

Tako se, npr. mora osigurati dovršenje građevnih radova od kojih zavisi početak montaže postrojenja u predviđenom roku isporuke opreme, dovršenje prometnica, transportnih veza i postrojenja i veza od kojih zavisi opskrba sirovinama i pomoćnim materijalima, prijenos materijala među pojedinim objektima i otprema proizvoda u roku dovršenja montaže procesnih postrojenja.

Osim izvedbenih radova na podizanju postrojenja, za vrijeme dok oni traju moraju se stvoriti i drugi važni uvjeti da se zatim odmah i nesmetano pristupi pokusnoj, pa redovnoj proizvodnji. Za to je u prvom redu potrebna primjerena izvježbanost osoblja predviđenog za vođenje postrojenja (njegovu proizvodnju i održavanje). Osnovna dokumentacija potrebna za izobrazbu osoblja u obavljanju tih poslova obuhvaća priručnike s uputama za rukovanje pojedinim aparatima i strojevima, za stavljanje u pogon, te redovnu i prisilnu obustavu pogona, za kontrolu funkcioniranja postrojenja, ispravnosti stanja njegovih dijelova, za remont itd.

Pravovremena dostava te dokumentacije predviđenom voditelju postrojenja u nadležnosti je procesnih inženjera koji su sudjelovali u izradi njegova projekta. Obično je njihova obveza da, uz ujedinjavanje svih vrsta radova na podizanju postrojenja, još i izravno kontaktiraju s osobljem izabranim za vođenje proizvodnje i održavanje postrojenja radi osiguranja potpune osposobljenosti za obavljanje s time povezanih poslova.

Vođenje procesnih postrojenja započinje već pri njegovu stavljanju u pokusni pogon, za koji su također odgovorni navedeni projektanti. Međutim, u toj fazi mora se pripremiti prijenos te odgovornosti na osoblje koje će voditi postrojenje u redovnoj proizvodnji, jer se, nakon dokazivanja projektom predviđenih performansi, to mora obaviti i službenom transakcijom (kolaudacijskim zapisnikom). Zbog toga je pri stavljanju u pokusni pogon i u njegovoj provedbi potrebno i sudjelovanje osoblja koje treba preuzeti te funkcije.

Tehničke funkcije daljeg razvoja postrojenja, za koje je odgovoran voditelj u redovnoj proizvodnji, obuhvaćaju modificiranje operativnih varijabli radi njena stalnog poboljšavanja, ispitivanje kakvoće proizvoda radi postizanja njegove sve veće čistoće ili sprečavanja kvarenja, smanjivanje potrošnje pare, vode, energije i sirovina za jedinicu proizvoda radi smanjivanja jediničnih troškova, unapređivanje djelotvornosti službe za održavanje postrojenja kako bi se smanjile obustave pogona radi popravka. Osim toga, voditelj postrojenja u redovnom pogonu mora prilagođivati proizvodnju zahtjevima prodaje proizvoda u skladu s uvjetima eksploatacije. U osnovi to je usklađivanje zahtjeva za postizanje kakvoće proizvodnje s istodobnim održavanjem minimuma troškova proizvodnje. To se postiže stalnim proučavanjem metoda i uvjeta rada.

U posljednje vrijeme u obavljanju poslova u vezi s tim optimiranjem sve se više upotrebljavaju statističke metode na elektroničkim računalima. Njihova primjena opravdana je u prvom redu zbog toga što je projektiranje procesnih postrojenja nužno povezano s računanjem na osnovi bar nekih približenja, pa se u redovnom pogonu pojavljuju manja ili veća odstupanja njihova stvarnog od predviđenog ponašanja. Načelno se te metode mogu grupirati u izvanlinijske i unutarlinijske (prema engleskom off-line i on-line). U prvima se podaci izvedeni iz pogona proračunavaju na računalu kojim se ne utječe neposredno na proces, a u drugima se uključuje računalo u procesni kontrolni sustav.

Poslovi vođenja proizvodnje, održavanja i unapređivanja procesnih postrojenja složeno se isprepleću. Često služba tehničkog servisiranja postrojenja predlaže popravke, izmjene i poboljšanja, ali o tom obično odlučuju voditelji proizvodnje. Često i službe tehničkog servisiranja same provode modifikacije koje mogu biti korisne za proizvodnju postrojenja ili njeno vođenje.

Prodaja proizvoda, koja je u industriji općenito svrha gradnje i eksploatacije njenih postrojenja, često zahtijeva poslove složenog tehničko-komercijalnog karaktera, pa je za njihovo obavljanje često potrebno tehnički visokoobrazovano

osoblje sa solidnim poznavanjem ekonomskih disciplina. U redovnoj prodaji proizvoda procesne industrije to mogu biti, npr., poslovi istraživanja tržišta, razvoja proizvoda, tehnički servis za kupce, tzv. tehnička prodaja (tj. ona u kojoj prodavači mogu biti samo tehnički obrazovane osobe).

Specijalni poslovi tehničke prodaje proizvoda procesne industrije, za koje su potrebni procesni inženjeri, mogu obuhvaćati prodaju licencija (prava na upotrebu patenata u gradnji ili eksploataciji neke aparature, neke faze procesa ili čitavog industrijskog postrojenja).

LIT.: *D. M. Considine*, Process Instruments and Controls Handbook. McGraw-Hill, New York 1957. — *H. F. Rase, M. H. Barow*, Project Engineering of Process Plant. Wiley, New York 1957. — *R. E. Johnstone, M. W. Thring*, Pilot Plants, Models and Scale-up Methods in Chemical Engineering. McGraw-Hill, New York-Toronto-London 1957. — *J. C. Jungers*, Cinétique chimique appliquée. Technip, Paris 1958. — *D. P. Campbell*, Process Dynamics — Dynamic Behaviour of the Production Process. Wiley, New York 1958. — *R. B. Bird, W. E. Stewart, E. N. Lightfoot*, Transport Phenomena. Wiley, New York 1960. — *C. H. Chilton*, Cost Engineering in the Process Industries. McGraw-Hill, New York-Düsseldorf 1960. — *H. Köbel, J. Schultze*, Projektierung und Vorkalkulation in der chemischen Industrie. Springer-Verlag, Heidelberg 1960. — *D. N. Hanson, J. H. Duffin, G. H. Somerville*, Computation of Multistage Separation Processes. Reinhold, New York 1962. — *B. D. Smith*, Design of Equilibrium Stage Processes. McGraw-Hill, New York 1963. — *J. H. Perry*, Chemical Engineers Handbook. McGraw-Hill, New York-London-Toronto 1963. — *J. Hengstenberg, B. Sturm, O. Winkler*, Messen und Regeln in der chemischen Technik. Springer-Verlag, Heidelberg 1964. — *W. Oppelt, E. Wieke*, Grundlagen der chemischen Prozessregelung. R. Oldenbourg Verlag, München 1964. — *H. C. Baumann*, Fundamentals of Cost Engineering in Chemical Industry. Reinhold, New York 1964. — *R. Landau*, The Chemical Plant: From Process Selection to Commercial Operation. Halcon, New York 1966. — *C. Pratten, R. M. Dean*, The Economics of Large Scale Production in British Industry. Cambridge University Press, Cambridge 1965. — *A. S. Foust*, I principi delle operazioni unitarie. Ambrosiana, Milano 1967. — *P. Benedek, A. László*, Grundlagen des Chemingenieurwesens. VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig 1967. — *R. G. E. Franks*, Mathematical Modelling in Chemical Engineering. Wiley, New York 1967. — *E. F. Johnson*, Automatic Process Control. McGraw-Hill, New York-Düsseldorf 1967. — *T. H. Lee, G. E. Adams, W. M. Gaines*, Computer Process Control: Modelling and Optimization. Wiley, New York 1968. — *D. M. Himmelblau, K. B. Bischoff*, Process Analysis and Simulation Deterministic Systems. Wiley, New York 1968. — *O. F. Rudd, C. C. Watson*, The Strategy of Process Engineering. Wiley, New York 1968. — *M. S. Peters, K. D. Timmerhaus*, Plant Design and Economics of Chemical Engineers. McGraw-Hill, New York-London-Düsseldorf 1968. — *D. G. Jordan*, Chemical Process Development. Interscience, New York-Sidney-London 1968. — *J. R. Bright*, Technological Forecasting for Industry and Government-Methods and Applications. Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey 1968. — *E. J. Henley, E. M. Rosen*, Material and Energy Balance Computations. Wiley, New York 1969. — *R. Lobstein*, Guide to Chemical Plant Planning. Noyes, Park Ridge, New Jersey 1969. — *K. Kaplick, M. Schubert*, Datenverarbeitung in der Verfahrenstechnik. VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig 1969. — *W. Neri*, Progettazione e sviluppo degli impianti chimici. Vallecchi, Firenze 1970. — *J. R. Kittrell*, Mathematical Modelling of Chemical Reactions, Advances in Chemical Engineering. Sv. 8. Academic Press, New York 1970. — *A. Schöne*, Prozessrechnungssysteme der Verfahrensindustrie. Hanser, München 1970. — *B. Aggteleky*, Fabrikplanung. Hanser, München 1970. — *D. Barba*, Il calcolo elettronico nell'ingegneria chimica. Siderea, Roma 1971. — *W. W. Kafarov*, Kybernetische Methoden in der Chemie und chemischen Technologie. Verlag Chemie, Weinheim 1971. — *K. Anke, H. Kaltenecker, R. Oetker*, Prozessrechner-Wirkungsweise und Einsatz. R. Oldenbourg Verlag, München 1971. — *A. I. Johnson, P. I. Shannon*, Chemical Plant Simulation. Prentice-Hall, New Jersey 1971. — *U. Hoffmann, H. Hoffmann*, Einführung in die Optimierung. Verlag Chemie, Weinheim 1971. — *E. Mach*, Planung und Errichtung chemischer Fabriken. Sauerländer, Aarau-Frankfurt 1971. — *G. G. Brown*, Unit Operations. Wiley, New York 1971. — *J. C. Slattery*, Momentum, Energy and Mass Transfer in Continua. McGraw-Hill, New York 1972. — *O. Levenspiel*, Chemical Reaction Engineering, New York-London-Sidney-Toronto 1972.

