in v tem primeru bodo rezultati vedno pravilni. Program upošteva torej za končne rezultate Fourierjeve člene od I1 do I2 in za oporne sile člene od I3 do I4. Pri tem upošteva pri rotacijskih lupinah vse vmesne številke, pri izsekih in prizmatičnih lupinah pa za simetrični del stanja le lihe člene in za antisimetrični del le sode člene.

Kadar sta I1 in I2 oziroma I3 in I4 enaki števili, računa program le en Fourierjev člen, kar služi za kontrolo vhodnih podatkov, konvergence, itd.

V nadaljnjem podajamo na KA 30 navodila za preverjanje podatkov, če to želimo. Z M1 preverjamo simetričnost podane obtežbe (da ne bi program zaradi napake pri podatkih računal asimetrično), M2 preprečuje, da ne bi število zahtevanih Fourierjevih členov naraslo zaradi napake v luknjanju preko 99, z R6 pa lahko prisilimo program, da računa konstrukcije kljub ugotovitvi, da so nekatere lupine predolge za numerično reševanje (prisilimo ga, če smo prepričani, da bodo rezultati kljub temu uporabni).

M1 0 - preverjanje se ne izvaja
1 - stanje lupine je simetrično. Če se dosedanji podatki ne ujemajo s to trditvijo, to je, če nastopajo v sistemu točkovne opore ali razpore in v KA 3/L2 ni podana njihova simetričnost, ali če je en del obtežbe nesimetričen, bo program javil napako in preneha z obdelavo problema.
2 - stanje lupine je antisimetrično. Če se dosedanji podatki s to trditvijo ne ujemajo, to je, če nastopajo v konstrukciji opore ali če vsaj en del obtežbe ni antisimetričen, bo program javil napako in preneha z obdelavo problema.

M2 Kontrola števila členov. Če je I2 ali I4 večji od 99, moramo v M2 podatki poljubno število, večje od 0, sicer program preneha z obdelavo. Ta kontrola ima namen preprečevati nehoteno računanje s številom členov, večjim od 99, ki bi lahko nastalo zaradi luknjanja podatkov v nepravilne kolone.

R6 = običajno prazno. Poljubno podano število v koloni 75 prepreči prekinitev računanja, kadar program ugotovi predolge lupine. V tem primeru se pred rezultati tiska opozorilo, računanje pa se kljub temu izvede.

Preverjanje dolžin posameznih lupin je bilo naknadno vgrajeno in ne preverja vseh možnosti. Namesto dolžin lupin se preverjajo dolžine odsekov. Če je neka lupina sestavljena iz več odsekov, od katerih ni noben posamezen predolg, dolžina lupine (vsota dolžin odsekov), pa je daljša od dopustne, napaka ne bo odkrita. Če pa ima lupina le en odsek (in pri mnogih konstrukcijah je to običajno), pa bo preverjanje pravilno.

Predolge lupine povzročajo numerične nepravilnosti, vendar so dopustne vrednosti določene z izkušnjami in ne morejo biti natančno podane. Izkušnje tudi kažejo, da je nesimetrično reševanje sistema enačb, ki je bilo v program vgrajeno naknadno, poboljšalo numerično reševanje in dopušča daljše lupine. Če vpišemo v polje R6 neko število, bo program sicer preverjal dolžino lupin in javljal nepravilnosti, ne bo pa se ustavil, temveč bo računal dalje. Če ostane R6 prazno, se bo program po ugotovljenih predolgih lupinah ustavil.

Preverjajo se naslednje vrednosti (vidimo, da so dopustne vrednosti vsaj 2-krat večje od tistih, podanih v opisu programa. To je zato, da se uporabniku dovoli določeno tveganje, priporočljivo pa je uporabljati krajše lupine ali preveriti uporabnost daljših na manjšem modelu):

Pri prizmatičnih lupinah:

$\ell < A/2$ pri $n = 0$ in $l < 8 \times A/n$ pri $n \neq 0$

Pri rotacijskih lupinah in izsekih:

$\ell < 2 \times R$ pri $n = 0$ in $l < (8 \times \vartheta \times R)/(n \times k)$ pri $n \neq 0$,

kjer pomeni ℓ = dolžina odseka, n = najvišja številka Fourierjevega člena, A = polovična razpetina, R = srednji radij odseka, ϑ je polovični središčni kot pri izsekih, sicer π , k = 1 ali število enakih simetričnih delov (I5 na KA 3).

<u>Pozor</u>: kriterij $\ell < \sqrt{R.h}$ (h je debelina odseka), se ne preverja, čeprav je tudi veljaven!

KA > 30 - TISK IN KOMBINACIJE REZULTATOV

Kartica KA 30 zaključuje podatke o skupini obtežnih primerov. Za njo pričakuje program vsaj eno navodilo za tiskanje rezultatov, to je vsaj eno izmed kartic KA 31 do KA 34 ali kartico KA 40. Če ne najde nobene izmed njih, javi napako in preneha z obdelavo problema. V nasprotnem primeru preveri program vse zahteve o tiskanju rezultatov za tekočo skupino obtežnih primerov. Če ne najde nobene napake, izračuna stanje konstrukcije za vse obtežne primere tekoče skupine, spravi rezultate na enote pomožnega spomina in izvede postopno vse zahteve o tiskanju. Nato začne z obdelavo morebitne nove skupine obtežnih primerov, ki se začne z novo kartico KA 10.

S karticami KA 31, 32, 33 in 34 zahtevamo tiskanje različnih rezultatov za posamezne obtežne primere. Od vseh je najbolj priporočljivo uporabljati kartico KA 34.

S karticami KA 40 do KA 47 zahtevamo kombiniranje posameznih obtežnih primerov iste skupine in tiskanje ekstremnih vrednosti.

Kartice KA 31 do 34, ki so samostojne in neodvisne ena od druge in kartice KA 40 do KA 47, ki predstavljajo enoto za eno kombinacijo, so lahko navedene v poljubnem vrstnem redu in poljubni količini. V istem vrstnem redu, kot so navedene kartice, se tiskajo tudi zahtevani rezultati.

Ker lahko zahtevamo s karticami KA 31, 34, 45 in 46 tiskanje posameznih količin stanja, so te količine oštevilčene, tako, da lahko posamezne količine označimo z njeno številko. Številke posameznih količin so naslednje:

1 = v
2 = u
3 = N_s
4 = N_{sx}
} membranski del

5 = w
6 = φ_s
7 = Q_s
8 = M_s
} upogibni del

9 = N_{sx}
10 = N_x
} membranski del

11 = φ_x
12 = M_x
13 = M_{xs}
14 = Q_x
} upogibni del

15 = primerjalne napetosti po Misesu
16 = glavne membranske sile
17 = glavni upogibni momenti

Primerjalne napetosti po Misesu se uporabljajo pri jeklenih konstrukcijah kot merilo za obremenjenost gradiva in jih lahko primerjamo s porušno trdnostjo. Za zgornjo oziroma spodnjo površino lupine se računajo po obrazcu (h = debelina lupine):

$$\sigma = \sqrt{\left(\frac{N_x}{h} \pm \frac{6M_x}{h^2}\right)\cdot\left(\frac{N_s}{h} \pm \frac{6M_s}{h^2}\right) - \left(\frac{N_x}{h} \pm \frac{6M_x}{h^2}\right)\left(\frac{N_s}{h} \pm \frac{6M_s}{h^2}\right) + 3\left(\frac{N_{xs}}{h} \pm \frac{6M_{xs}}{h^2}\right)^2}$$

in za središčno ploskev: $\sigma = \sqrt{\left(\frac{N_x}{h}\right)^2 + \left(\frac{N_s}{h}\right)^2 - \frac{N_x N_s}{h^2} + 3\left[\left(\frac{3Q_x}{2h}\right)^2 + \left(\frac{3Q_s}{2h}\right)^2 + \left(\frac{N_{xs}}{h}\right)^2\right]}$

Tako dobimo za vsako točko lupine tri vrednosti in tiskanje primerjalnih napetosti porabi tri stolpce.

Glavne sile so membranske sile v tistem koordinatnem sistemu, v katerem ni strižne sile N_{xs}. Program izračuna in tiska vrednosti za sili N_1 in N_2 ter kot β med smerjo relativno večje glavne sile in lokalno osjo x. Pri glavnih silah se tiskajo zato za vsako točko tri količine, ki se izračunajo po naslednjih obrazcih:

$$N_{1,2} = \frac{N_x + N_s}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{N_x - N_s}{2}\right)^2 + N_{xs}^2}$$

$$\text{kot } \beta = \text{arcustangens} \left(\frac{N_1 - N_x}{N_{sx}}\right)$$

Glavni momenti so upogibni momenti v tistem koordinatnem sistemu, v katerem ni torzijskih momentov M_{xs}. Program izračuna in tiska vrednosti za momenta M_1 in M_2 ter kot β med smerjo relativno večjega glavnega momenta in lokalno osjo x. Pri glavnih momentih se tiskajo zato za vsako točko tri količine, ki se izračunajo po naslednjih obrazcih :

$$M_{1,2} = \frac{M_x - M_s}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{M_x + M_s}{2}\right)^2 + M_{xs}^2}$$

$$\text{kot } \beta = \text{arcustangens} \left(\frac{M_1 - M_x}{M_{sx}}\right)$$

Med rezultati lahko zahtevamo samo tiste, ki jih na konstrukciji lahko pričakujemo. Če računamo ploščo, ne smemo zahtevati membranskih količin in pri steni ne moremo tiskati upogibnih količin.

Kadar nastopajo v konstrukciji točkovni robni pogoji (razpore, opore, točkovna vpetja), se tiskajo njihove količine avtomatično za vsak obtežni primer posebej takoj za podatki o obtežbi. Teh sil ne moremo kombinirati med seboj.

KA 31 Tiskanje posamezne količine stanja na poljubnem območju

Uporaba kartice KA 31 je nepriporočljiva, ker je negospodarna. Za vsako vrednost, ki jo program tiska, seže posebej na magnetni disk in porabi za to precej časa. Tak način tiskanja uporabljamo le izjemoma, ko hočemo v stisnjenem formatu tiskati eno samo količino stanja, na primer pri vplivnih ploskvah. S kartico KA 34 porabimo za iste rezultate več papirja, toda mnogo manj časa.

S kartico KA 31 zahtevamo tiskanje ene same količine stanja, katere oznako (številko) vpišemo v polje L1, na območju med prerezom I3 lupine I1 in prerezom I4 lupine I2 ter med profiloma I5 in I6. Vrednosti pripadajo obtežnemu primeru s številko M1 in so s področja negativnih profilov, če napišemo v polje L2 dvojko.

I1 lupina I1
I2 lupina I2
I3 prerez I3
I4 prerez I4
I5 profil I5
I6 profil I6
L1 označba količine stanja (glej stran 83)
L2 0 ali 1 = območje med pozitivnimi profili
2 = območje med negativnimi profili
M1 številka obtežnega primera.

KA 32 - Tiskanje vseh količin stanja

S kartico KA 32 zahtevamo za nekatere ali za vse obtežne primere tiskanje vseh rezultatov za vse točke konstrukcije. Kadar je konstrukcija lupina, nastopa v vsaki točki 14 različnih količin stanja, ki jih ni mogoče tiskati v eno vrstico. Zato se tiska za vso konstrukcijo najprej membranski del s 6 količinami in nato upogibni del, z 8 količinami stanja. Rezultati se tiskajo za obtežne primere od M1 do M2. Če ostaneta polji prazni, tiska program vse obtežne primere.

Pri rotacijskih lupinah z rotacijsko simetričnim stanjem (Fourierjevi členi na KA 30 od 0 do 0), so rezultati na vseh profilih enaki. Zato se v tem primeru tiskajo izjemoma samo rezultati na srednjem profilu (0), ne glede na število podanih profilov.

Uporaba kartice KA 32 je enostavna, vendar se v primeru, ko je rezultatov preveč in bi se tiskali tudi tisti, ki jih ne potrebujemo, priporoča uporaba kartice KA 34.

M1 Številka prvega obtežnega primera, ki naj se tiska
M2 Številka zadnjega obtežnega primera, ki naj se tiska.

KA 33 Tiskanje primerjalnih napetosti

S kartico KA 33 zahtevamo računanje in tiskanje primerjalnih napetosti (po Misesu) za vse točke lupine in za obtežne primere od M1 do M2. Če ostaneta polji M1 in M2 prazni se tiskajo primerjalne napetosti za vse obtežne primere. Na koncu rezultatov se izpišejo tudi ekstremne vrednosti. Kot je opisano na strani 83 se tiskajo za vsako lupinino točko tri vrednosti primerjalnih napetosti.

Kartico KA 33 uporabljamo redko in sicer samo takrat, ko nas poleg primerjalnih napetosti ne zanimajo nobene druge količine stanja. V nasprotmem primeru je bolj priporočljivo uporabljati kartico KA 34, ki omogoča istočasno tudi tiskanje drugih količin.

M1 Številka prvega obtežnega primera, ki naj se tiska

M2 Številka zadnjega obtežnega primera, ki naj se tiska.

KA 34 - Tiskanje poljubnih količin stanja za posamezne obtežne primere in na poljubnih območjih konstrukcije

Kartica KA 34 je za tiskanje različnih količin stanja posameznih obtežnih primerov najprimernejša in najbolj gospodarna.

S posamezno kartico KA 34 zahtevamo tiskanje poljubnih količin stanja na poljubnem območju lupine in za poljubne obtežne primere.

Količine stanja, ki jih lahko tiskamo do 12 v isto vrstico, lahko naštejemo posamično, ali pa volimo nek standardni tip v polju I5. Tiskanje se lahko vrši v E- ali F- formatu in sicer v F21.3 oziroma E20.13 pri manj kot šestih količinah v isti vrstici, v formatu F13,3 oziroma E12,5, če je število količin od 6 do 8 in v formatu F9.3 oziroma E9.5, če je količin več kot 8. Če zahtevamo F-format in je v neki vrstici vsaj eno število preveliko tako, da bi se tiskale zvezdice, se tiska ta vrstica v E-formatu.

Območje, ki se tiska, leži na lupinah od I1 do I2 in med profili I3 in I4. Pri simetričnem ali antisimetričnem stanju se tiska samo območje s pozitivnimi profili, pri rotacijsko simetričnem stanju (samo konstantni člen) pa samo srednji profil. Če številke I1 ne podamo (v tem primeru mora biti tudi polje I2 prazno), se tiskajo rezultati za vse lupine.

I1 številka lupine I1

I2 številka lupine I2

I3 številka profila I3 (ne sme biti negativna)

I4 številka profila I4. Če je polje prazno, privzame program najvišjo številko profila, sicer I4 ne sme biti manjši od I3.