Redakcija

PROJEKTIRANJE, KONSTRUKCIJSKO, pronalaženje što povoljnije nosive konstrukcije koja zadovoljava zahtjeve što joj se postavljaju. Nosiva je konstrukcija dio građevine koji preuzima utjecaje na građevinu; ona je fizikalna realizacija nosivog sustava i fizikalna cjelina u kojoj međusobni odnosi elemenata slijede iz svojstava cjeline.

Konstrukcijsko projektiranje dio je ukupnog projektiranja. Konceptija nosive konstrukcije dio je idejnog projekta građevine (v. *Arhitektura*, TE 1, str. 336). Konstrukcijsko

projektiranje mora zadovoljiti sljedeće opće zahtjeve: *a*) građevina mora biti funkcionalna, tj. mora biti prostorno organizirana u odnosu na oblik, veličinu, kretanje ljudi i kontakt s okolinom; *b*) građevina mora zadovoljiti fizikalne zahtjeve, tj. mora imati adekvatnu nosivu konstrukciju, instalacije, klimatske, mehaničke i ostale uređaje; *c*) građevina mora biti udobna za život i rad. Projektiranjem treba zadovoljiti sve te zahtjeve na optimalan način.

Elementi nosivih konstrukcija mogu se klasificirati: *a*) prema geometrijskom obliku (linijski i ploštinski elementi); *b*) prema materijalu; *c*) prema krutosti, pa se razlikuju elementi koji djelovanjem opterećenja ne mijenjaju znatno svoj oblik i savitljivi elementi (npr. čelična užad) koji djelovanjem opterećenja mijenjaju znatno svoj oblik, ali zadržavaju fizički integritet; *d*) prema naprezanju (aksijalno i fleksijsko naprezanje) i *e*) prema funkciji (stropovi premošćuju prostoriju i uglavnom su fleksijski napregnuti, stupovi i zidovi primaju akcije stropova i uglavnom su tlačno napregnuti, temelji velike pritiske u zidovima i stupovima toliko reduciraju da su podnosivi za tlo).

Osnovni principi projektiranja nosivih konstrukcija su: *a*) konstrukcija mora biti jednostavna; ta se jednostavnost odnosi i na geometrijski oblik i na mehaničko ponašanje, i to ne samo za cjelinu konstrukcije nego i za elemente, detalje i spojeve; *b*) konstrukcija mora biti racionalna, što znači da materijal i nosivi sustav treba iskoristiti u skladu s njihovim svojstvima. Treba, dakle, uzeti u obzir mehanička svojstva materijala (čvrstoća, krutost,...) te ostala fizikalna svojstva (gustoća, otpornost na atmosferske utjecaje, toplinska vodljivost,...) i raspoloživost na mjestu građenja.

Osim toga, treba izbjegavati naprezanje na savijanje, jer je nepovoljno, a iskoristiti aksijalna, a pogotovo funikularna naprezanja, kad god je to moguće. Dalje, ne valja se odlučiti najprije za građevni materijal i tek onda za nosivi sustav ili obratno, nego treba istodobno odabrati i materijal i nosivi sustav. Treba izbjegavati, kad god je to moguće, komplicirane konstrukcijske probleme. Ako, npr., treba temeljiti na slabo nosivom tlu, valja nastojati promijeniti lokaciju, ili, npr., ako u planinskom kraju ravan krov mora preuzeti veliko opterećenje snijegom, valja razmisliti o varijanti s nagnutim krovom. Prinudna naprezanja (zbog skupljanja betona, sila prednaprezanja, nejednolikog slijeganja tla,...) mogu se izbjeći spretnim projektiranjem ili se mogu dosta smanjiti upotrebom relativno podatljivih sustava.

Utjecaji na konstrukcije. Da bi se moglo ispravno konstrukcijski projektirati, treba poznavati utjecaje na nosivu konstrukciju.

Najuobičajenija je sljedeća klasifikacija utjecaja: *a*) opterećenja (stalna opterećenja uključujući i vlastitu težinu, opterećenja tokom građenja, korisna opterećenja, sila prednaprezanja, tlak zemlje i tlak vode); *b*) okolni utjecaji (snijeg, promjene temperature u odnosu na temperaturu tokom gradnje, slijeganje tla, vjetar i potres) i *c*) prinudni utjecaji (npr. skupljanje betona).

Osim navedenih utjecaja, koji su specificirani i u propisima za opterećenje građevina, pojavljuju se i nepredvidiva rijetka opterećenja. Velika većina građevina neće nikada biti izložena takvu opterećenju. Zbog toga se pri pojavi takvih opterećenja dopuštaju manja oštećenja na konstrukciji, ali to ne smije uzrokovati lančano rušenje elemenata. Među takva se opterećenja ubrajaju: *a*) opterećenja od namjernih ili nenamjernih eksplozija izvan ili unutar građevine (npr. detonacije eksploziva, brzo izgaranje smjese nekih plinova i zraka, zračni udar); *b*) opterećenje od udara vozila ili aviona i *c*) djelovanje požara.

Utjecaji na konstrukciju mogu se, osim toga, svrstati na sljedeći način: *a*) prema uzroku (svojstva građevine, npr. vlastita težina, korisno opterećenje, npr. daci i pokućstvo u učionici, okolni utjecaji, npr. vjetar, nepredvidiva opterećenja, npr. udar vozila); *b*) prema načinu djelovanja (zadana grupa sila, zadana produljenja ili zadani pomaci ležaja); *c*) prema trajanju (dugotrajni, npr. vlastita težina, kratkotrajni, npr. potres); *d*) prema položaju (nepomični, npr. vlastita

težina, pokretni, npr. korisna opterećenja); *e*) prema učestalosti (trajni, npr. vlastita težina, povremeni, npr. korisna opterećenja, iznimni, npr. potres); *f*) prema međusobnoj ovisnosti (međusobno neovisni utjecaji, utjecaji koji se međusobno isključuju); *g*) prema obliku napadnute površine (površinska, linijska i točkasta koncentrirana opterećenja); *h*) prema smjeru djelovanja (vertikalna ili gravitacijska opterećenja, horizontalna ili bočna opterećenja); *i*) prema važnosti (osnovni, npr. stalna opterećenja, sekundarni, npr. promjene temperature). Sekundarni se utjecaji često ne uzimaju u obzir u statičkim proračunima, ali se na njih ne smije zaboraviti u konstrukcijskom projektiranju.

Pri utvrđivanju unutrašnjih sila konstrukcije ne pretpostavlja se da svi utjecaji djeluju istodobno. Bilo bi, npr., suviše neekonomično pretpostaviti da vjetar i potres djeluju istodobno. Utjecaji se superponiraju na osnovi propisa ili na osnovi probabilističkih razmatranja.

Potrebna svojstva nosive konstrukcije jesu sljedeća:

a) Konstrukcija mora biti stabilna, što znači da mora biti u ravnoteži, i u cjelini i u svim svojim dijelovima, pri svim utjecajima koji se mogu pojaviti.

b) Čvrstoća svih presjeka konstrukcije mora biti jednaka ili veća od maksimalnih unutrašnjih sila u tom presjeku.

c) Konstrukcija mora biti upotrebljiva, tj. mora besprijekorno služiti svojoj svrsi. Upotrebljivost konstrukcije može biti ugrožena zbog prekomjernog deformiranja ili prekomjernih ubrzanja pri vibriranju.

Preveliki vertikalni progibi te relativni horizontalni progibi susjednih katova mogu biti štetni zbog napuklina u stropovima i u razdjelnim zidovima, jer se tako smanjuje toplinska i zvučna izolacija, jer mogu uzrokovati loše funkcioniranje dizala i drugih mehaničkih uređaja, zaglavljivanje vrata i prozora, nagomilavanje vode na krovu i sl. Veliki progibi nepovoljno estetski djeluju ako se zamjećuju prostim okom. Progibi su obično primjetljivi ako je kvocijent progiba i raspona (horizontalnog odnosno vertikalnog) veći od 1/300. Osim toga horizontalni progibi povećavaju unutrašnje sile (utjecaj drugog reda).

Progib ovisi o ležajnim uvjetima konstrukcijskog elementa. Tako je npr. maksimalni progib jednostrano zglobno oslonjene i jednostrano upete grede 2,1 puta veći, maksimalni progib obostrano zglobno oslonjene grede 5 puta veći, a maksimalni progib konzole 48 puta veći od maksimalnog progiba obostrano upete grede jednaka raspona i jednaka jednoliko raspodijeljena opterećenja.

Da bi progibi ostali u prihvatljivim granicama, elementi konstrukcije moraju biti dovoljno kruti.

Prevelika ubrzanja pri vibriranju neugodno djeluju na osobe u građevini. Hodanje u višem katu, ritmičke aktivnosti (ples, skakanje, gimnastičke vježbe) te rok- i pop-koncerti uzrokuju vertikalne, a vjetar i potres horizontalne vibracije. Zamjećuju se ubrzanja veća od ~0,002 g, a granično ubrzanje uz koje je moguće obavljanje rutinskih poslova iznosi ~0,04 g, gdje je g gravitacijsko ubrzanje Zemlje. Amplitude vibracija postaju osobito velike ako se period pobude poklopi ili približi osnovnom periodu konstrukcije, dakle ako nastane rezonancija konstrukcije.

U suvremenih vitkih konstrukcija teže je zadovoljiti zahtjeve upotrebljivosti nego što je to bilo u starih masivnih konstrukcija.

d) Konstrukcija mora biti ostvarljiva raspoloživim financijskim sredstvima, u potrebnom roku te raspoloživom radnom snagom i mehanizacijom. Minimalni utrošak građevnog materijala još ne znači najekonomičniju konstrukciju. Tako se, npr., stanjivanjem prema vrhu armiranobetonskih stupova višekatnih zgrada može uštedjeti nešto betona, ali oplata postaje puno skuplja.

Projektant mora misliti i na to kako će izvođač ostvariti njegov projekt. Proverom izvodljivosti mogu se izbjeći iznenađenja na gradilištu i time naknadne izmjene u projektu, prekoračenje rokova i nepredviđeni troškovi.

e) Kad je konstrukcija vidljiva, ona mora biti i lijepa. Njezin estetski izgled pobuđuje ugodan osjećaj i ushićenost.

Taj se osjećaj mijenja s vremenom i s mjestom, a ovisi i o promatraču. Danas se estetski izgled nastoji postići gracioznošću osnovnih linija, proporcijom masa i ritmom oblika. Jednostavnost pridonosi estetskoj emociji, pa se zbog toga nastoje primijeniti sustavi sa što manje elemenata.

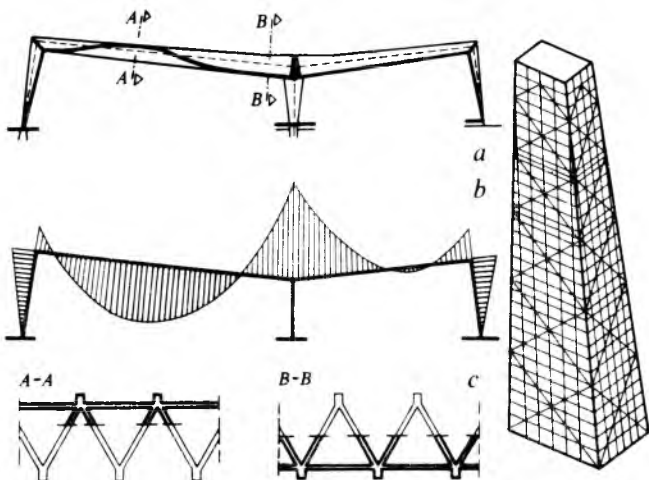
Estetika nosivih konstrukcija. Pri projektiranju nosivih konstrukcija moraju se uzeti u obzir i estetski zahtjevi. Ljepota se vrednuje prema filozofskim i psihološkim kriterijima.

U filozofiji estetike postoje dva pristupa: subjektivni i apsolutni. Prema subjektivnom pristupu, ljepota nije svojstvo konstrukcije, već je ona u svijesti promatrača (*De gustibus non disputandum est*). Prema apsolutnom principu, za konstrukciju je mjerodavna racionalna estetika, što znači da je ljepota konstrukcije u podudarnosti njene stvarne prirode i izgleda (E. Torroja).

Prema psihološkom kriteriju konstrukcija je lijepa ako su kompozicije prostora i ploha dopadljive. Izvor je doživljaja intelektualan ili osjetilan. Primjer je intelektualnog doživljaja razumijevanje djelovanja konstrukcije, dakle mehanike konstrukcije ili divljenje projektantu koji je uspio sagraditi građevinu iskorištavajući na očit način osnovne zakone ravnoteže. Stupanj intelektualnog doživljaja ovisi o stručnom znanju i iskustvu promatrača. Smatra se da estetski doživljaj promatrača ne može biti potpun ako on ne razumije tok unutrašnjih sila. Osjetilni se doživljaj osniva na osjetilima, uglavnom na vidu.

Povijest arhitekture daje više primjera primjene novih građevnih materijala na način koji odgovara starim konstrukcijskim sustavima i oblicima. Pokazalo se, naime, da promatrači reagiraju s nepovjerenjem i nelagodnošću na nove materijale i nove konstrukcijske sustave. Kad se, npr., počelo graditi armiranim betonom, a poslije prednapregnutim betonom, smatralo se da su konstrukcije ne samo pretanke i previtke nego i ružne. Obično estetska histereza traje duže od tehničke.