I5 Tip rezultatov
Če ostane polje prazno, moramo v poljih od R1 do R6 našteti posamezne količine stanja, ki naj se tiskajo, sicer lahko zahtevamo enega izmed naslednjih tipov:

1 = Q_s , M_s , M_x , M_{sx}, Q_x , w

2 = N_s , N_{sx}, N_x , v, u, N_1, N_2, kot β

3 = Q_s , M_s , M_x , M_{sx}, Q_x, N_s, N_{sx}, N_x

4 = Q_s , M_s , M_x, M_{sx} , Q_x, N_s, N_x, w, v, u

5 = v, u, w, φ_s, φ_x (vedno v E -formatu)

6 = v, u, w, φ_s, φ_x, N_s, M_s, M_x, Q_x , N_s, N_{sx}, N_x

I6 prazno - rezultati bodo tiskani v F -formatu
1 - rezultati bodo tiskani v E -formatu

L1 Številka prvega obtežnega primera, ki se tiska. Če je polje prazno, privzame program vrednost 1.

L2 Številka zadnjega obtežnega primera, ki se tiska. Če je polje prazno, privzame program vrednost L 1. Če je tudi polje L 1 prazno, se tiskajo vsi obtežni primeri.

M1 prazno
M2 prazno

R1 do R6 Če v polju I5 ne izberemo enega izmed naštetih tipov izpisa, moramo našteti v poljih R1 do R6 posamezne številke tistih količin stanja, ki jih hočemo tiskati. Oštevilčenje količin je podano na strani 83. V vsako polje R lahko napišemo dve številki, ki jih program bere s formatom 2I3. Prostor za eksponent mora ostati prazen. Oznake količin se pišejo torej tako, da stoji njihova desna številka v kolonah 35, 38, 43, 46, 51, 54, 59, 62, 67, 70, 75, 78. Polja morajo biti zapolnjena od leve proti desni brez presledkov. Število zahtevanih količin ne sme biti večje od 12. Pri primerjalnih napetostih in pri glavnih silah in momentih moremo upoštevati, da se tiskajo vselej po tri količine.

KA 40 - 47 Kombinacije obtežnih primerov

S kombinacijami računamo združen vpliv različnih obtežnih primerov iste skupine. Vsako kombinacijo začnemo s kartico KA 40, na kateri je poljubno besedilo.

S karticami KA 41 do 44 povemo, kateri obtežni primeri naj se upoštevajo v kombinaciji in kako. S kartico KA 41 priredimo vsakemu obtežnemu primeru faktor, s katerim se množi pred upoštevanjem. S karticami KA 42, 43 in 44 povemo, kateri obtežni primeri so stalna obtežba, ki se vedno upošteva, kateri obtežni primeri so prometna obremenitev, ki se upošteva le, če deluje neugodno in kateri izmed obtežnih primerov spadajo v alternativne grupe. V tako grupo združimo take obtežne primere, ki ne morejo delovati istočasno, na primer veter z leve in veter z desne ali več položajev istega vozila. Pri iskanju ekstremnih količin se iz vsake alternativne grupe upošteva le tisti obtežni primer, ki deluje najneugodnejše, ali pa noben, če delujejo vsi ugodno.

Ko je kombinacija podana, zahtevamo s karticami KA 45 in KA 46 različne rezultate in povemo s kartico KA 47 za katere lupine naj se ti rezultati tiskajo. Takih skupin kartic KA 45 do 47 je lahko več pri vsaki kombinaciji.

Rezultate, ki naj se tiskajo, volimo poljubno, vendar tako, da je v eni vrstici največ 12 količin. Če je količin manj od 9 se tiskajo v preglednem formatu F12.3, če jih je 9 ali več, je format bolj stisnjen E9.5.

Pri količinah, ki jih zahtevamo s kartico KA 45, se upošteva samo stalna obtežba neke kombinacije, kar predstavlja preprosto seštevanje obtežnih primerov, pomnoženih s faktorji.

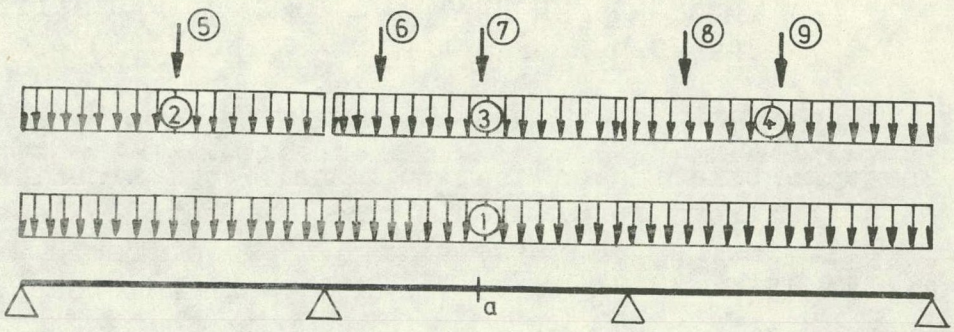
S kartico KA 46 zahtevamo računanje ekstremnih vrednosti za neko količino, to je maksimum in mimimum. Postavitev obtežbe, ki povzroči v neki točki ekstremno vrednost za neko količino, običajno ni najneugodnejša za neko drugo količino v isti točki. Pri dimenzioniranju potrebujemo včasih vrednost te druge količine, ki ni ekstremna, nastopa pa istočasno z ekstremno vrednostjo prve količine. To

drugo količino imenujemo pripadajočo vrednost in jo tudi zahtevamo s kartico KA 46. Če zahtevamo torej ekstremne vrednosti za moment Ms in pripadajoče prečne sile Qs, se bo za vsako točko tiskal maksimalni moment s pripadajočo prečno silo in minimalni moment s pripadajočo prečno silo, skupaj 4 vrednosti.

Ko smo s karticama KA 45 in KA 46 povedali, kaj želimo tiskati, podamo na karticah KA 47 še številke lupin, kjer želimo tiskati rezultate.

Za karticami KA 47 nastopijo lahko nove kartice KA 45 in 46 ali pa nova kombinacija s KA 40 do KA 47 ali pa poljubne izmed kartic KA 31 do KA 34.

Primer:



Stalna teža : 1
Prometna obtežba : 2, 3, 4
Aletrnativna obtežna grupa: 5, 6, 7, 8, 9

Za maksimalni moment v točki a bodo sešteti momenti obtežnih primerov:

1, 3, 7

Za minimalni moment v točki a bodo sešteti momenti obtežnih primerov:

1, 2, 4, 8

KA 40 Začetna kartica vsake kombinacije

Vsaka nova kombinacija se začne s kartico KA 40. Besedilo, ki ga lahko napišemo od kolone 5 dalje, se tiska pod naslovom kombinacije.

KA 41 Faktorji

I1 do I6 številke obtežnih primerov
R1 do R6 pripadajoči faktorji

V kombinaciji bo obtežni primer Ij pomnožen s faktorjem R_j . Za obtežne primere, katerim faktorjev ne podamo, privzame program vrednost 1.0. Ker je število obtežnih primerov lahko večje od 6, lahko nastopa pri isti kombinaciji več zaporednih KA 41, vendar smemo za isti obtežni primer podati faktor le enkrat. Če so vsi faktorji 1,0, lahko kartico KA 41 opustimo.

KA 42 - Stalna obtežba

Od I1 do I6 - številke obtežnih primerov

Vsi v I_j poljih našteti obtežni primeri nastopajo, pomnoženi s svojimi faktorji, v tej kombinaciji kot stalna obtežba in se prištevajo njihove količine k vsem rezultatom.

V isti kombinaciji lahko nastopa več KA 42, vendar se številke obtežnih primerov ne smejo ponavljati.

Če KA 42 ne nastopa, v tej kombinaciji ni stalne obtežbe in takrat ne sme nastopati KA 45 (glej naprej).

KA 43 - Prometna obtežba

Od I1 do I6 - številke obtežnih primerov

Vsi našteti obtežni primeri (ki ne smejo hkrati nastopati tudi na KA 42 kot stalna obtežba) se štejejo, pomnoženi s svojimi faktorji, k prometni obtežbi. Njihove količine stanja se upoštevajo le pri računu ekstremnih vrednosti (KA 46) in njim pripadajočih količin. Za vsakega izmed njih preverja program za vsako točko lupine, če prispeva k maksimumu ali k minimumu in ga tja prišteva.

V isti kombinaciji lahko nastopa nič, ena ali več zaporednih KA 43.

KA 44 - Alternativna obtežba

Od I1 do I6 = številke obtežnih primerov

L1 = številka alternativne skupine

Alternativnih skupin je lahko pri isti kombinaciji več in so zaporedno oštevilčene (L1). Številke obtežnih primerov, ki jih tvorijo, se ne smejo ponavljati in ne smejo nastopati tudi pri stalni ali prometni obremenitvi iste kombinacije.

Našteti obtežni primeri se upoštevajo le pri računu ekstremnih vrednosti in njim pripadajočih količin. Od vsake skupine alternativnih obtežb upošteva program pri računu ekstremnih vrednosti le en obtežni primer in to le tistega, ki največ prispeva k ekstremu. S tem lahko nadomestimo zamudno izvrednotenje vplivnih ploskev pri mostovih in najdemo za vsako poljubno točko ekstremne količine. Kartic KA 44 je pri isti kombinaciji lahko več.

KA 45 - Količine stanja pri stalni obtežbi

I1 do I6 Označba količin stanja (glej stran 83)

Seveda se tiskajo pri stenski in ploščni konstrukciji lahko samo ustrezne količine.

Kolone se tiskajo v vrstnem redu, kot so podane na KA 45. Upoštevati je treba, da zahtevajo primerjalne napetosti in glavne količine po tri kolone (napetosti na zgornji površini, srednji ravnini in spodnji površini lupine, prva in druga glavna količina ter kot β = kot med smerjo relativno večje glavne količine in x-osjo).

Kartice KA 45, ki sta lahko dve, smejo nastopati le, če je bila podana tudi KA 42.

KA 46 - Ekstremne količine stanja

I1 Oznaka količine stanja. za katero iščemo ekstremne vrednosti (glej stran 83 !)

I2 do I6 Oznaka količin stanja za katere iščemo pripadajoče vrednosti, to je tiste vrednosti, ki nastopajo istočasno z ekstremno količino (pri isti sestavi obtežnih primerov).

Ekstremne in pripadajoče količine lahko iščemo le za oznake od 1. do 14, ekstremov primerjalnih napetosti in glavnih količin ni mogoče iskati.

KA 46 lahko nastopajo le, če je bila podana vsaj ena prometna ali alternativna obtežba.

Za vsako podano količino se tiskata po dve koloni (maksimalna in minimalna ter pripadajoče k maksimumu in minimumu).

Polje I1 ne sme biti prazno, ostala polja so lahko. Kartic KA 46 je istočasno lahko največ 6 (12 kolon).

KA 47 - Lupine, ki naj se tiskajo

I1 Številka lupine

I2 ⩾ I1 Številka lupine

KA 47 povzroči tiskanje rezultatov pravkar navedenih kolon za lupine od I1 do I2.

Če sta I1 in I2 prazni, se tiskajo rezultati za vse lupine konstrukcije. Zaporedno lahko nastopa več KA 47, vendar morajo biti številke na njih v rastočem zaporedju in zato iste lupine ne moremo tiskati dvakrat.

KA 90 - STOP

Kartica KA 90 ustavi program SHELLS in sme stati na koncu vseh kartic s podatki to je na koncu vseh problemov. V sedanji programovi verziji lahko kartico KA 90 opustimo, kar je tudi priporočljivo, da ne pride do pomot. Po navodilih za tiskanje pri zadnji skupini obtežnih primerov, ko smo tekoči problem zaključili, lahko priključimo nov problem, ki se začenja s kartico KA 1.

2.3 KRATEK PREGLED KARTIC Z VHODNIMI PODATKI

V predhodnem poglavju so bile podrobno opisane vse vhodne kartice in sestav vhodnih podatkov. Tak opis je nujen za začetnika in potreben pri ugotavljanju podrobnosti. Uporabnik, ki se je na program SHELLS že navadil in ki vhodne podatke v glavnem že pozna, pa lahko s pridom uporablja tabelo s kratkim pregledom vhodnih kartic, ki je podana na naslednjih treh straneh (na prvi so podatki o sistemu, na drugi podatki o obtežbi in na tretji zahteve o tiskanju).

Zaradi lažjega in boljšega pregleda je tabelo priporočljivo obarvati. Debelo obrobljena polja (tista, kamor se vpisujejo podatki) obarvamo z dobro vidno toda prozorno barvo (npr. rumeno).

SHELLS

Pregled sistemskih podatkov KA 1 do KA 8

KA	KR	ŠT. I1	I2	I3	I4	I5	I6	L1	L2	M1	M2	R1 (X)	R2 (Y)	R3 (Z)	R4 (X)	R5 (Y)	R6 (Z)
1	1	Poljubno besedilo za glavo strani															stran
2	—	Poljubno besedilo - komentar															
		Splošni podatki:															
		Števila:	vozlišč	lupin	razpor	profilov	simetrij	korakov	1=stena 2=plošča	1=sim.razp.		1= TEST	polovična razpetina	polovični središčni kot	radij profilnega vzporedn.			
3	—												A		R			
		Materiali:																
4	—	št.											E-modul		Poiss. štev.		spec. teža	temp. koef.
		Lupinska kartica:																
			lupina		od vozlišča	do vozlišča		enaka lupini	I-členki	K-členki	število odsekov	1=brez rezultat.	radij prvega odseka		za vozliščem I		pred vozliščem K	
5	—	št.			I	K		J					R		ekscentričnosti: Δz		ΔR oz. ΔY	Δz
		Odsekova kartica:																ukrivljenost:
			lupina	odsek		konstantna elastična podl.			material	ponovitev		0=R6=Δ 1=R6=p 2=R6=tad.	dolžina ali ΔR oz. ΔY	ΔZ	nagib	debelina na začetku	na koncu	kot ali puščica p ali radii
5	—	št.	št											ΔZ	φ	h	h	
		Vozliščna kartica:							opiranje						vzmeti:			
6	—	št.											radij	Fx	Fy	Fz	fm	nagib
		Opore, razpore, vpetja:																
			oprta točka:		1 = vpet	oparna točka:					preskok mej		smerni vektor opore ali razpore:					
7	—	št.	vozl	prof		vozl	prof				n		X	Y	Z	podajnost		
		Profilna kartica:								ponov.								
8	—	št.								n			ΔX	Δϑ				

STATIK

SHELLS

Pregled podatkov o skupini obtežnih primerov KA 10 do KA 30

KA	KR	ŠT. I1	I2	I3	I4	I5	I6	L1	L2	M1	M2	R1 (X)	R2 (Y)	R3 (Z)	R4 (X)	R5 (Y)	R6 (Z)
1 2	3 4	5 6	7 8	9 10	11 12	13 14	15 16	17 18	19 20	21 22	23 24	25 26 27 28	29 30 31 32	33 34 35 36 37 38 39 40	41 42 43 44 45 46 47 48	49 50 51 52 53 54 55 56	57 58 59 60 61 62 63 64	65 66 67 68 69 70 71 72	73 74 75 76 77 78 79 80

Začetna kartica vsake nove skupine obtežnih primerov

10 — Poljubna besedila, ki se tiska v 2. vrstici glave pri vseh rezultatih !

Skupna obtežba:

11 1 lastna teža
11 2 centrifugalne sile
11 3 pritisk
11 4 temperatura
11 5 temperatur. gradient
11 6 raztezek razpor

štev. obt. pr.

faktor | nagib
štev. vrtlj. | pospešek g
p
T
Tz
epsilon

Posamična obtežba lupin:

Vrednosti ob profilu 14:

Vrednosti ob profilu 15:

12 13 14 15 16

štev. lupine | od prereza | do prereza | od profila | do profila | 2=desno | obt. primer | 1=sim, 2=ant | glob

px | ps | pz | px | ps | pz
ms | ms
Δu | Δv | Δw | Δu | Δv | Δw
Δφs | Δφs
T | ΔT | T | ΔT

Obtežba vozišč:

vrednosti ob profilu 4:

vrednosti ob profilu 15:

17 18

štev. vozl. | od prof. | do prof. | p. pr. | s/a

px | ps | pz | px | ps | pz
ms | ms

Veter za hladilne stolpe:

20 od lup. | 21 do lup. | p. pr.

po
po

Po razdelitveni krivulji K2
Po razdelitveni krivulji K3

Enakost obtežbe:

29 — I1 | I2 lupina I1 je obtežena kot lupina I2 (samo pri prizmatičnih ponovljenih lupinah)

Zaključna kartica vsake skupine (slediti morajo podatki za tisk)

Fourierjevi členi rezultat razpore | Kontrola | 1 =si, 2 =an | 1 = število členov > 99 | 1 = ni kontrole dalž.

30 — od | do | od | do

SHELL5

Pregled zahtev za izpis - KA 31 do KA 47

KA	KR	ST. I1	I2	I3	I4	I5	I6	L1	L2	M1	M2	R1 (X)	R2 (Y)	R3 (Z)	R4 (X)	R5 (Y)	R6 (Z)
1 2	3 4	5 6 7 8	9 10 11 12	13 14 15 16	17 18 19 20	21 22	23 24	25 26	27 28 29	30 31 32	33 34 35 36	37 38 39 40	41 42 43 44	45 46 47 48	49 50 51 52	53 54 55 56	57 58 59 60	61 62 63 64	65 66 67 68	69 70 71 72	73 74 75 76	77 78 79 80

Tiskanje količine L1 za obt. primer M1 med prof. 15 in 16 ter med prerezom 13 lupine 11 in prerezom 14 lupine 12 (L2=1 - negativni prof.)

31 = I1 I2 I3 I4 I5 I6 L1 L2 M1

Tiskanje vseh količin za primere L1 do L2

32 = Vse količine stanja L1 L2

33 = Primerjalne napetosti L1 L2

Poljubno tiskanje za posamezne primere:

	od lupine	do lupine	od profila	do profila	tip rezultatov	1 = E-Format		
34 =	lup	lup	prof.	prof.	tip.	E/F	od	do

Posamično naštevanje količin stanja:

Označbe količin stanja:

1 - v	5 - w	9 - Nsx	11 - φx
2 - u	6 - φs	10 - Nx	12 - Mx
3 - Ns	7 - Qs		13 - Msx
4 - Nsx	8 - Ms		14 - Wx

Po 3 kolone:

15 - primerjalne napetosti
16 - glavne sile
17 - glavni momenti

Kombinacija:

Začetna kartica vsake kombinacije:

40 = Poljubno besedilo, ki se tiska pred podatki o kombinaciji

Faktorji za obtežne primere od I1 do I6:

41 = I1 ... I6 faktor (I1) ... faktor (I6)

Sestava kombinacije:

42 = I1 ... I6 Obtežni primeri od I1 do I6 so stalna obtežba

43 = I1 ... I6 Obtežni primeri od I1 do I6 so prometna obtežba

44 = I1 ... I6 L1 Obtežni primeri od I1 do I6 so v alternativni skupini L1

Sestava rezultatov:

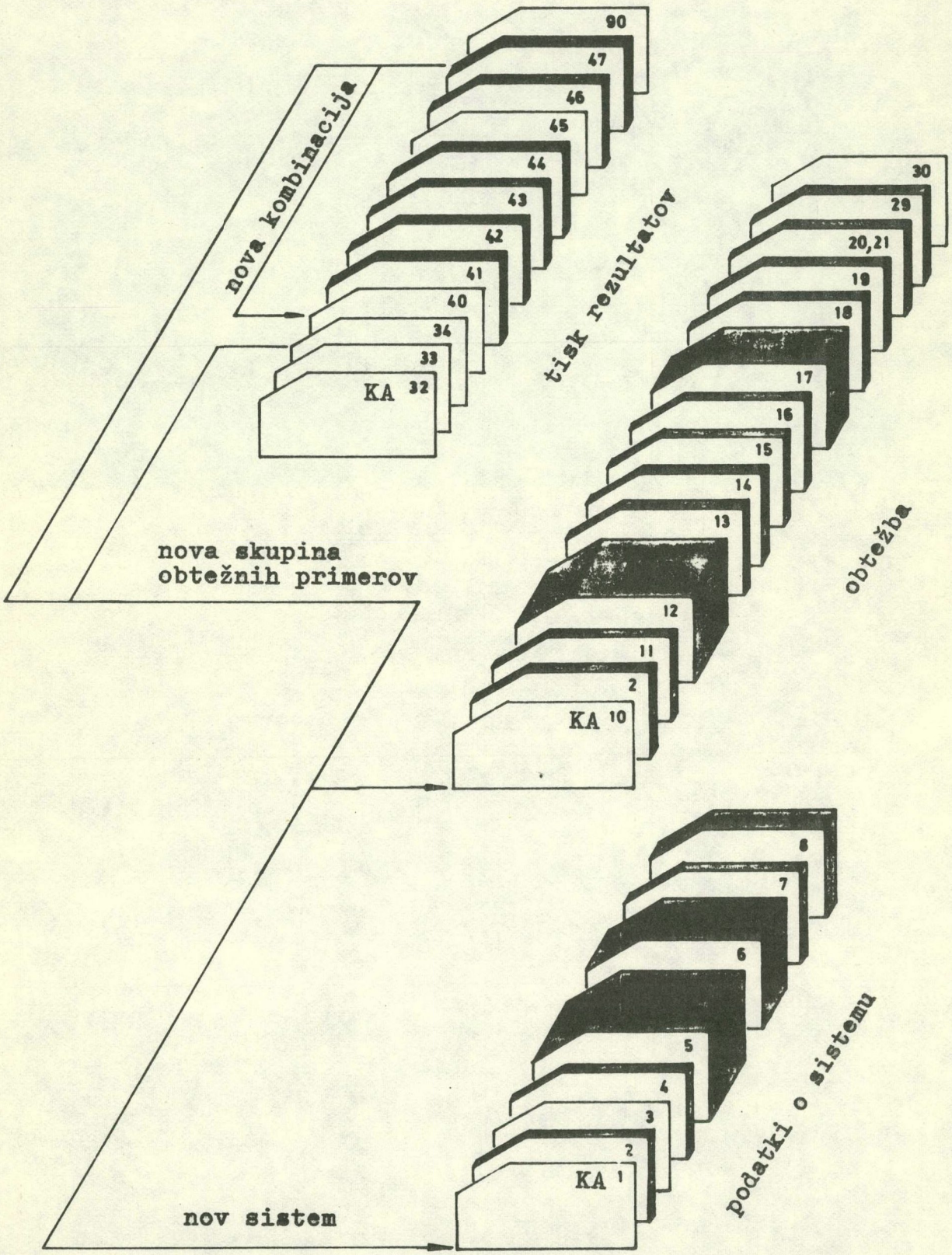
45 = I1 ... I6 Za količine I1 do I6 se upošteva samo stalna obtežba

46 = IEX I2 ... I6 Količina IEX je ekstremna, ostale so pripadajoče količine

Območje tiskanja:

47 = I1 I2 Rezultati se tiskajo za lupine od I1 do I2

2.4 PRIKAZ POPOLNEGA SESTAVA VHODNIH KARTIC



3. NAPAKE V PODATKIH IN PRI RAČUNU

3.1 NAPAKE V VHODNIH PODATKIH

Med napakami razlikujemo napake v sistemskih podatkih, napake med podatki o obtežbi in zahtevah za tisk in prekoračenje velikosti pomnilnika. K napakam v sistemskih podatkih lahko prištejemo tudi singularnost posameznih togostnih matrik.

Pri prvi odkriti sistemski napaki tiska program pripadajoče opozorilo in preide k računu naslednjega sistema.

Pri napaki v obtežbi ali zahtevah za tisk preide program k obdelavi naslednje skupine obtežnih primerov.

Kadar je obseg pomnilnika premajhen za tekoči problem program preneha z obdelavo.

Napake javlja program s besedo "NAPAKA" in s štirimi števili, od katerih je prvo pri sistemskih podatkih običajno oznaka zadnje prečitane kartice. V drugi vrstici so podani še podatki s te zadnje kartice (I1 do I6, L1 in L2, M1 in M2 ter R1 do R6). Vendar ni nujno, da je prav ta zadnja kartica napačna, le njeni podatki so v nasprotju s prej podanimi, ali pa stoji kartica na napačnem mestu. Kadar javi program napako med tiskanjem vhodnih podatkov, iščemo napako med zadnjimi natiskanimi podatki.

Tolmačenje napak:

NAPAKA 1 KA I1 I2
pomeni, da manjka kartica KA 1, na njenem mestu stoji kartica z oznako KA.

NAPAKA "i" xx xy xy
kjer leži "i" med 3 in 8, kaže na napako med podatki o sistemu na KA "i". Sledijo še podatki s kartice "i". Številka "i" je lahko tudi večja od 8, če podatkov o sistemu ne zaključuje KA 10.

NAPAKA 10 20 0 0
pomeni, da je predhodna kartica s podatki o obtežbi napačna. Te podatke program predhodno tiska, kot da bi bili pravilni in nato javi napako.

NAPAKA 30 I1 I2 I3
kaže na napako v KA 30

NAPAKA 51 I 0 0
na lupini "I" niso podani vsi napovedani odseki.

NAPAKA 52 I 0 0
pri vozlišči "I" manjka radij ali pa je pri prizmatični lupini radij podan.

NAPAKA 52 0 0 0
niso bili podani vsi napovedani profili

NAPAKA 53 0 0 0
obseg spomina je že za podatke o lupinah in za njihov sistem enačb premajhen. Preveri oštevilčenje vozlišč!

NAPAKA 54 0 0 0
obseg spomina ne zadošča za vse podane točkovne robne pogoje.

NAPAKA 55 I 0 0
podatki o razpori I manjkajo

NAPAKA 56 I 0 0
podatki o razpori I so napačni

NAPAKA 60 0 0 0
ponovitev obtežbe na KA 21 je napačna

NAPAKA 100 0 0 0
pri simetrični konstrukciji (KA 3/L1) je podana antisimetrična obtežba

NAPAKA 140 I1 I2 0
pri kombinaciji I1, ki vsebuje alternativno skupino večjo od I2, manjka skupina I2.

NAPAKA 1000 KA I 0
pri kombinaciji I je na KA napaka, ali manjka pred kombinacijo, to je za podatki o obtežbi KA 30.

Dalje se preverja tudi skladnost geometrijskih podatkov, izpis napak je v tem primeru beseden in razumljiv.

3.2 SINGULARNOST MATRIK

Pri numerični obdelavi lahko naleti program na singularno matriko. V tem primeru ne more nadaljevati obdelave in tiska eno izmed naslednjih opozoril:

MATRIKA LUPINE i JE SINGULARNA

Do singularnosti posamezne lupinske matrike lahko pride, če je zaradi vpeljanih členkov preveč sproščena in ni več stabilna ali, če je lupina predolga in nerešljiva iz numeričnih razlogov.

MATRIKA SISTEMA JE SINGULARNA

Do singularnosti sistemove matrike pride:

1) če lupina ni stabilno podprta, ali če je vpeljano toliko členkov, da se del lupine lahko giblje, Pri presoji stabilnosti ne smemo upoštevati razpor, točkovnih opor in točkovnih vpetosti.

2) Če je neko vozlišče nestabilno, to je, da ni v vseh smereh povezano z lupino ali vsaj elastično podprto.

3) Če so posamezne lupine predolge in je sistem numerično nestabilen.