Konstrukcijski ekspresionizam. Nosiva konstrukcija velikih građevina (industrijske hale, robne kuće, hangari, sportske građevine i sl.) često dominantno utječe na njihov oblik. Prema suvremenom shvaćanju, konstrukcijskom ekspresionizmu, nosiva konstrukcija mora biti vidljiva i mora prikazivati prijenos opterećanja od mjesta njihovog djelovanja do tla. Prije se smatralo da je ljepota svojstvena svakom tehnički ispravnom rješenju. Za svaki zadatak, međutim, postoji mnogo tehnički ispravnih rješenja, pa se njihova estetska vrijednost može mijenjati u širokom rasponu. Danas se, zbog toga, smatra da sama tehnička ispravnost nije dovoljna. P. L. Nervi u svojim starijim godinama piše: »Nosivu konstrukciju treba, od koncepcije do izvedbenih detalja, razrađivati pasionirano, dakle u onom stanju duha i srca koje je pretpostavka svakom umjetničkom djelu.«



Sl. 1. Konferencijska dvorana UNESCO u Parizu. a uzdužni presjek, b dijagram momenta savijanja, c detalji poprečnih presjeka

Sl. 2. Zgrada John Hancock

Konferencijska dvorana UNESCO u Parizu (sl. 1) dvopoljna je okvirna konstrukcija trapezne osnove od cickak ili V-nabora i dodatne ploče. Dodatna ploča u kraćem je polju i iznad ležaja uz donji rub nabora, a u većem se polju diča tako da je u središnjem dijelu polja uz gornji rub nabora. Uzduž cijelog sustava, uključujući vanjske stupove, ona je u pritisnutoj zoni presjeka, dakle tamo gdje je statički korisna i potrebna. Alternativno rješenje s naborom višeg poprečnog presjeka bez dodatne ploče bilo bi također tehnički ispravno, a izvedbeno jednostavnije. Varijantu s dodatnom pločom Nervi je izveo radi izražajnosti konstrukcije.

Primarnu nosivu konstrukciju stokatne zgrade John Hancock (sl. 2) čine čelične fasadne rešetke. One su i arhitektonski izraz građevine. Konstrukcija izražava osnovne zakone teorije konstrukcija i daje građevini takvu ljepotu kakvu ne bi mogli dati oblici koji bi odgovarali pomodarstvu vremena.

Eiffelov toranj, Maillartovi mostovi (v. *Mostovi, masivni*, TE 8, str. 688) i Nervijeve raščlanjene kupole rezultati su inženjerske imaginacije koji se ističu ekonomičnošću, elegancijom, ljepotom te sjedinjenjem znanosti i umjetnosti. Smatraju se primjerima ponovnog sjedinjenja arhitekture i tehnike.

Konstrukcijski eklekticism. Svojim nosivim konstrukcijama R. Maillart, E. Torroja, P. L. Nervi, F. Candela, F. Khan, H. Isler i drugi stekli su slavu. To je mnoge navelo da njihove konstrukcije kopiraju. Kako, međutim, nisu razumjeli njihovu funkciju, oni su ih primjenjivali formalistički i onda kad nisu imale ni smisla ni opravdanja. Razvoj tehnologije građenja omogućio je da se sagradi bilo kakva besmislica. U doba renesanse građevine su se mogle ukrasiti jednostavnim, dopadljivim elementima koji su pretendirali da čine, a nisu činili, nosivu konstrukciju. Danas se, međutim, nastojanje da se »oblačenjem« konstrukcije ili »kozmetičkim« sredstvima simulira stanje unutrašnjih sila koje ne odgovara stvarnosti, smatra estetskom prijevarom, dakle nečim što je gore od prikrivanja istine.

PROCES KONSTRUKCIJSKOG PROJEKTIRANJA

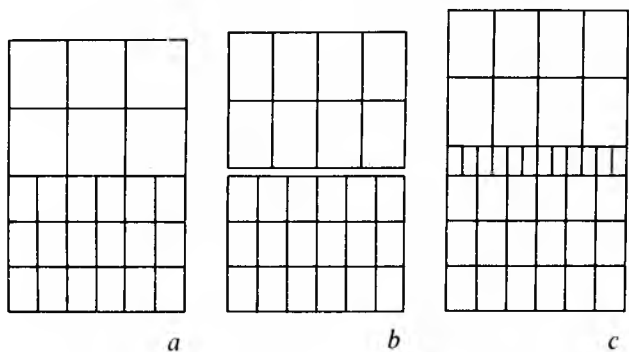
Konstrukcijsko projektiranje osniva se na intuiciji stečenoj studijem i iskustvom, imaginaciji, sposobnosti zapažanja, kritičkom rasuđivanju i osobnom stavu. Ono ide od cjeline k detaljima. Jednodimenzijski se elementi razrađuju pošto se utvrdi njihova funkcija u sklopu dvodimenzijskih elemenata, a dvodimenzijski elementi pošto se utvrdi njihova funkcija u sklopu trodimenzijske cjeline. Pojedine faze rada utječu jedna na drugu, pa je konstrukcijsko projektiranje iteracijski proces. Obično je potrebno i preporučljivo razraditi nekoliko varijanata nosive konstrukcije.

Konstrukcijski raster. Najprije se utvrđuje konstrukcijski raster pod kojim se razumijeva prostorna agregacija modulâ od kojih se sastoji građevina. U tlocrtu i nacrtima raster se najčešće pojavljuje kao sustav ukrštenih linija. Konstrukcijski raster usko je povezan s funkcijskim rasterom koji je određen programskim zahtjevima. Konstrukcijski se raster ili podudara s funkcijskim ili je višekratnik funkcijskoga. Ako se ta dva rastera podudaraju, dobivaju se najmanji rasponi, što je povoljno jer su tada momenti savijanja najmanji. Ako se oni razlikuju, dobivaju se veći rasponi i time veći momenti savijanja, ali se povećava fleksibilnost u iskorištavanju prostora i pojednostavnjuje se izvedba. Ponekad uvjeti temeljenja zahtijevaju da konstrukcijski raster bude višekratnik funkcijskog rastera.

Tlocrtni raster utječe na sustav stropa. Ako su moduli izduljeni pravokutnici, upotrebljavaju se jednosmjerne konstrukcije kojima se opterećenje prenosi pretežno u smjeru kraćeg raspona. Ako su moduli kvadrati ili pravokutnici sa stranicama koje se malo međusobno razlikuju, upotrebljavaju se dvosmjerne konstrukcije kojima se opterećenja prenose u oba smjera.

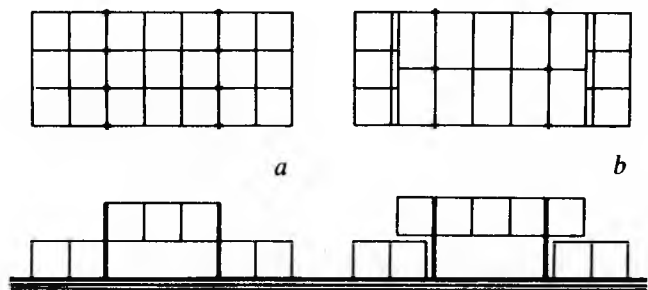
Raster stambenih, hotelskih i sličnih zgrada određen je stambenim jedinicama, odnosno sobama. Rasterske linije predočuju zidove i stropove.

Ako zgrada treba da služi različitim aktivnostima, moguć je ili jedinstven raster prilagođen svim aktivnostima ili različiti rasteri za područja različitih aktivnosti. Kad se primjenjuju različiti rasteri, u tlocrtu su moguća sljedeća rješenja: a) širi raster višekratnik je užega (sl. 3a); b) različiti se rasteri



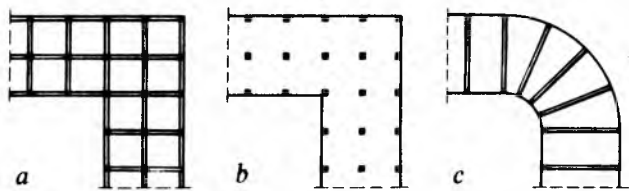
Sl. 3. Tlocrtni rasteri. a) širi raster višekratnik užega, b) različiti rasteri odvojeni međuprostorom, c) različiti rasteri s prijelaznim rasterom prilagođenim obama rasterima

odvajaju međuprostorom (sl. 3b) i c) među različite rasteve interpolira se prijelazni raster prilagođen obama rasterima (sl. 3c). U nacrtu su moguća sljedeća rješenja: a) rasteri se katova podudaraju pa su vertikalni nosivi elementi zajednički za donji i gornji strop (sl. 4a) i b) rasteri se katova ne podudaraju pa donji i gornji strop imaju posebne vertikalne nosive elemente (sl. 4b).

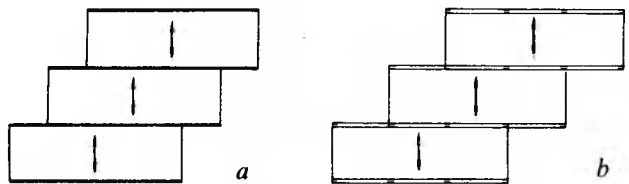


Sl. 4. Rasteri u nacrtu. a) rasteri se po katovima podudaraju, b) rasteri se po katovima ne podudaraju

Rasteri raščlanjenih zgrada. Ako je u krilnim područjima raščlanjene zgrade primijenjena dvosmjerna konstrukcija, npr. prostorni gredni okvir (sl. 5a) ili prostorni okvir bez gređa (sl. 5b), rješenje je ugla jednostavno. Ako je u krilnim područjima primijenjena jednosmjerna konstrukcija, u prijelaznom se području može ugraditi nekoliko radijalnih elemenata (sl. 5c).



Sl. 5. Rasteri u uglovnim područjima raščlanjenih zgrada. a) prostorni gredni okviri, b) prostorni okviri bez gređa, c) radijalni elementi

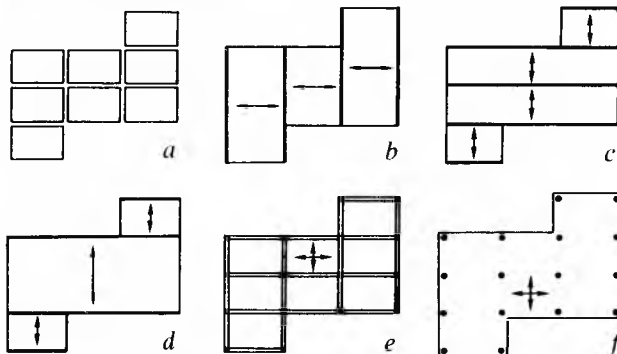


Sl. 6. Rasteri u zgradi stepeničasta tlocrta. a) jednosmjerni stropovi sa zidovima, b) jednosmjerni stropovi s okvirima

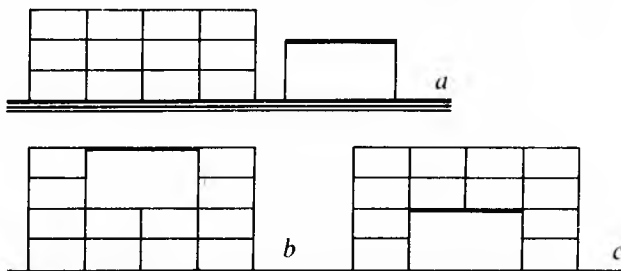
U zgradama stepeničasta tlocrta lakše je primijeniti jednosmjerne stropove sa zidovima (sl. 6a) ili s okvirima (sl. 6b) nego dvosmjerne stropove.

Za zgradu s tlocrtom u obliku slova Z s funkcijskim rasterom (sl. 7a) moguća su sljedeća rješenja: a) jednosmjerni

sustavi podudarnog rastera (sl. 7b i 7c); b) jednosmjerni sustavi sa srednjim poljem dvostruko širim od funkcijskog rastera (sl. 7d); c) dvosmjerni sustavi podudarnog rastera, npr. sustav višepoljnih dvosmjernih ploča na roštilju gređa (sl. 7e) ili prostorni bezgređni okvir (sl. 7f).



Sl. 7. Rasteri za zgradu s tlocrtom u obliku slova Z. a) funkcijski raster, b i c) jednosmjerni sustavi podudarnog rastera, d) jednosmjerni sustav sa srednjim poljem dvostruko širim od funkcijskog rastera, e) sustav višepoljnih dvosmjernih ploča na roštilju gređa, f) prostorni bezgređni okvir

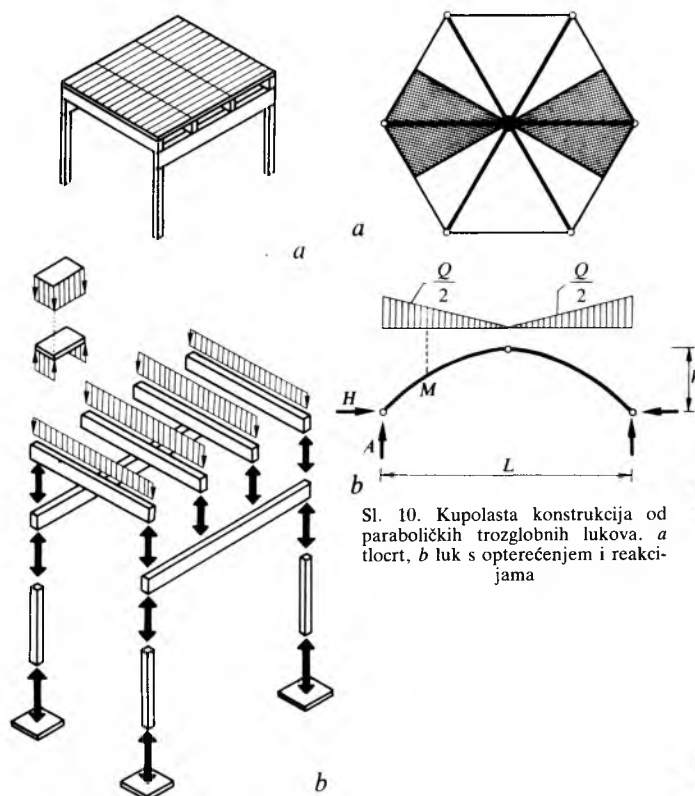


Sl. 8. Rasteri za zgradu s više manjih i jednim većim prostorom. a) veći prostor odvojen od manjih, b) veći se prostor ugrađuje među manje u najgornjim katovima, c) veći se prostor ugrađuje među manje u najnižim katovima

Ako je potrebna zgrada s jednim velikim i više manjih prostora, moguća su sljedeća rješenja: a) veliki se prostor odvajava od manjih (sl. 8a), pa je za svaki dio potrebno pronaći najprikladniju konstrukciju; b) veliki se prostor ugrađuje među manje prostore u najgornjim katovima (sl. 8b), pa se tako dobiva povoljna konstrukcija, ali s teškim pristupom u veliki prostor; c) veliki se prostor ugrađuje među manje prostore u najnižim katovima (sl. 8c), pa se tako ostvaruje lakši pristup velikom prostoru, ali je dugačka gređa nad velikim prostorom jako opterećena konstrukcijom gornjih malih prostora te je takvo rješenje neekonomično.

Razrada nosive konstrukcije. Da bi se razradili elementi nosive konstrukcije, treba najprije procijeniti njihovo opterećenje. To je osobito jednostavno kad se konstrukcija sastoji od elemenata koji opterećuju jedan drugi (hijerarhijske konstrukcije). U primjeru na slici 9 vidi se nosiva konstrukcija u kojoj podne ploče opterećuju sekundarne grede, koje opterećuju primarne grede, a one opterećuju stupove. Više jednakih koncentriranih sila u takvim se analizama može zamijeniti jednoliko raspodijeljenim opterećenjem jednake ukupne vrijednosti.

Još se jednostavnije utvrđuje opterećenje nekog elementa prema doprinosnoj površini. U kupolastoj konstrukciji od triju paraboličnih trozglobnih lukova što se sijeku u tjemenu na jedan od lukova otpada opterećenje koje odgovara tlocrtnoj doprinosnoj površini između simetrala susjednih polja (sl. 10a). Lukovi su opterećeni kontinuiranim opterećenjem raspodijeljenim u obliku trokuta (sl. 10b). Ako se sa Q označi ukupno opterećenje jednog luka, koje je trećina ukupnog opterećenja, sa L raspon, a sa h strelica luka, dobiva se za vertikalne reakcije $A = Q/2$, za horizontalne reakcije $H = QL/(12h)$, a za mjerodavni moment savijanja $M = QL/81$.