MATRIKA OPOR JE SINGULARNA

Do singularnosti matrike opor (to je matrika točkovnih robnih pogojev - opor, razpor in točkovnih vpetosti) lahko pride:

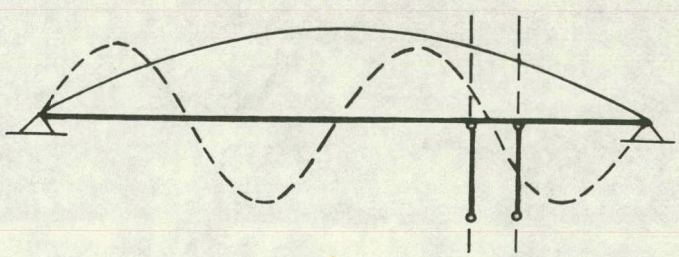
1) če povezuje neelastična razpora dve vozlišči, ki sta v smeri razpore nepomični

2) če tvorijo neelastične razpore statično nedoločeno paličje

3) če sta si dva točkovna robna pogoja zelo podobna ali celo enaka (n.pr. če namestimo dve enaki razpori na istem mestu in v isti smeri)

4) če upoštevamo premalo Fourierjevih členov, tako da postanejo sicer različne razpore skoraj enake:

Primer:



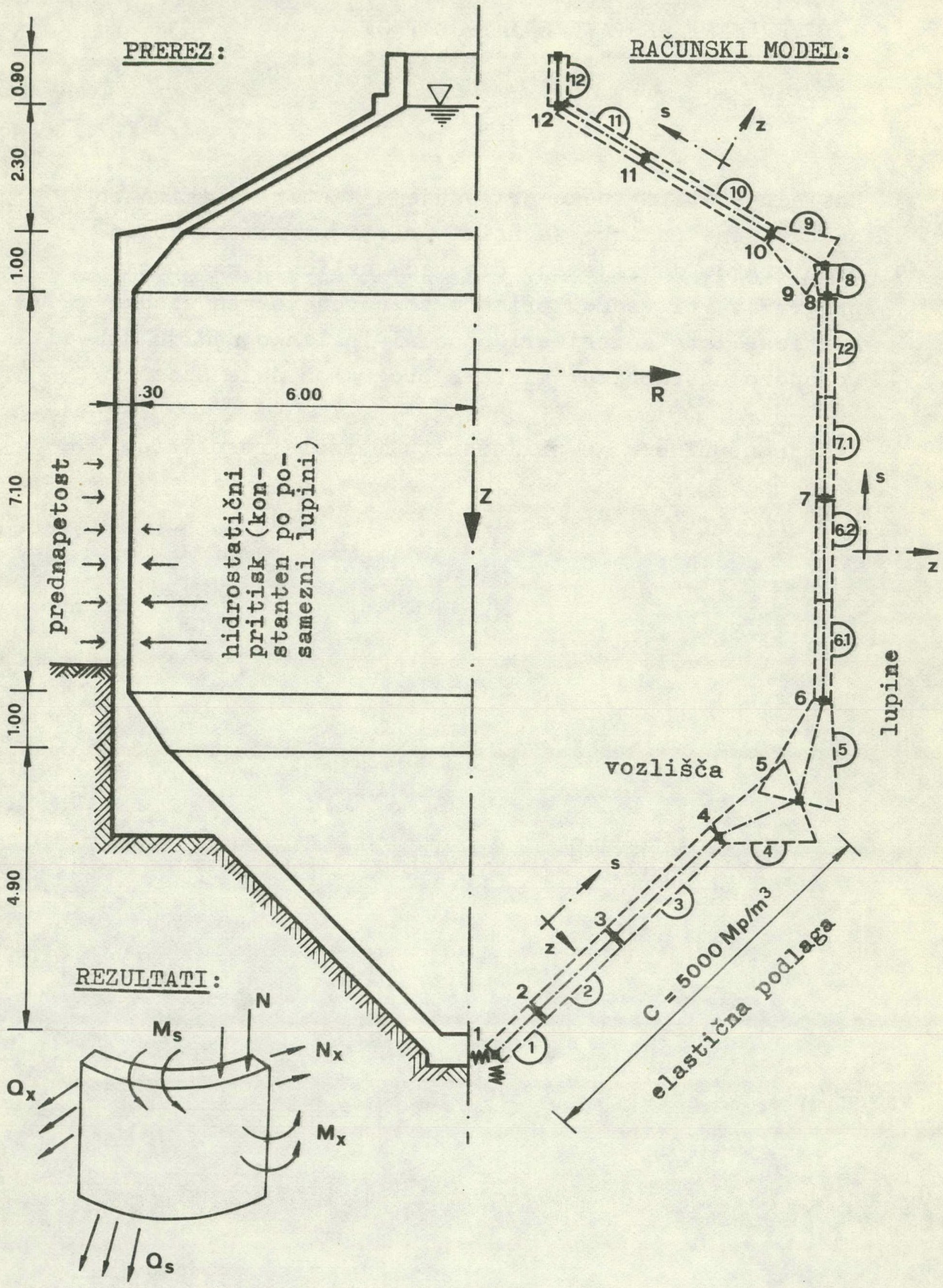
Med obema razporama naj leži vsaj ena ničla najvišjega Fourierjevega člena.

4. PRIMERI SESTAVLJENIH PODATKOV

Naslednje štiri točke prikazujejo sistemske skice in sestavljene podatke za štiri primere. Primeri so izbrani tako, da zajemajo čim več različnih možnosti programa. Pri vsakem primeru so navedene vse vhodne kartice, zato so primeri popolni in lahko nudijo dobro oporo uporabniku, ki se s programom šele spoznava.

Zadnjemu primeru je priložen tudi izpis rezultatov.

4.1 LUPINA GNILIŠČA PRI ČISTILNI NAPRAVI



1 PRIMER 1 - LUPINA GNILISCA PRI CISTILNI NAPRAVI
2
2 DIMENZIDE MP, M
2 ==========
3 13 12 1 6
4 1 34 6 167 25 12 -5
5 1 1 2 1 053
5 1 1 5 3 066 -066 40
5 2 2 3 1 119
5 2 1 5 3 132 -132 40
5 3 3 4 1 251
5 3 1 5 3 198 -198 40
5 4 4 5 1 449
5 4 1 5 3 132 -050 40 140
5 5 5 6 1 581
5 5 1 34 -170 140 30
5 6 6 7 2 615
5 6 1 -180 30
5 6 2 -180 30
5 7 7 8 2 615
5 7 1 -180 30
5 7 2 -180 30
5 8 8 9 1 615
5 8 1 -05 -50 30 50
5 9 9 10 1 610
5 9 1 -100 -60 100 20
5 10 10 11 1 510
5 10 1 -225 -130 20 20
5 11 11 12 1 285
5 11 1 -150 -087 20 20

5	12		12	13			1	135							
5	12	1							-90			30			
6	1				1			53		321	6	1325	3	835	4
6	2							119							
6	3							251							
6	4							449							
6	5							581							
6	6							615							
6	7							615							
6	8							615							
6	9							610							
6	10							510							
6	11							285							
6	12							135							
6	13							135							
8	1								180						
10	PRIMER 1=LASTNA TEZA, 2=VØDA, 3=PREDNAPETOST, 4=TEMPERATURA DELTA TZ 8														
11	1				1										
11	5				4			8							
12	1	0	1	1	2	1				1630					
12	2	0	1	1	2	1				1534					
12	3	0	1	1	2	1				1366					
12	4	0	1	1	2	1				1242					
12	5	0	1	1	2	1				1132					
12	6	0	1	1	2	1				957					
12	6	1	2	1	2	1				777					
12	7	0	1	1	2	1				597					
12	7	1	2	1	2	1				417					
12	8	0	1	1	2	1				302					
12	9	0	1	1	2	1				247					

$$F_z = 5000 \cdot 0{,}53/2 = 1325 \ Mp/m^2$$

$$F_R = \frac{0{,}5 \cdot 3{,}4 \cdot 10^6}{0{,}53} = 3{,}21 \cdot 10^6 \ Mp/m^2$$

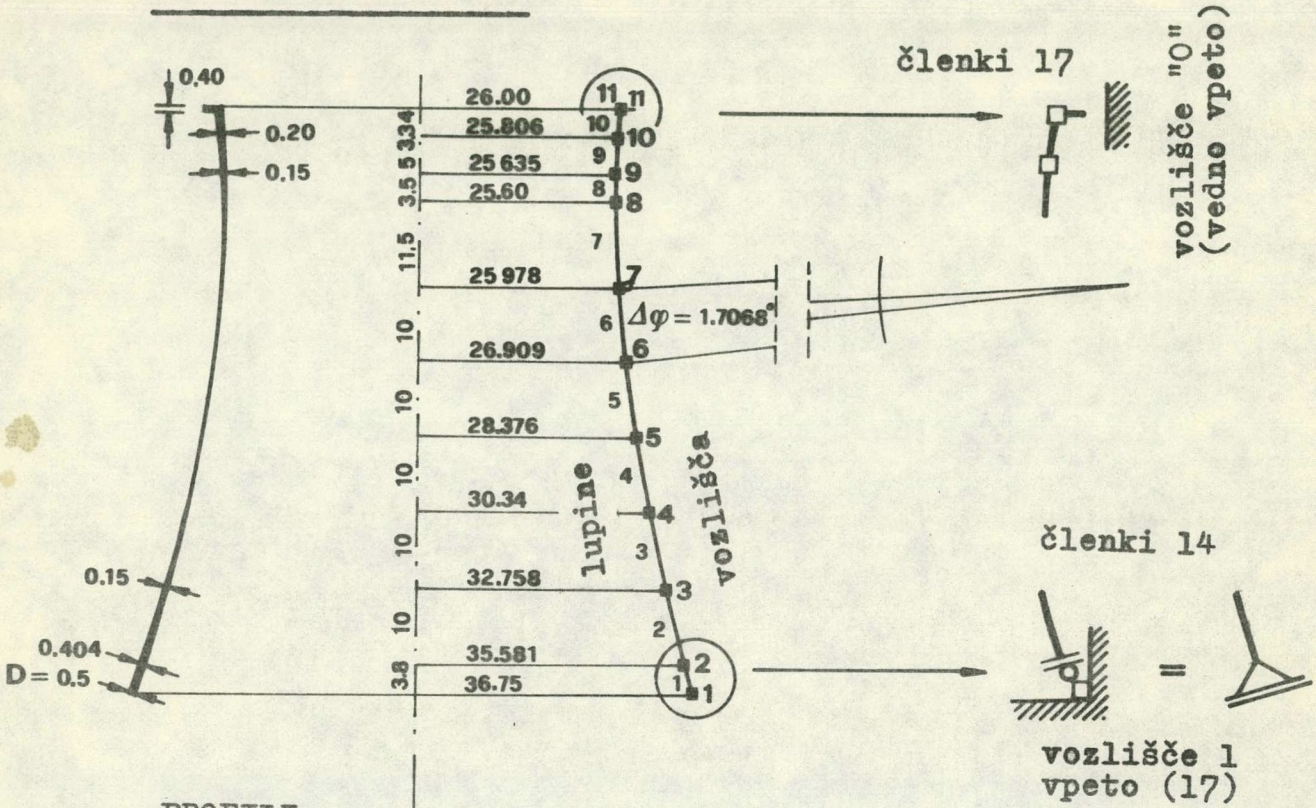
$$F_M = \frac{0{,}5^3 \cdot 3{,}4 \cdot 10^6}{12 \cdot 0{,}53\,(1-0{,}167)} = 8{,}35 \cdot 10^6 \ Mp$$

LUPINA GNILIŠČA

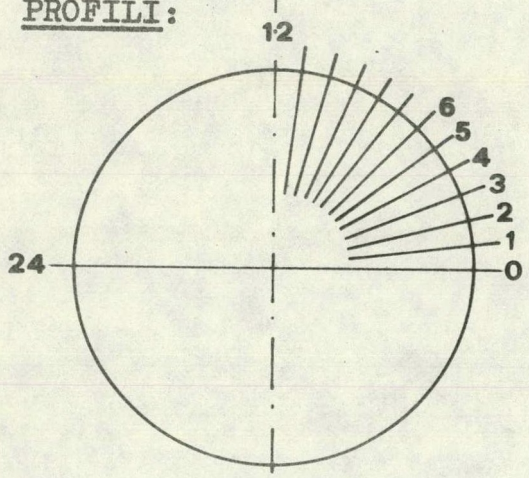
③

12	10	0	1	1	2	1						152		
12	11	0	1	1	2	1						43		
12	5	0	1	1	3	1						-7		
12	6	0	1	1	3	1						-15		
12	6	1	2	1	3	1						-14		
12	7	0	1	1	3	1						-10		
12	7	1	2	1	3	1						-7		
12	8	0	1	1	3	1						-6		
17	5			1	3	1			-10					
17	9			1	3	1			-10					
30														
34							1	5	10	12	7	3	8	
40	SESTEVANJE OBTEŽNIH PRIMEROV 1 + 2 + 3													
42	1	2	3											
45	1	5	10	12	7	3								
45	8													
47														

4.2 HLADILNI STOLP



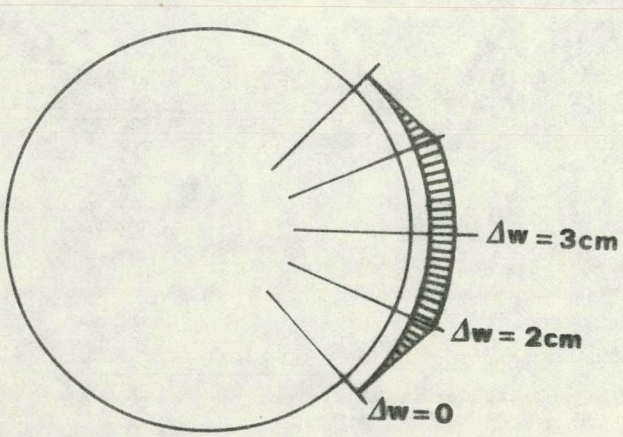
PROFILI:



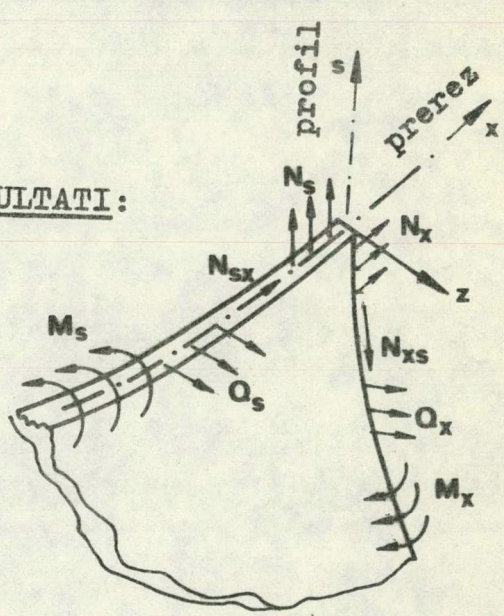
OBTEŽNI PRIMERI:

1) lastna teža
2) veter
3) potres (7,5%g)
4) temperatura T=-40°
5) posedanje terena

POSEDANJE TERENA:



REZULTATI:



HLADILNI STOLP

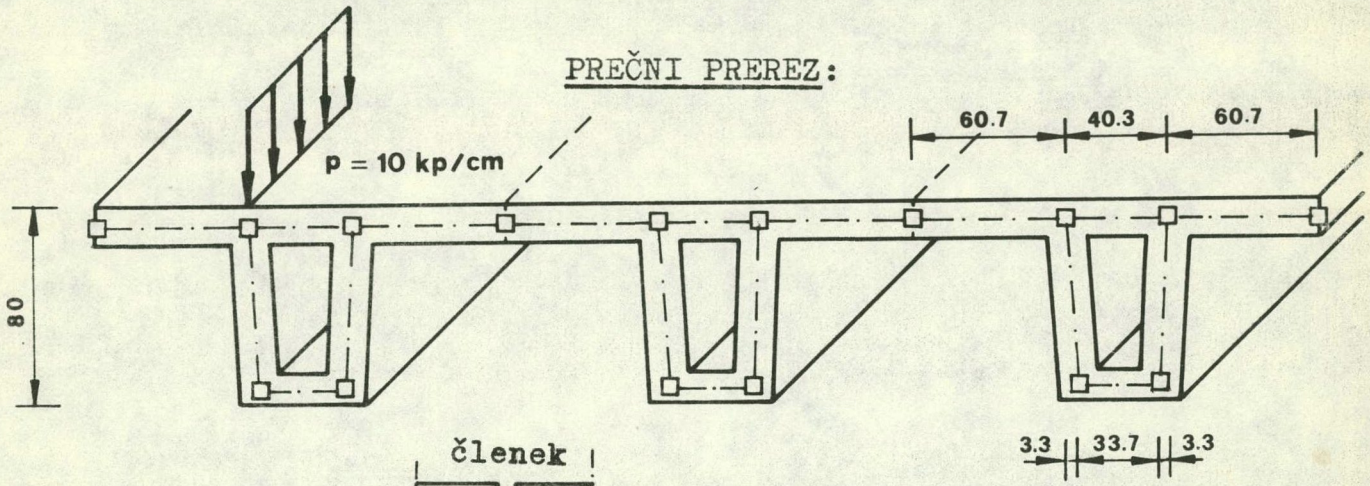
(1)

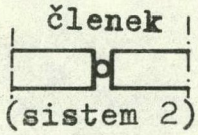
```
1   PRIMER 2 - HLADILNI STØLP, VISINA 93.34 M, RADIJ SPØDAJ 36,75 M
2   DIMENZIJE METER, MEGAPØND
2   ==========================
3    11  12     24                                   256
4     1                                   3    6   16     25     12   -5
5     1      1   2       14      1     36750
5     1   1                            -1169     38                5       404   12252-1
5     2      2   3                 1     35581
5     2   1                            -2823     10                404      15   30318-1
5     3      3   4                 1     32758
5     3   1                            -2418     10                15            27003-1
5     4      4   5                 1     30340
5     4   1                            -1964     10                15            23534-1
5     5      5   6                 1     28376
5     5   1                            -1467     10                15            20146-1
5     6      6   7                 1     26909
5     6   1                             -931     10                15            17068-1
5     7      7   8                 1     25978
5     7   1                             -378    115                15            16341-1
5     8      8   9                 1     25600
5     8   1                               35     35                15             4375-1
5     9      9  10                 1     25635
5     9   1                              171      5                15       2     5814-1
5    10     10  11                 1     25806
5    10   1                              194    334                2             3620-1
5    11     11   0          17      1     26000
5    11   1                               11                        4
6     1                   17            36750
6     2                                 35581
6     3                                 32758
```

6	4									30340									
6	5									28376									
6	6									26909									
6	7									25978									
6	8									25600									
6	9									25635									
6	10									25806									
6	11									26000									
8	1							23				75							
10	OBTEZBA 1=LASTNA TEZA, 2=VETER, 3=POTRES (.075G), 4=TEMPERATURA, 5=POSEDANJE																		
11	1							1		-1									
11	1							3			-75	-90							
11	5							4		-40									
20	1	10						2			120								
14	1					3		5	1					-3				-2	
14	1				3	6		5	1					-2				-1	-9
30	0	10																	
34			1	1	4			1											
34			1	1	4			4											
34				12	4			3											
34					4			2											
34					4			5											

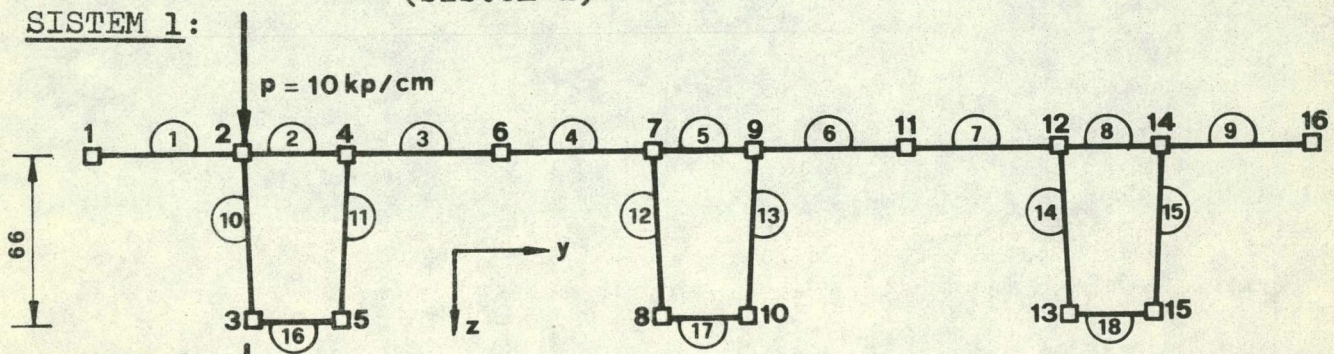
4.3 MOST ŠKATLASTEGA PREREZA IZ MONTAŽNIH ELEMENTOV

PREČNI PREREZ:

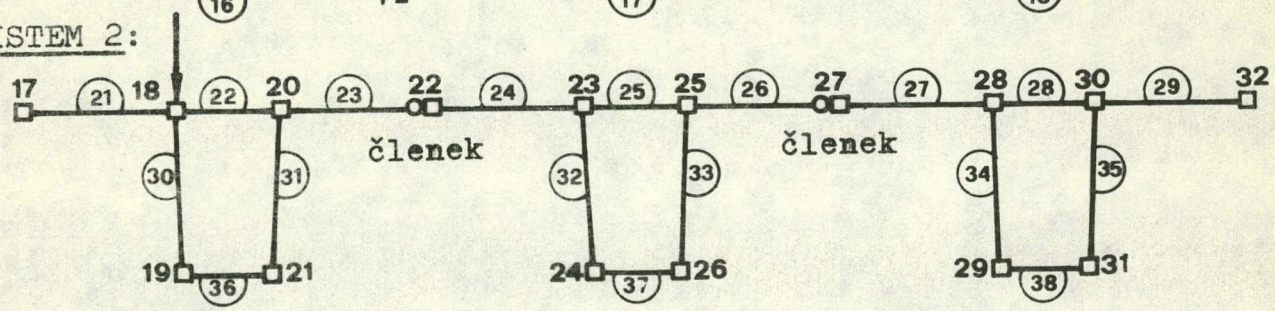




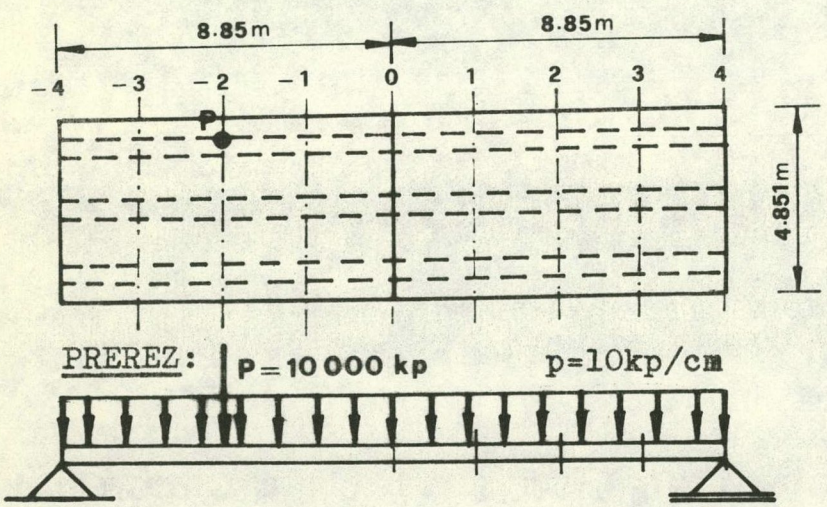
SISTEM 1:



SISTEM 2:



TLORIS S PROFILI:



OBTEŽNI PRIMERI:

1) simetrična linijska obtežba 10 kp/cm
2) asimetrična točkovna sila 10000 kp

Istočasno se računata obe konstrukciji - s členki in brez njih. To je mogoče z uporabo ponovitev lupin.

P5(Y) R6(Z)

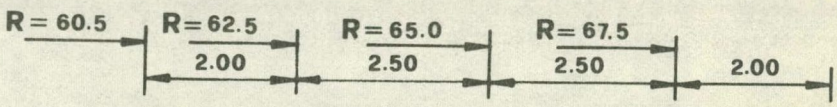
```
1  PRIMER 3 - MOST SKATLASTEGA PREREZA IZ MONTAZNIH ELEMENTOV
2  ISTOCASNO SE RACUNATA DVE KONSTRUKCIJI, PRVA S CLENKASTIMI IN
2  DRUGA S FIKSNIMI STIKI
2  ==========================================================================
2
2  DIMENZIJE KP, CM
2  ================
3   32  38      4                     885
4    1                                   375  6    167     25  -3   12  -5
5    1       1   2                 1
5    1   1                             607                          16
5    2       2   4                 2
5    2   1                             2015                         16
5    3       4   6       1
5    4       6   7       1         1
5    5       7   9       2         1
5    6       9  11       1         1
5    7      11  12       1         1
5    8      12  14       2         1
5    9      14  16       1
5   10       2   3                 1
5   10   1                         1   33      66                   16
5   11       4   5                 1   1
5   11   1                             -33     66                   16
5   12       7   8      10         1
5   13       9  10      11         1
5   14      12  13      10         1
5   15      14  15      11         1
5   16       3   5                 1   1
5   16   1                             337                          12
```

ŠKATLAST MONTAŽNI MOST

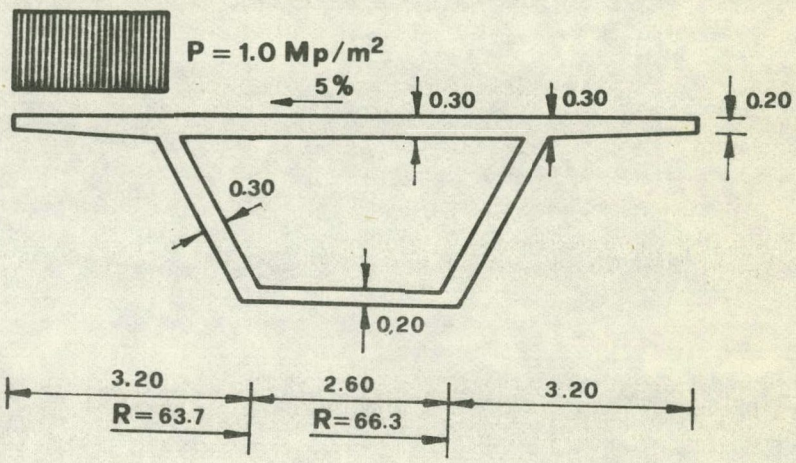
(2)

```
5   17      8  10     16          1
5   18     13  15     16          1
5   21     17  18      1
5   22     18  20      2          1
5   23     20  22          10  1
5   23  1                          403                    16
5   24     22  23      1
5   25     23  25      2          1
5   26     25  27     23          1
5   27     27  28      1          1
5   28     28  30      2          1
5   29     30  32      1
5   30     18  19     10
5   31     20  21     11          1
5   32     23  24     10          1
5   33     25  26     11          1
5   34     28  29     10          1
5   35     30  31     11          1
5   36     19  21     16          1
5   37     24  26     16          1
5   38     29  31     16          1
8    1                      3       22125
10  OBTEZBA SAMØ V VOZLISCU 2 (IN 18) 1= 1000KP/M, 2= 10 MP V PRØFILU -2
17   2              4     1 1                          10
17  18              4     1 1                          10
17   2         -2  -2     2                            1     4
17  18         -2  -2     2                            1     4
30   1  21
34                                  5 10     4  7     8 12
```

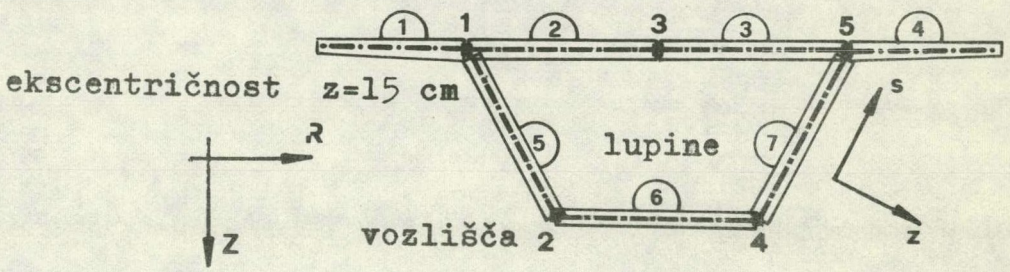
4.4 MOST ŠKATLASTEGA PREREZA PREKO TREH POLJ V KRIVINI



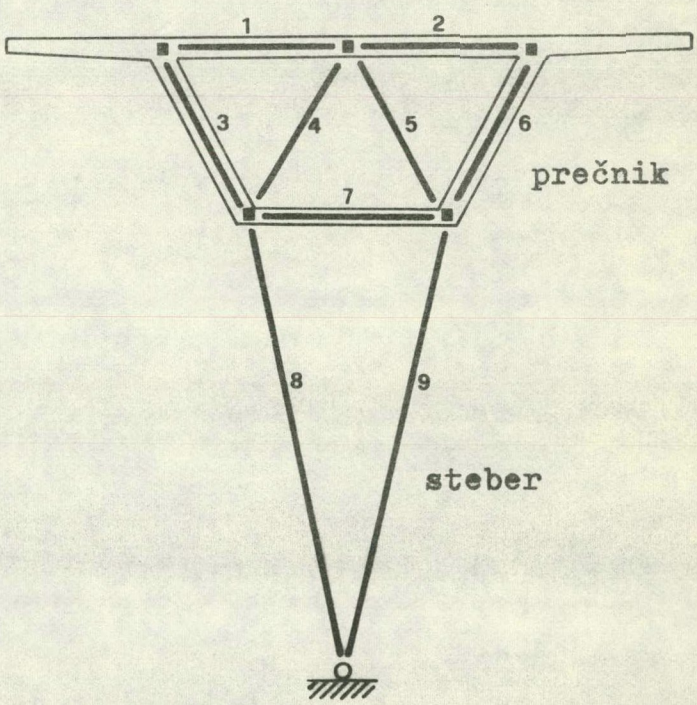
PREČNI PREREZ:



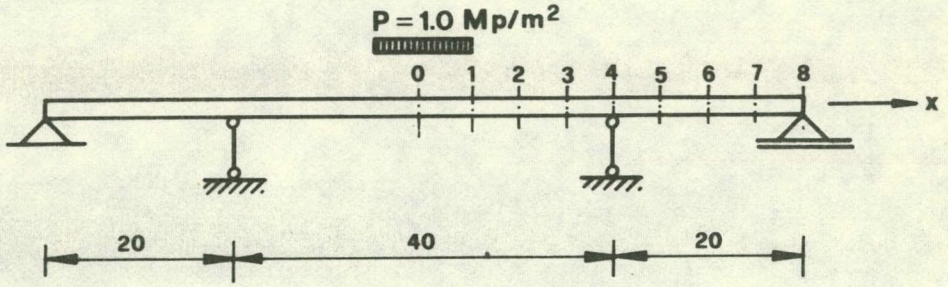
OŠTEVILČENJE LUPIN IN VOZLIŠČ:



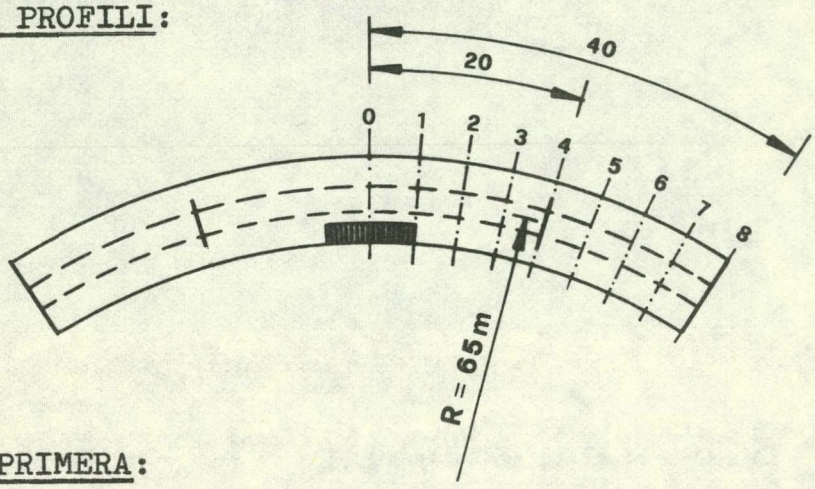
RAZPORE IN OPORE V PROFILU 4 IN -4 (PREČNIK IN STEBER):



VZDOLŽNI PREREZ:



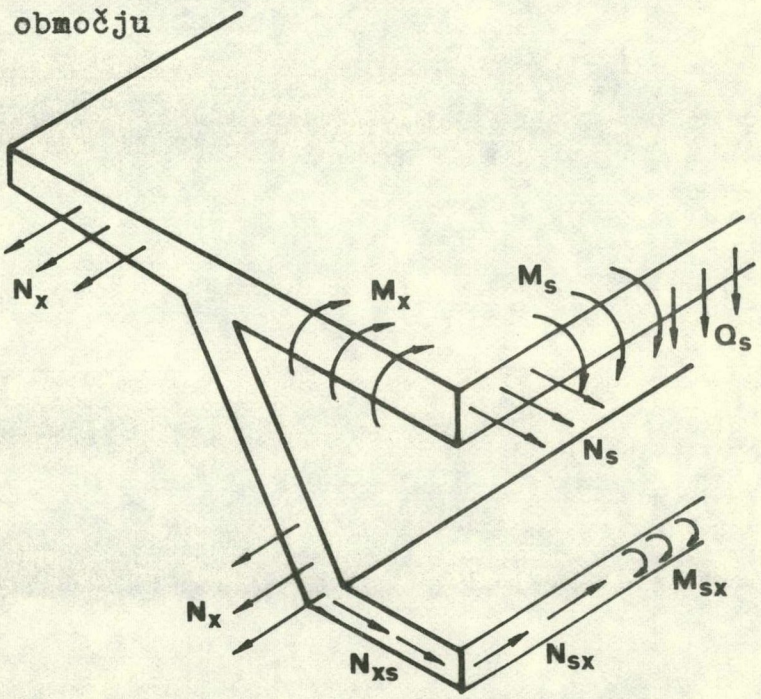
TLORIS S PROFILI:



OBTEŽNA PRIMERA:

1) lastna teža
2) ploskovna obremenitev p= 1,0 Mp/m^2
   na šrafiranem območju

REZULTATI:



R6 (Z)

```
1  PRIMER 4 - MØST SKATLASTEGA PREREZA PREKØ TREH PØLJ V KRIVINI
2  DIMENZIJE METER, MEGAPØND
2  ==========================
3    5  7  9  8          1          40                  60
4    1                                3    6    167     25        12   -5
5    1     0  1       17      1     605
5    1  1                             2          -1                20        30
5    2     1  3                 1   625
5    2  1                            25         -15                30
5    3     3  5                 1   650
5    3  1                            25         -15                30
5    4     5  0          17     1   675
5    4  1                             2          -1                30        20
5    5     1  2                 1   625                             15
5    5  1                            12         22                 30
5    6     2  4                 1   637
5    6  1                            26                            20
5    7     4  5                 1   663                                          -15
5    7  1                            12        -223                30
6    1                               625
6    2                               637
6    3                               650
6    4                               663
6    5                               675
7    1  1  4     3  4                                   -015     2   -6
7    2  3  4     5  4                                   -015     2   -6
7    3  1  4     2  4                                    235     2   -6
7    4  2  4     3  4                                  -2365     2   -6
7    5  3  4     4  4                                   2365     2   -6
7    6  4  4     5  4                                   -238     2   -6
```

ŠKATLAST MOST V KRIVINI

KA	KR	ST. I1	I2	I3	I4	I5	I6	L1	L2	M1	M2	R1 (X)	R2 (Y)	R3 (Z)	R4 (X)	R5 (Y)	R6 (Z)
7		7	2	4		4	4								2	-6	
7		8	2	4									13	6			
7		9	4	4									-13	6			
8		1							7			5					
10		OBTEŽBA 1=LASTNA TEŽA, 2=PLOŠKOVNA OBREMENITEV NA SREDNJEM DELU															
11		1						1									
12		1		1		1		2	1	1				1			
30		1	35														
34						4											
40		KOMBINACIJA (SAMO ZA PRIKAZ KAKO DELUJE)															
42		1															
43		2															
45		10															
46		10	12														
47		1	1														
47		5	5														

PRIMER 4 - MOST SKATLASTEGA PREREZA PREKO TREH POLJ V KRIVINI LIST 1

```
 LLL   L   L  LLLLL  L      L       LLL
L   L  L   L  L      L      L      L   L
L      L   L  L      L      L      L
 LLL   LLLLL  LLLL   L      L       LLL
    L  L   L  L      L      L          L
L   L  L   L  L      L      L      L   L
 LLL   L   L  LLLLL  LLLLL  LLLLL   LLL
```

RAZLAGA KODE VPETJA VOZLISC IN CLENKOV LUPIN

SIFRA 1 = VPETJE ZA POMIK U OZ. CLENEK ZA NSX
2 = VPETJE ZA POMIK V OZ. CLENEK ZA NS
4 = VPETJE ZA POMIK W OZ. CLENEK ZA QS
10 = VPETJE ZA ZASUK FI-S OZ. CLENEK ZA MS
SIFRE SE V KOMBINACIJI POLJUBNO SESTEVAJO

PROGRAM ZA LUPINE PO UPOGIBNI TEORIJI - VERZIJA SEPTEMBER 1977
==========
DIMENZIJE METER, MEGAPOND
==========

P O D A T K I O S I S T E M U
==========
TIP KONSTRUKCIJE JE IZSEK KROZNOSIMETRICNE LUPINE
STEVILO VOZLISC (NA PROFILU) = 5
STEVILO LUPIN (ELEMENTOV V PROFILU) = 7
STEVILO TOCKOVNIH OPOR IN RAZPOR (VSOTA) = 9
STEVILO PRECNIH PROFILOV = 8
RADIJ OSI LUPINE (OS PROFILOV) = .60000000E+02
POLOVICNA DOLZINA OSI LUPINE A = 40.000
POLOVICNI SREDISCNI KOT THETA = 38.197

PODATKI O MATERIALU
==========

MATERIAL ST. 1 E-MODUL .3000E+07 POIS.STEV .1670 SPEC.TEZA .250E+01 SPEC.TEMP.RAZT. .120E-04

PODATKI O LUPINAH (OPIS KARAKTERISTICNEGA PROFILA)
==========

LUPINA ST. 1 OD VOZLISCA 0 DO VOZLISCA 1 (ZACETNI CLENKI 17 KONCNI CLENKI, 0) ZACETNI RADIJ .605000E+02
========== ODSEKI

ST.	DOLZINA	DELTA-R	DELTA-Z	NAGIB-FI	DEB/ZAC	DEB/KON	MAT.	ELAST.PODL.	UKRIVLJENOST(R,DELTA-FI,PUSCICA)
1	2.000	2.000	-.010	359.714	.200	.300	1		

LUPINA ST. 2 OD VOZLISCA 1 DO VOZLISCA 3 (ZACETNI CLENKI 0 KONCNI CLENKI, 0) ZACETNI RADIJ .625000E+02
========== ODSEKI

ST.	DOLZINA	DELTA-R	DELTA-Z	NAGIB-FI	DEB/ZAC	DEB/KON	MAT.	ELAST.PODL.	UKRIVLJENOST(R,DELTA-FI,PUSCICA)
1	2.500	2.500	-.015	359.656	.300	.300	1		

LUPINA ST. 3 OD VOZLISCA 3 DO VOZLISCA 5 (ZACETNI CLENKI 0 KONCNI CLENKI, 0) ZACETNI RADIJ .650000E+02
========== ODSEKI

ST.	DOLZINA	DELTA-R	DELTA-Z	NAGIB-FI	DEB/ZAC	DEB/KON	MAT.	ELAST.PODL.	UKRIVLJENOST(R,DELTA-FI,PUSCICA)
1	2.500	2.500	-.015	359.656	.300	.300	1		

LUPINA ST. 4 OD VOZLISCA 5 DO VOZLISCA 0 (ZACETNI CLENKI 0 KONCNI CLENKI, 17) ZACETNI RADIJ .675000E+02
========== ODSEKI

ST.	DOLZINA	DELTA-R	DELTA-Z	NAGIB-FI	DEB/ZAC	DEB/KON	MAT.	ELAST.PODL.	UKRIVLJENOST(R,DELTA-FI,PUSCICA)
1	2.000	2.000	-.010	359.714	.300	.200	1		

LUPINA ST. 5 OD VOZLISCA 1 DO VOZLISCA 2 (ZACETNI CLENKI 0 KONCNI CLENKI, 0) ZACETNI RADIJ .625000E+02
========== ODSEKI
EKSCENTRICNOST ZACETKA - DELTA Y 0.000, DELTA-Z .150, NAGIB 90.000

ST.	DOLZINA	DELTA-R	DELTA-Z	NAGIB-FI	DEB/ZAC	DEB/KON	MAT.	ELAST.PODL.	UKRIVLJENOST(R,DELTA-FI,PUSCICA)
1	2.506	1.200	2.200	61.390	.300	.300	1		

LUPINA ST. 6 OD VOZLISCA 2 DO VOZLISCA 4 (ZACETNI CLENKI 0 KONCNI CLENKI, 0) ZACETNI RADIJ .637000E+02
========== ODSEKI

ST.	DOLZINA	DELTA-R	DELTA-Z	NAGIB-FI	DEB/ZAC	DEB/KON	MAT.	ELAST.PODL.	UKRIVLJENOST(R,DELTA-FI,PUSCICA)
1	2.600	2.600	0.000	0.000	.200	.200	1		

LUPINA ST. 7 OD VOZLISCA 4 DO VOZLISCA 5 (ZACETNI CLENKI 0 KONCNI CLENKI, 0) ZACETNI RADIJ .663000E+02
========== ODSEKI
EKSCENTRICNOST KONCA - DELTA Y 0.000, DELTA Z -.150, NAGIB -90.000

ST.	DOLZINA	DELTA-R	DELTA-Z	NAGIB-FI	DEB/ZAC	DEB/KON	MAT.	ELAST.PODL.	UKRIVLJENOST(R,DELTA-FI,PUSCICA)
1	2.532	1.200	-2.230	298.285	.300	.300	1		

PRIMER 4 - MOST SKATLASTEGA PREREZA PREKO TREH POLJ V KRIVINI LIST 2

VPETOST IN NEPODAJNOST VOZLISC (VZDOLZ VZPOREDNIKA)

VOZLISCE ST. 1 OPIRANJE 0 POD NAGIBOM ALFA = 0.000, RADIJ = .625000000E+02
VOZLISCE ST. 2 OPIRANJE 0 POD NAGIBOM ALFA = 0.000, RADIJ = .637000000E+02
VOZLISCE ST. 3 OPIRANJE 0 POD NAGIBOM ALFA = 0.000, RADIJ = .650000000E+02
VOZLISCE ST. 4 OPIRANJE 0 POD NAGIBOM ALFA = 0.000, RADIJ = .663000000E+02
VOZLISCE ST. 5 OPIRANJE 0 POD NAGIBOM ALFA = 0.000, RADIJ = .675000000E+02

PODATKI O TOCKOVNIH OPORAH IN RAZPORAH

OPORA ST.	OPRTA TOCKA VOZLISCE	PROFIL	PODAJNOST OPORE	VEKTOR SMERI OPIRANJA X	Y OZ. R	Z	OPORNA TOCKA VOZLISCE	PROFIL	ZAMIK PERIODE
1	1	4	.20000E-05	0.000	2.500	-.015	3	4	0
2	3	4	.20000E-05	0.000	2.500	-.015	5	4	0
3	1	4	.20000E-05	0.000	1.200	2.350	2	4	0
4	2	4	.20000E-05	0.000	1.300	-2.365	3	4	0
5	3	4	.20000E-05	0.000	1.300	2.365	4	4	0
6	4	4	.20000E-05	0.000	1.200	-2.380	5	4	0
7	2	4	0.	0.000	2.600	0.000	4	4	0
8	2	4	0.	0.000	1.300	6.000	0	0	0
9	4	4	0.	0.000	-1.300	6.000	0	0	0

(VSE OPORE IN RAZPORE SO DVOJNE - SIMETRICNE NA X=0 RAVNINO)

ODDALJENOST PROFILOV OD SREDNJEGA PROFILA (ORDINATA X)

PROFIL	1	2	3	4	5	6	7	8
0	5.000	10.000	15.000	20.000	25.000	30.000	35.000	40.000

SREDISCNI KOTI MED PROFILI IN SREDNJIM PROFILOM (THETA)