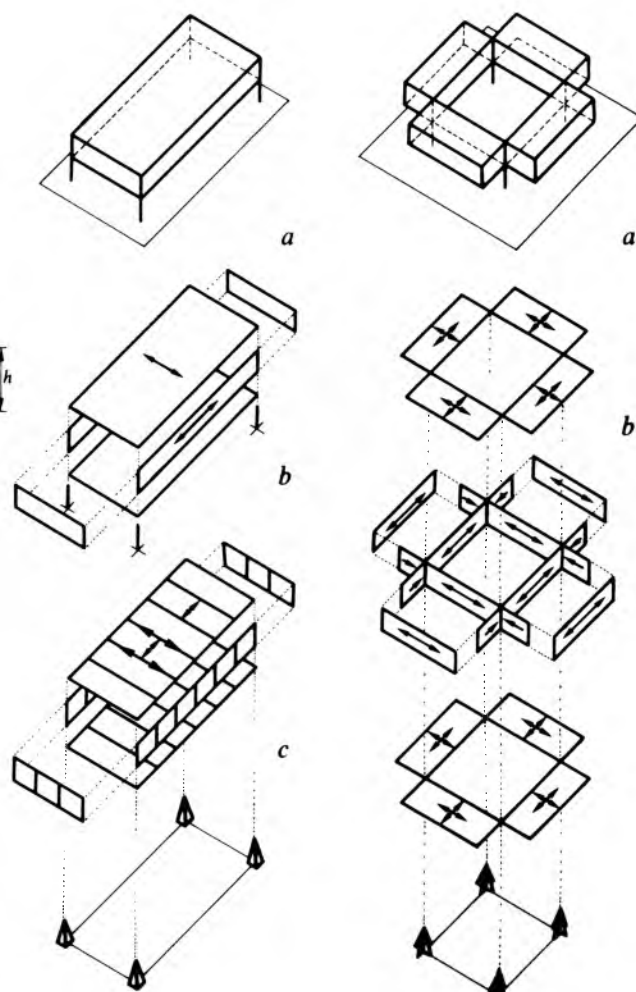
Sl. 9. Hijerarhijska konstrukcija (a) i njezino raščlanjenje u elemente (b)

Primjer 1. Treba projektirati nosivu konstrukciju za kutijastu zgradu sa četiri stupa u vrhovima osnove (sl. 11a). Prema pretprojektu kutija djeluje kao prosta greda u poprečnom smjeru. U daljoj razradi (sl. 11b) krov i pod kao jednosmjerni sustav premošćuju kraći raspon, a uzdužni vertikalni elementi djeluju kao proste grede. Poprečni vertikalni elementi nisu jače opterećeni i služe za bočnu stabilizaciju krova, dok stupovi preuzimaju po četvrtinu ukupne težine. U detaljnoj razradi (sl. 11c) krov i pod formiraju se od uzdužnojednosmjernih ploča na poprečnim gredama, a uzdužni vertikalni elementi okvirni su nosači sa stupcima na mjestima poprečnih greda. Stupovi preuzimaju po četvrtinu ukupnog vertikalnog i ukupnih horizontalnih opterećenja. Oni su zglobno spojeni s kutijom, a upeti su u temelje pa djeluju kao konzole. Stupovi imaju promjenljiv presjek, jer momenti savijanja rastu prema donjem kraju. Sustav kutija-stupovi statički je neodređen, pa se s promjenom temperature pojavljuju dodatna naprezanja.

Primjer 2. Treba projektirati nosivu konstrukciju zgrade od četiri kutije i četiri stupa (sl. 12a). Prema pretprojektu glavna se konstrukcija sastoji od četiri glavne grede s prepustima koje se sijeku i koje se u sjecištima oslanjaju na stupove. Četiri periferne grede oslanjaju se na krajeve prepusta. Krovna i podna konstrukcija dvosmjerni su elementi i oslanjaju se na glavne i periferne grede. Stupovi su promjenljivog presjeka, zglobno su spojeni s gredama i upeti u temelje. U daljoj razradi treba se odlučiti za sustav okvira (armiranobetonski zidni bez zglobova, sa dva ili tri zgloba; čelični rešetkasti bez zglobova, sa dva ili tri zgloba,...), uzdužnih greda (kontinuirane armiranobetonske zidne s otvorima za prozore, kontinuirane metalne rešetkaste,...) i stropova (armiranobetonski poprečno jednosmjerni masivni ili rebrasti,...).

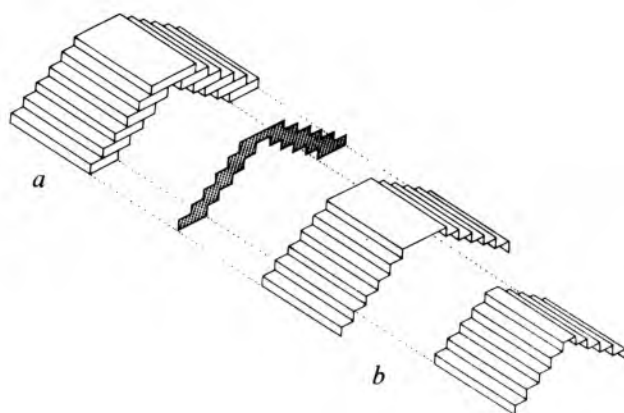
Primjer 3. Treba projektirati nosivu konstrukciju građevine koja ima dva krila terasasto nanizanih prizmatičnih prostora (sl. 13a). Prema pretprojektu (sl. 13b) konstrukcija se sastoji od poprečnih nazubljenih okvira, uzdužnih greda i stropova. Stropovi leže na uzdužnim gredama, a uzdužne grede na okvirima. U daljoj razradi treba se odlučiti za sustav okvira (armiranobetonski zidni bez zglobova, sa dva ili tri zgloba; čelični rešetkasti bez zglobova, sa dva ili tri zgloba,...), uzdužnih greda (kontinuirane armiranobetonske zidne s otvorima za prozore, kontinuirane metalne rešetkaste,...) i stropova (armiranobetonski poprečno jednosmjerni masivni ili rebrasti,...).

Proračun za konstrukcijsko projektiranje služi za određivanje potrebnih dimenzija presjeka i detalja. Teorije konstrukcija, iako su znatno napredovale za posljednjih desetljeća, nisu potpuno usavršene i nisu međusobno usklađene. Tako je npr. »suvremena praksa proračuna armiranobetonskih konstrukcija kombinacija elastičnih metoda za utvrđivanje unutrašnjih sila, plastičnih metoda za dimenzioniranje presjeka s obzirom na moment savijanja i uzdužnu silu, te empirijskih metoda za dimenzioniranje presjeka s obzirom na poprečnu silu« (MacGregor). Zbog toga je opravdano što se u početnim fazama projektiranja primjenjuju samo približni proračuni uz pojednostavnjene pretpostavke i mnoga zanemarenja.



Sl. 11. Kutijasta zgrada sa četiri stupa. a pogled, b prva razrada, c detaljnija razrada

Sl. 12. Zgrada s četiri kutije i četiri stupa. a pogled, b detaljnija razrada



Sl. 13. Zgrada od dva krila s terasasto nanizanim prostorijama. a pogled, b pretprojekt

Proračuni se osnivaju na zamišljenom modelu koji samo približno odgovara svojstvima građevine koja će se graditi. Zbog toga ne treba pretjerivati u točnosti proračuna. Konstrukcije se, naime, ne ruše ako su stvarna naprezanja za dvadesetak postotaka veća od proračunanih. One se, međutim, mogu srušiti ako projektant zaboravi neki utjecaj ili pogrešno ocijeni njegovo djelovanje, ako pogriješiti u položaju decimalnog zareza ili ako učini neku drugu grubu pogrešku. Osim toga, što je proračun duži i kompliciraniji, veća je mogućnost pogreške.

U novije vrijeme pokušava se proračun sistematizirati i automatizirati pomoću elektroničkih računala. Ona se upo-

trebaju tek u podmaklim fazama projektiranja, kad je projekt nosive konstrukcije već sazrio. Računala služe za kompletne statičko-dinamičke analize osobito kompliciranih i vrlo kompliciranih konstrukcija.

Primjena računala međutim, donosi i opasnosti. Dugačke izlazne liste rezultata proračuna stvaraju dojam savršene točnosti, ali oni mogu biti potpuno pogrešni zbog nedovoljna znanja ili iskustva korisnika te zbog neke sitne pogreške u ulaznim podacima. To potvrđuju brojne srušene građevine.

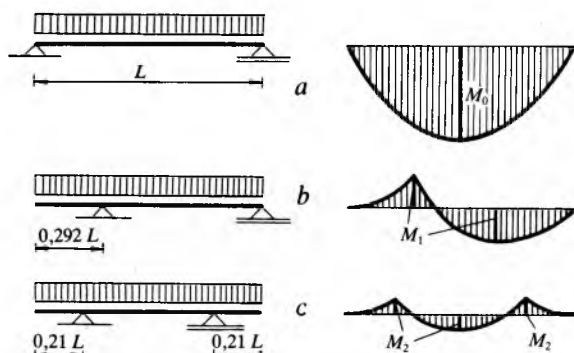
Bitno je da korisnik razumije algoritme kojima se služi i da se rezultati provjere, ili da su bar u skladu s iskustvenim očekivanjima. Ako je problem tako jedinstven da ni mjerodavni stručnjak nema osjećaja za ispravnost rezultata, najbolje je problem smatrati neriješenim.

UTJECAJI NA KONSTRUKCIJSKO PROJEKTIRANJE

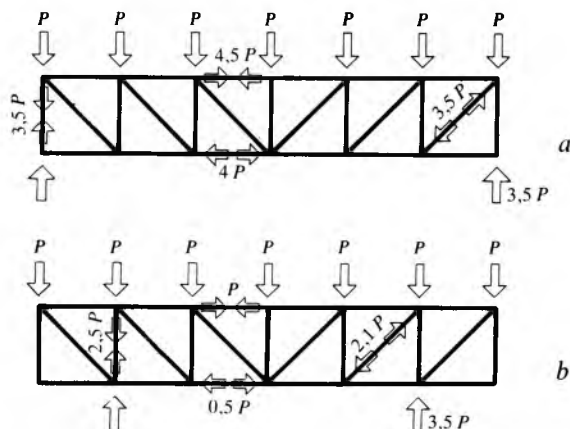
Postoji interakcija između konstrukcijskog i ostalih komponenata projektiranja. Povoljno je ako isti element ima nekoliko funkcija; tako, npr., neki zidovi nose i istodobno zatvaraju ili pregrađuju prostorije.

Nosiva konstrukcija i funkcija građevine. Ponekad se pomakom ležaja greda i ploča s obzirom na neki inicijalni položaj mogu, bez štete za funkcionalnost građevine, smanjiti rasponi uz smanjenje momenata savijanja i progiba i tako uštedjeti materijal.

Ako je prosta greda raspona L (sl. 14a) opterećena jednoliko raspodijeljenim opterećenjem intenziteta q po jedinici duljine, maksimalni moment savijanja iznosi $M_0 = 0,125qL^2$. Može li se jedan od ležaja pomaknuti, dobiva se greda s prepustom (sl. 14b); ako duljina prepusta iznosi $0,292L$, poljni i ležajni momenti imaju jednaku brojčanu vrijednost i iznose svega $M_1 = 0,043qL^2$. Mogu li se pomaknuti oba ležaja (sl. 14c), dobiva se greda sa dva prepusta, pa su momenti, uz jednaku duljinu i opterećenje grede, još manji;



Sl. 14. Greda s jednoliko raspodijeljenim opterećenjem i dijagrami momenta savijanja. a prosta greda, b greda s prepustom, c greda sa dva prepusta



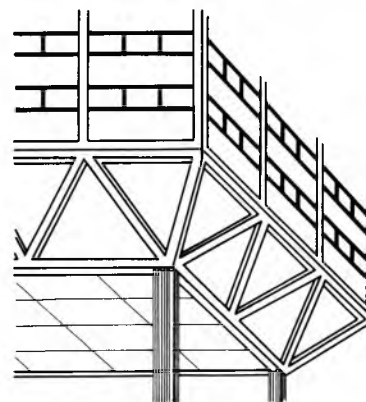
Sl. 15. Rešetkasta greda opterećena jednakim čvornim silama i maksimalnom štapnom silom. a prosta greda, b greda sa dva prepusta

ako duljina prepusta iznosi $0,21L$, poljni i oba ležajna momenta imaju jednake brojčane vrijednosti i iznose $M_2 = 0,021qL^2$.

Za kontinuirane grede i ploče povoljne duljine prepusta iznose $\frac{1}{3} \dots \frac{1}{3}$ duljine susjednog polja. Takvi prepusti često služe kao galerije ili prometne površine.

Analogno se postupa kad se predviđaju rešetkaste grede. U rešetkastoj prostoju gredi sa šest jednakih polja i sedam jednakih čvornih opterećenja P (sl. 15a) maksimalna vlačna sila u gornjem pojasu iznosi $4,5P$, maksimalna vlačna sila u donjem pojasu $4,0P$, maksimalna vlačna sila u dijagonalama uz ležaje $3,5P$, a maksimalna tlačna sila u ležajnim vertikalama također $3,5P$. Uspiju li se oba ležaja pomaknuti prema sredini za jedno polje (sl. 15b) tako da se dobije rešetkasta greda sa dva prepusta, unutrašnje sile postaju znatno manje, što se vidi usporedbom podataka na slikama 15a i 15b.

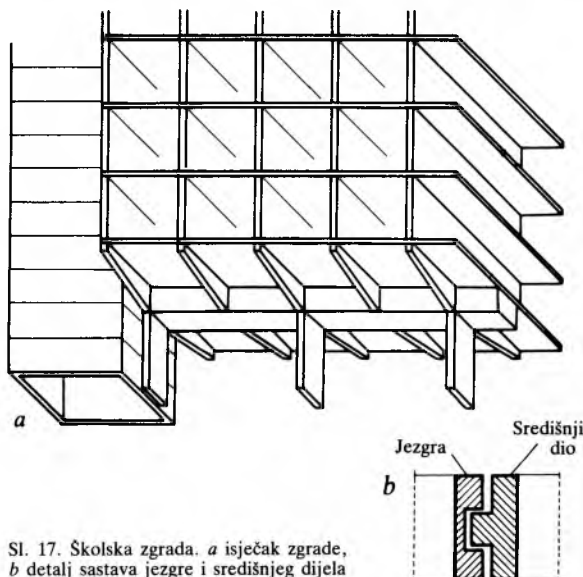
Uspio primjer integracije arhitektonskog i konstrukcijskog projektiranja te projektiranja instalacija jest zgrada Kansas-City Bank (sl. 16). To je toranj sa 16 katova koji se oslanja na prostornu rešetku, a ona naliježe na pet stupova i rešetkastu jezgru u prostornom slobodnom prizemnom prostoru visokom 18 m. Glavna se konstrukcija tornja sastoji od obodne cijevi sastavljene od 16 stupova i visokih prstenastih prečaka visine 1,67 m; ona preuzima sva bočna opterećenja. Prostorna je rešetka visoka 5,5 m i služi kao instalacijska etaža, preuzima vertikalna i horizontalna opterećenja od tornja te ih prenosi na jezgru i stupove u prizemnom prostoru. Za tu se građevinu kaže da je to »poštena« konstrukcija koja pokazuje sve svoje glavne elemente: stupove i prečke tornja, prostornu rešetku koja sjedinjuje funkcionalnost i ljepotu, te stupove i rešetkastu jezgru koji je nose.



Sl. 16. Isječak zgrade Kansas-City Bank

Nosiva konstrukcija i vertikalni putovi i instalacije. Za vertikalno kretanje u visokim zgradama potrebna su velika okna koja se mogu iskoristiti za jezgre koje preuzimaju horizontalna opterećenja.