PROFIL	1	2	3	4	5	6	7	8
0	4.775	9.549	14.324	19.099	23.873	28.648	33.423	38.197

PRIMER 4 - MOST SKATLASTEGA PREREZA PREKO TREH POLJ V KRIVINI LIST 3
OBTEZBA 1= ASTNA TEZA, 2=PLOSKOVNA OBREMENITEV NA SREDNJEM DELU

P O D A T K I O 1. S K U P I N I O B T E Z N I H P R I M E R O V

OKRAJSAVE V NADALJNEM TEKSTU
SIME = SIM.OBTEZBA GLEDE NA PROFIL 0 LOKA = LOKALNI KOORDINATNI SISTEM LEVO = LEVO OD PREREZA
ANTI = ANTISIMETRICNA OBTEZBA GLOB = GLOBALNI KOORDINATNI SISTEM DESN = DESNO OD PREREZA (V SMERI OSTE-
ASIM = ASIMETRICNA OBTEZBA ST.OBREM = STEVILKA OBTEZNEGA PRIMERA VILCENJA PREREZOV)

1. OBREMENITEV UPOSTEVA LASTNO TEZO S FAKTORJEM F= .100E+01 POD KOTOM ALFA = 0.000

ENAKOMERNA OBREM.PLOSKVE MED PREREZOMA SI IN SK TER PROFILOMA PI IN PK LUPINE S SILAMI

ST.OBREM.	ST.LUP.	SI	SK	PI	PK		X,THETA	Y,R,S	Z
2	1	0	1	0	1	SIME GLOB	0.000	0.000	1.000

ZA IZRACUN KONCNIH REZULTATOV SE UPOSTEVAJO FOURIERJEVI CLENI OD 1 DO 35

STATICNO STANJE LUPINE JE SIMETRICNO

IZRACUNANE SILE OZ. MOMENTI V TOCKOVNIH OPORAH IN RAZPORAH (STEVILKA,VREDNOST)

OBTEZNI PRIMER ST. 1

1 -.3832E+01 2 -.9087E+01 3 -.2955E+02 4 -.1522E+02 5 .1684E+01 6 -.6429E+02 7 -.2911E+02
8 -.2125E+03 9 -.2366E+03

OBTEZNI PRIMER ST. 2

1 -.1685E+00 2 -.5654E+00 3 -.1017E+01 4 -.2168E+01 5 .1914E+01 6 -.1308E+01 7 -.7877E+00
8 -.8913E+01 9 -.4413E+01

PRIMER 4 - MOST SKATLASTEGA PREREZA PREKO TREH POLJ V KRIVINI
OBTEZBA 1=LASTNA TEZA, 2=PLOSKOVNA OBREMENITEV NA SREDNJEM DELU

LIST

REZULTAT OBTEZNEGA PRIMERA ST. 1 IZ SKUPINE ST. 1

LUP INA	PRE REZ	PRO FIL	QS	MS	MX	MSX	QX	NS	NSX	NX	V	U	W
1	0 D	0	0.000	0.000	.222	0.000	0.000	0.000	0.000	-51.201	.002	0.000	.016
1	0 D	1	0.000	0.000	.191	.029	.014	0.000	0.000	-44.325	.002	-.001	.014
1	0 D	2	0.000	0.000	.099	.046	.016	0.000	0.000	-23.614	.002	-.001	.010
1	0 D	3	0.000	0.000	-.061	.049	.006	0.000	0.000	9.744	.002	-.001	.005
1	0 D	4	0.000	0.000	-.334	.021	.011	0.000	0.000	40.473	.002	-.001	.000
1	0 D	5	0.000	0.000	-.117	-.009	.013	0.000	0.000	22.620	.001	-.001	-.001
1	0 D	6	0.000	0.000	-.012	-.014	-.005	0.000	0.000	2.189	.001	-.001	-.001
1	0 D	7	0.000	0.000	.022	-.012	-.015	0.000	0.000	-5.141	.000	-.001	-.000
1	0 D	8	0.000	0.000	.000	-.098	-.144	0.000	0.000	-.000	.000	-.001	.000
1	1 L	0	-1.218	1.174	.562	0.000	0.000	-.802	0.000	-70.962	.003	0.000	.017
1	1 L	1	-1.234	1.177	.449	.106	.010	-.606	-6.262	-61.271	.002	-.001	.015
1	1 L	2	-1.270	1.168	.113	.165	-.003	-.028	-12.430	-32.114	.002	-.001	.011
1	1 L	3	-1.303	1.173	-.429	.169	-.012	.765	-17.280	15.769	.002	-.001	.005
1	1 L	4	-1.615	1.105	-1.585	.078	.015	-8.167	-3.058	87.638	.002	-.001	-.000
1	1 L	5	-1.346	1.183	-.632	-.023	.047	1.006	11.262	33.825	.001	-.001	-.001
1	1 L	6	-1.323	1.175	-.280	-.049	.046	.617	6.628	3.594	.001	-.001	-.001
1	1 L	7	-1.223	1.159	-.111	-.041	.019	.642	.574	-8.386	.000	-.001	-.000
1	1 L	8	-.000	.000	-.000	.101	.725	-.000	-4.030	-.000	.000	-.001	-.000
2	0 D	0	1.060	-.620	.861	0.000	0.000	2.322	0.000	-70.440	.003	0.000	.017
2	0 D	1	1.228	-.254	.688	.106	-.188	2.308	3.403	-60.785	.002	-.001	.015
2	0 D	2	1.653	.699	.191	.165	-.302	2.272	8.360	-31.730	.002	-.001	.011
2	0 D	3	2.127	1.677	-.513	.169	-.147	2.351	16.094	16.034	.002	-.001	.005
2	0 D	4	1.207	1.463	-1.645	.078	-.093	-2.990	-1.269	88.503	.002	-.001	-.000
2	0 D	5	2.398	2.265	-.813	-.023	-.025	2.381	-17.974	34.055	.001	-.001	-.001
2	0 D	6	2.176	1.882	-.398	-.049	.167	2.356	-8.209	3.884	.001	-.001	-.001
2	0 D	7	1.932	1.458	-.161	-.041	.117	2.446	.093	-8.085	.000	-.001	-.000
2	0 D	8	.000	.000	-.000	.101	.706	.000	6.489	-.000	.000	-.001	-.000
2	1 L	0	-.770	-.971	.902	0.000	0.000	.607	0.000	-61.667	.003	0.000	.018
2	1 L	1	-.651	-.955	.797	-.041	-.044	.947	-5.140	-52.637	.002	-.001	.016
2	1 L	2	-.387	-.898	.451	-.077	-.015	1.792	-9.495	-25.287	.002	-.001	.012
2	1 L	3	-.166	-.691	-.003	-.013	.121	1.232	-12.942	22.383	.002	-.001	.005
2	1 L	4	-2.246	1.388	-2.225	.038	-.096	3.680	-4.327	67.892	.002	-.001	-.000
2	1 L	5	-.037	-.661	-.239	.084	-.280	2.708	4.546	37.548	.001	-.001	-.001
2	1 L	6	-.050	-.882	-.003	.133	-.052	4.076	2.069	5.541	.001	-.001	-.001
2	1 L	7	-.016	-1.090	.100	.041	.140	2.739	-.231	-5.653	.000	-.001	-.000
2	1 L	8	-.000	.000	.000	-.380	-.289	-.000	-1.260	.000	.000	-.001	.000
3	0 D	0	-.770	-.971	.902	0.000	0.000	.607	0.000	-61.667	.003	0.000	.018
3	0 D	1	-.593	-.955	.797	-.041	-.044	.933	-5.140	-52.640	.002	-.001	.016
3	0 D	2	-.178	-.898	.451	-.077	-.015	1.740	-9.495	-25.296	.002	-.001	.012
3	0 D	3	.229	-.691	-.003	-.013	.121	1.133	-12.942	22.366	.002	-.001	.005
3	0 D	4	2.660	1.388	-2.225	.038	-.096	2.451	-4.327	67.687	.002	-.001	-.000
3	0 D	5	.555	-.661	-.239	.084	-.280	2.559	4.546	37.523	.001	-.001	-.001
5	0 D	0	1.793	1.324	.114	0.000	0.000	-3.263	0.000	-56.222	.016	0.000	.006
5	0 D	1	1.494	1.005	.117	.108	.102	-3.192	-9.665	-48.793	.014	-.001	.005
5	0 D	2	.666	.168	.102	.170	.165	-2.953	-20.791	-26.445	.010	-.001	.003
5	0 D	3	-.270	-.655	-.007	.176	.066	-2.592	-33.374	10.545	.005	-.001	.001
5	0 D	4	.082	-.018	-.676	.078	.029	4.888	-1.789	61.797	.001	-.001	-.002
5	0 D	5	-.724	-1.156	-.013	-.030	.000	-2.362	29.236	24.570	-.001	-.001	-.002
5	0 D	6	-.268	-.855	.099	-.052	-.079	-2.566	14.837	1.396	-.000	-.001	-.001
5	0 D	7	.081	-.506	.121	-.041	-.018	-2.737	.481	-7.302	-.000	-.001	-.000
5	0 D	8	.000	-.000	.000	.103	-.181	-.000	-10.519	-.000	.000	-.001	-.000
5	1 L	0	-.848	-1.327	.642	0.000	0.000	-.243	0.000	159.837	.016	0.000	.007
5	1 L	1	-.880	-1.047	.518	.070	-.181	-.938	-1.322	134.403	.014	.001	.006
5	1 L	2	-.913	-.270	.147	.097	-.211	-2.676	-4.652	57.987	.010	.001	.004
5	1 L	3	-.613	.502	-.370	-.139	-.009	-5.139	-12.689	-62.927	.005	.001	.001
5	1 L	4	.447	.977	-.999	.113	-.118	-80.032	1.788	-201.622	.000	.000	-.002
5	1 L	5	-.713	.981	-.603	.326	-.198	-7.859	15.347	-107.215	-.001	-.001	-.002
5	1 L	6	-1.075	.689	-.296	-.011	.087	-6.563	4.809	-28.165	-.000	-.001	-.001
5	1 L	7	-.979	.351	-.081	-.104	.225	-3.456	-2.013	10.164	-.000	-.001	-.001
5	1 L	8	-.000	.000	-.000	-.291	.363	-.000	-6.858	.000	.000	-.001	-.000

PRIMER 4 - MOST SKATLASTEGA PREREZA PREKO TREH POLJ V KRIVINI LIST 9
OBTEZBA 1=LASTNA TEZA, 2=PLOSKOVNA OBREMENITEV NA SREDNJEM DELU

REZULTAT OBTEZNEGA PRIMERA ST. 2 IZ SKUPINE ST. 1

LUP INA	PRE REZ	PRO FIL	QS	MS	MX	MSX	QX	NS	NSX	NX	V	U	W
1	0 D	0	0.000	0.000	.048	0.000	0.000	0.000	0.000	-3.063	-.001	0.000	.002
1	0 D	1	0.000	0.000	.027	-.135	-.169	0.000	0.000	-2.239	-.001	.000	.002
1	0 D	2	0.000	0.000	.007	-.013	-.010	0.000	0.000	-.307	-.000	.000	.001
1	0 D	3	0.000	0.000	.000	-.005	-.012	0.000	0.000	1.789	-.000	.000	.001
1	0 D	4	0.000	0.000	-.018	-.005	-.010	0.000	0.000	3.213	-.000	.000	.000
1	0 D	5	0.000	0.000	-.013	-.005	-.006	0.000	0.000	2.873	-.000	.000	.000
1	0 D	6	0.000	0.000	-.010	-.005	-.003	0.000	0.000	1.931	-.000	.000	-.000
1	0 D	7	0.000	0.000	-.005	-.005	-.001	0.000	0.000	.956	-.000	.000	-.000
1	0 D	8	0.000	0.000	.000	-.005	.000	0.000	0.000	.000	-.000	.000	-.000
1	1 L	0	-1.883	1.875	-.203	0.000	0.000	.104	0.000	-6.888	-.001	0.000	.002
1	1 L	1	-.981	.975	-.088	-.142	.383	-.016	-.916	-4.724	-.001	.000	.001
1	1 L	2	-.057	.043	.014	-.016	.009	-.072	-1.012	-1.082	-.000	.000	.001
1	1 L	3	-.022	.005	-.013	-.010	.005	.021	-.909	1.853	-.000	.000	.001
1	1 L	4	-.010	.006	-.061	-.011	.004	-.199	-.282	5.010	-.000	.000	.000
1	1 L	5	.013	-.005	-.034	-.014	-.001	.069	.351	3.618	-.000	.000	-.000
1	1 L	6	.015	-.005	-.023	-.018	-.007	.055	.417	2.424	-.000	.000	-.000
1	1 L	7	.010	-.003	-.011	-.020	-.013	.028	.428	1.209	-.000	.000	-.000
1	1 L	8	-.000	.000	-.000	-.021	-.015	-.000	.429	.000	-.000	.000	-.000
2	0 D	0	.003	.254	.068	0.000	0.000	1.929	0.000	-6.584	-.001	0.000	.002
2	0 D	1	-.023	.055	.066	-.142	.127	1.002	2.715	-4.554	-.001	.000	.001
2	0 D	2	-.028	-.084	.035	-.016	-.032	.062	2.649	-1.060	-.000	.000	.001
2	0 D	3	.006	.006	-.013	-.010	-.013	.049	2.593	1.858	-.000	.000	.001
2	0 D	4	.016	.043	-.067	-.011	-.007	-.048	1.714	5.035	-.000	.000	.000
2	0 D	5	.035	.073	-.047	-.014	-.005	.029	.910	3.611	-.000	.000	-.000
2	0 D	6	.030	.065	.034	-.018	.007	.018	1.083	2.418	-.000	.000	-.000
2	0 D	7	.017	.035	-.018	-.020	.010	.010	1.193	1.206	-.000	.000	-.000
2	0 D	8	.000	.000	-.000	-.021	.010	-.000	1.229	.000	-.000	.000	-.000
2	1 L	0	.056	.116	.013	0.000	0.000	.721	0.000	-6.323	-.001	0.000	.001
2	1 L	1	-.017	.093	.047	-.061	.053	.393	1.086	-4.945	-.001	.000	.001
2	1 L	2	-.062	.044	.044	-.029	.002	.094	1.088	-2.139	-.000	.000	.001
2	1 L	3	-.015	.015	-.007	-.008	-.009	.097	.962	.820	-.000	.000	.000
2	1 L	4	-.021	.040	-.068	-.003	-.011	.490	1.182	3.257	-.000	.000	-.000
2	1 L	5	.030	-.005	-.037	-.005	-.008	.158	1.461	2.792	-.000	.000	-.000
2	1 L	6	.029	-.011	-.030	-.012	.001	.187	1.493	1.788	-.000	.000	-.000
2	1 L	7	.018	-.007	-.015	-.020	.008	.111	1.529	.884	-.000	.000	-.000
2	1 L	8	-.000	.000	.000	-.023	.011	-.000	1.542	.000	-.000	.000	-.000
3	0 D	0	.056	.116	.013	0.000	0.000	.721	0.000	-6.323	-.001	0.000	.001
3	0 D	1	-.016	.093	.047	-.061	.053	.386	1.086	-4.946	-.001	.000	.001
3	0 D	2	-.058	.044	.044	-.029	.002	.066	1.088	-2.143	-.000	.000	.001
3	0 D	3	-.008	.015	-.007	-.008	-.009	.044	.962	.811	-.000	.000	.000
3	0 D	4	.066	.040	-.068	-.003	-.011	-.163	1.182	3.148	-.000	.000	-.000
3	0 D	5	.040	-.005	-.037	-.005	-.008	.079	1.461	2.779	-.000	.000	-.000
5	0 D	0	.770	1.346	-.168	0.000	0.000	-2.419	0.000	-5.102	.001	0.000	.001
5	0 D	1	.465	.768	-.089	-.141	.245	-1.277	-3.630	-3.441	.001	.000	.001
5	0 D	2	.094	.108	-.005	-.015	.039	-.085	-3.661	-.654	.001	.000	.001
5	0 D	3	.002	-.002	-.003	-.009	.016	-.009	-3.502	1.608	.000	.000	.001
5	0 D	4	-.007	-.019	-.023	-.011	.010	.241	-1.997	3.888	-.000	.000	.000
5	0 D	5	-.058	-.067	-.002	-.014	.005	.046	-.559	2.927	-.000	.000	.000
5	0 D	6	-.051	-.061	.001	-.017	-.004	.043	-.666	1.953	-.000	.000	.000
5	0 D	7	-.026	-.032	.001	-.020	-.007	.024	-.765	.975	-.000	.000	.000
5	0 D	8	-.000	-.000	-.000	-.020	-.008	-.000	-.800	.000	-.000	.000	.000
5	1 L	0	.589	-.474	.133	0.000	0.000	-.687	0.000	19.146	.001	0.000	.001
5	1 L	1	.279	-.298	.085	-.025	-.010	-.428	-1.702	13.767	.001	.000	.001
5	1 L	2	-.036	-.062	.018	.000	-.024	-.157	-2.296	4.770	.001	.000	.001
5	1 L	3	-.015	.011	-.013	-.006	-.022	-.205	-2.349	-2.305	.000	.000	.000
5	1 L	4	.047	.033	-.029	.000	-.019	-2.851	-1.516	-8.536	-.000	.000	.000
5	1 L	5	.013	.054	-.031	.003	-.011	-.298	-.755	-7.195	-.000	.000	.000
5	1 L	6	.002	.051	-.024	-.017	.004	-.243	-.958	-4.887	-.000	.000	.000
5	1 L	7	.002	.024	-.011	-.027	.014	-.148	-1.049	-2.409	-.000	.000	-.000
5	1 L	8	-.000	.000	-.000	-.029	.020	-.000	-1.084	-.000	-.000	.000	-.000

PRIMER 4 - MOST SKATLASTEGA PREREZA PREKO TREH POLJ V KRIVINI LIST 13
OBTEZBA 1=LASTNA TEZA, 2=PLOSKOVNA OBREMENITEV NA SREDNJEM DELU

1. KOMBINACIJA OBTEZNIH PRIMEROV IZ 1. SKUPINE

KOMBINACIJA (SAMO ZA PRIKAZ KAKO DELUJE)

STALNA OBREMENITEV (STEVILKE OBTEZNIH PRIMEROV, KI SE UPOSTEVAJO PRI VSEH REZULTATIH)

1

PROMETNA OBREMENITEV (STEVILKE OBTEZNIH PRIMEROV, KI SE UPOSTEVAJO LE, KADAR PRISPEVAJO K EKSTREMU)

2

PRIMER 4 - MOST SKATLASTEGA PREREZA PREKO TREH POLJ V KRIVINI LIST 14
OBTEZBA 1=LASTNA TEZA, 2=PLOSKOVNA OBREMENITEV NA SREDNJEM DELU

REZULTATI 1. KOMBINACIJE 1. SKUPINE OBTEZNIH PRIMEROV

LUPINA ST.	PREREZ ST.		PROFIL ST.	NX STALNO	NX MAXIMUM	MX PRIPAD.	NX MINIMUM	MX PRIPAD.
1	0	D	0	-51.201	-51.201	.222	-54.264	.270
1	0	D	1	-44.325	-44.325	.191	-46.565	.218
1	0	D	2	-23.614	-23.614	.099	-23.920	.106
1	0	D	3	9.744	11.533	-.061	9.744	-.061
1	0	D	4	40.473	43.686	-.351	40.473	-.334
1	0	D	5	22.620	25.493	-.129	22.620	-.117
1	0	D	6	2.189	4.120	-.022	2.189	-.012
1	0	D	7	-5.141	-4.185	.017	-5.141	.022
1	0	D	8	-.000	-.000	.000	-.000	.000
1	1	L	0	-70.962	-70.962	.562	-77.851	.359
1	1	L	1	-61.271	-61.271	.449	-65.995	.361
1	1	L	2	-32.114	-32.114	.113	-33.196	.127
1	1	L	3	15.769	17.622	-.442	15.769	-.429
1	1	L	4	87.638	92.648	-1.646	87.638	-1.585
1	1	L	5	33.825	37.444	-.666	33.825	-.632
1	1	L	6	3.594	6.018	-.302	3.594	-.280
1	1	L	7	-8.386	-7.177	-.122	-8.386	-.111
1	1	L	8	-.000	-.000	-.000	-.000	-.000

LUPINA ST.	PREREZ ST.		PROFIL ST.	NX STALNO	NX MAXIMUM	MX PRIPAD.	NX MINIMUM	MX PRIPAD.
5	0	D	0	-56.222	-56.222	.114	-61.324	-.053
5	0	D	1	-48.793	-48.793	.117	-52.235	.028
5	0	D	2	-26.445	-26.445	.102	-27.099	.097
5	0	D	3	10.545	12.154	-.010	10.545	-.007
5	0	D	4	61.797	65.684	-.699	61.797	-.676
5	0	D	5	24.570	27.497	-.016	24.570	-.013
5	0	D	6	1.396	3.349	.100	1.396	.099
5	0	D	7	-7.302	-6.328	.122	-7.302	.121
5	0	D	8	-.000	-.000	.000	-.000	.000
5	1	L	0	159.837	178.983	.775	159.837	.642
5	1	L	1	134.403	148.170	.603	134.403	.518
5	1	L	2	57.987	62.757	.164	57.987	.147
5	1	L	3	-62.927	-62.927	-.370	-65.232	-.382
5	1	L	4	-201.622	-201.622	-.999	-210.158	-1.028
5	1	L	5	-107.215	-107.215	-.603	-114.410	-.634
5	1	L	6	-28.165	-28.165	-.296	-33.052	-.320
5	1	L	7	10.164	10.164	-.081	7.754	-.092
5	1	L	8	.000	.000	-.000	.000	-.000

5. LITERATURA

/1/ B. Dobovišek: Račun prizmatičnih lupin na elektronskem računalniku
Gradbeni vestnik 1971/6-7

/2/ B. Dobovišek: Rotacijske lupine in njihovi sektorji
Gradbeni vestnik 1972/6-7

/3/ J. Kramar: Uporaba metode končnih elementov in metode prenosnih matrik na elementih konstrukcijske mehanike
Magistrska naloga na Fakulteti za strojništvo Univerze v Ljubljani 1973

Tehnična obdelava in tisk: Inštitut za geodezijo in fotogrametrijo, Ljubljana, Jamova 2

SHELLS

Pregled sistemskih podatkov KA 1 do KA 8

KA	KR	ŠT. I1	I2	I3	I4	I5	I6	L1	L2	M1	M2	R1 (X)	R2 (Y)	R3 (Z)	R4 (X)	R5 (Y)	R6 (Z)
1	1	Poljubno besedilo za glavo strani															stran
2	—	Poljubno besedilo - komentar															
		Splošni podatki:															
		Števila: vozlišč	lupin	razpor	profilov	simetrij	korakov	1=stena 2=plošča	1=sim. razp.	1= TEST		polovična razpetina	polovični središčni kot	radij profilnega vzporedn.			
3	—											A	ϑ	R			
		Material:															
4	—	št.										E-modul	Poiss. štev.	spec. teža	temp. koef.		
		Lupinska kartica:															
		lupina	od vozlišča	do vozlišča	enaka lupini			I-členki	K-členki	število odsekov	1=brez rezultat.	radij prvega odseka			ekscentričnosti:		
														za vozliščem I		pred vozliščem K	
5	—	št.	I	K	I							R		ΔR oz. ΔY	ΔZ	ΔR oz. ΔY	ΔZ
		Odsekova kartica:															
		lupina	odsek	konstantna elastična podl.				material	ponovitev	0=R6=Δ 1=R6=p 2=R6=tad.		dolžina ali ΔR oz. ΔY	ΔZ	nagib	debelina na začetku	debelina na koncu	ukrivljenost: kot ali puščica p ali radij
5	—	št.	št.										ΔZ	φ	h_i	h_k	
		Vozliščna kartica						opiranje						vzmeti:			
6	—	št.										radij	F_x	F_s	F_z	F_m	nagib
		Opore, razpore, vpetja:															
		oprta točka:		1 = vpet	oparna točka:					preskok mej		smerni vektor opore ali razpore:					
7	—	št.	vozl.	prof.	vozl.	prof.				n		X	Y	Z	podajnost		
		Profilna kartica:							ponov.								
8	—	št.							n			ΔX	$\Delta\vartheta$				

STATIK

SHELLS

Pregled podatkov o skupini obtežnih primerov KA 10 do KA 30

KA	KR	ŠT. I1	I2	I3	I4	I5	I6	L1	L2	M1	M2	R1 (X)	R2 (Y)	R3 (Z)	R4 (X)	R5 (Y)	R6 (Z)
		Začetna kartica vsake nove skupine obtežnih primerov															
10	—	Poljubna besedila, ki se tiska v 2. vrstici glave pri vseh rezultatih !															
		Skupna obtežba:															
11		1 lastna teža						štev. obt. pr.				faktor	nagib				
11		2 centrifugalne sile										štev. vrtlj.	pospešek g				
11		3 pritisk										p					
11		4 temperatura										T					
11		5 temperatur. gradient										Tz					
11		6 raztezek razpor										epsilon					
		Posamična obtežba lupin:										Vrednosti ob profilu 14:			Vrednosti ob profilu 15:		
12											glob	px	ps	pz	px	ps	pz
13												ms			ms		
14		štev. lupine	od preseka	do preseka	od profila	do profila	2=desna	obt. primer	1=sim. 2=ant.			Δu	Δv	Δw	Δu	Δv	Δw
15												φ_s			φ_s		
16												T		ΔT	T		ΔT
		Obtežba vozlišč:										vrednosti ob profilu 14:			vrednosti ob profilu 15:		
17		štev. vozl.			od prof.	do prof.		p. pr.	s/a			px	ps	pz	px	ps	pz
18												ms			ms		
		Veter za hladilne stolpe:															
20		od lupa.	do lup.					p. pr.				po					
21												po					
		Enakost obtežbe:															
29	—	I1 I2 lupina I1 je obtežena kot lupina I2 (samo pri priznatičnih ponovljenih lupinah)															
		Zaključna kartica vsake skupine (slediti morajo podatki za tisk)															
		Fourierjevi členi rezultat razpore		Kontrola		1 =si 2 =an		1 = število členov > 99									1 = ni kontrole dalž.
30	—	od	do	od	do												

Po razdelitveni krivulji K2

Po razdelitveni krivulji K3

STATIK

SHELLS

Pregled zahtev za izpis - KA 31 do KA 47

KA	KR	ŠT. I1	I2	I3	I4	I5	I6	L1	L2	M1	M2	R1 (X)	R2 (Y)	R3 (Z)	R4 (X)	R5 (Y)	R6 (Z)
1 2	3 4	5 6	7 8	9 10	11 12	13 14	15 16	17 18	19 20	21 22	23 24	25 26	27 28	29 30	31 32	33 34 35 36 37 38 39 40	41 42 43 44 45 46 47 48	49 50 51 52 53 54 55 56	57 58 59 60 61 62 63 64	65 66 67 68 69 70 71 72	73 74 75 76 77 78 79 80

Tiskanje količine L1 za obt. primer M1 med prof. 15 in 16 ter med prerezom I3 lupine I1 in prerezom I4 lupine I2 (L2=1 = negativni prof.)

31 = | I1 | I2 | I3 | I4 | I5 | I6 | L1 | L2 | M1 |

Tiskanje vseh količin za primere L1 do L2:

32 = Vse količine stanja | L1 | L2 |

33 = Primerjalne napetosti | L1 | L2 |

Poljubno tiskanje za posamezne primere:

	od lupine	do lupine	od profila	do profila	tip rezultatov	1 = E-Format
34 =	lup	lup	prof.	prof.	tip.	E/F

Posamično naštevanje količin stanja: od do

Kombinacija:

Začetna kartica vsake kombinacije:

40 = Poljubno besedilo, ki se tiska pred podatki o kombinaciji

Faktorji za obtežne primere od I1 do I6:

41 = I1 ... I6 — faktor (I1) ... faktor (I6)

Sestava kombinacije:

42 = I1 ... I6 — Obtežni primeri od 1 do 16 so stalna obtežba

43 = I1 ... I6 — Obtežni primeri od 1 do 16 so prometna obtežba

44 = I1 ... I6 | L1 — Obtežni primeri od I1 do I6 so v alternativni skupini L1

Sestava rezultatov:

45 = I1 ... I6 — Za količine I1 do I6 se upošteva samo stalna obtežba

46 = IEX | I2 ... I6 — Količina IEX je ekstremna, ostale so pripadajoče količine

Območje tiskanja:

47 = I1 | I2 — Rezultati se tiskajo za lupine od I1 do I2

Označbe količin stanja:

1 - v	5 - w	9 - Nsx	11 - φ x
2 - u	6 - φs	10 - Nx	12 - Mx
3 - Ns	7 - Qs		13 - Msx
4 - Nsx	8 - Ms		14 - Wx

Po 3 kolone:

15 - primerjalne napetosti

16 - glavne sile

17 - glavni momenti

P R O G R A M S H E L L S

PREGLED KARTIC Z VHODNIMI PODATKI