Školska zgrada npr. sastoji se od središnjeg dijela i dviju bočnih jezgara (sl. 17a). U središnjem su dijelu smještene korisne prostorije. Stupovi i prečka slobodnog prizemlja



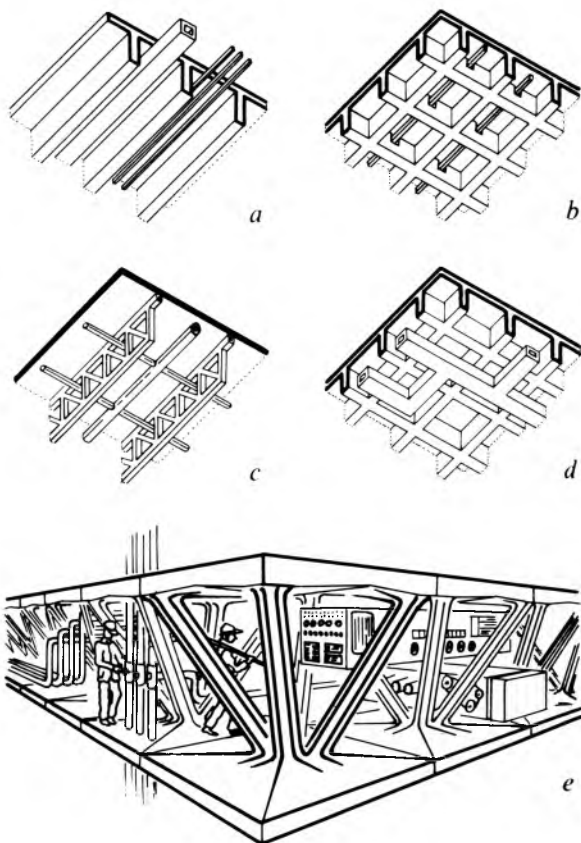
Sl. 17. Školska zgrada. a isječak zgrade, b detalj sastava jezgre i središnjeg dijela

formiraju uzdužni okvir. U jezgrama su stubišta i dizala. Jezgre su dilatacijskim fugama odvojene od središnjeg dijela, a poprečne se horizontalne akcije središnjeg dijela prenose u bočne dijelove kontaktom između pera i utora u zidovima jezgara uz dilatacijske fuge (sl. 17b).

Vertikalne instalacijske cijevi mogu se voditi kroz stropove ako im presjek nije prevelik i ako ih nema previše. Ako se ne žele oslabiti stropovi, vode se kroz šuplje ili dvodijelne stupove ili se sakupljaju u jezgri.

Nosiva konstrukcija i horizontalne instalacije (grijanje, ventilacija, kondicioniranje zraka i dr.). Kad su stropovi od jednosmjernih rebrastih ploča, cijevi se mogu voditi između rebara (sl. 18a), a pokoja cijev može prolaziti i kroz rebro. Također cijevi manjeg promjera mogu prolaziti kroz rebra dvosmjernih rebrastih ploča (sl. 18b). Kad su stropovi od rešetkastih i okvirnih greda, cijevi mogu prolaziti između greda i kroz otvore u gredama (sl. 18c). Ako je sustav instalacija kompliciran i sadrži velike elemente, polaže se ispod stropa (sl. 18d). To, međutim, ili smanjuje svjetlu visinu kata ili povisuje njegovu ukupnu visinu.

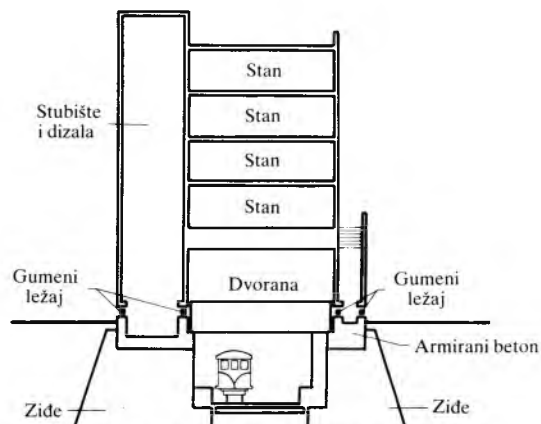
Ako je sustav instalacija osobito kompliciran i treba mnogo prostora, smješta se u posebnu instalacijsku etažu (sl. 18e).



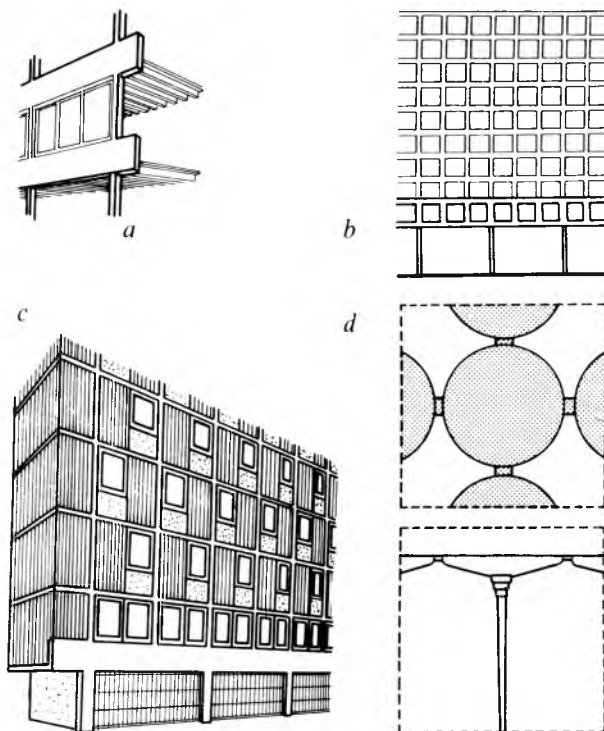
Sl. 18. Nosiva konstrukcija i horizontalne instalacije. a instalacijske cijevi između rebara stropa, b instalacijske cijevi kroz rebra, c instalacijske cijevi između rešetaka i kroz njih, d instalacije smještene ispod stropa, e posebna instalacijska etaža

Nosiva konstrukcija i strojevi. Ako su strojevi s neuravnoteženim masama smješteni na relativno savitljivim konstrukcijama, pojavit će se vibracije i buka. To se može spriječiti ako se nosiva konstrukcija stroja odvoji od nosive konstrukcije zgrade i posebno temelji ili ako se strojevi postave na posebne ležaje. Na primjer zgrada koja premošćuje željezničku prugu zaštićena je od vibracija postavljanjem na armirane gumene ležajeve (sl. 19).

Nosiva konstrukcija i rasvjeta. U fasadama se može umjesto podvlake, koja preuzima opterećenje stropa, i nenosivog parapeta postaviti visoka prečka, nadvlaka, koja



Sl. 19. Zgrada koja premošćuje željezničku prugu



Sl. 20. Nosive konstrukcije i rasvjeta. a nadvlaka do donjeg ruba stropa, b okvirni nosač s prozorima, c parapetni zidni nosač nad garažom, d konstrukcija od stupova od gljivasto proširenih na vrhu i međusobno spojenih malim prečkama

seže samo do donjeg ruba stropa (sl. 20a). Tako se dosta poboljšava rasvjeta ispod stropa, a okvirnim se djelovanjem prečke sa stupovima pridonosi bočnom ukrućenju zgrade.

Ako na koti stropa prizemlja skelet uskog rastera natprizemnog dijela fasade prelazi u skelet širokog rastera prizemnog dijela, akcije se stupova koji završavaju iznad prizemlja mogu preuzeti okvirnim nosačem (sl. 20b). Otvori između stupaca te gornjeg i donjeg pojasa nosača mogu se iskoristiti za prozore.

U zgradi na sl. 20c parapetni zidni nosač prvog kata preuzima akcije stupova koji završavaju iznad prizemlja, što omogućuje ulaz u garaže.

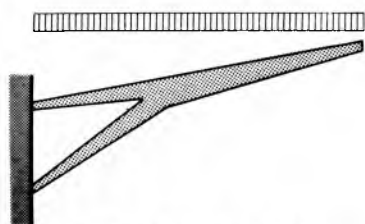
Velika poslovna zgrada F. L. Wrighta (sl. 20d) poznata je po uspješnoj integraciji nosive konstrukcije i prirodne rasvjete. Sastoji se od stupova koji su na vrhu gljivasto prošireni, malih prečaka koje spajaju ta proširenja i stakla između njih. Stupovi s proširenjima i prečke čine prostoran višepoljni zglobni okvir.

Nosiva konstrukcija i protupožarna zaštita. Već prema opasnosti od požara zgrade se protupožarnim zidovima dijele u odsječke kako bi se spriječilo širenje požara iz jednog u

drugi odsječak. Budući da su protupožarni zidovi najčešće i nosivi, protupožarna zaštita utječe na broj i smještaj nosivih zidova.

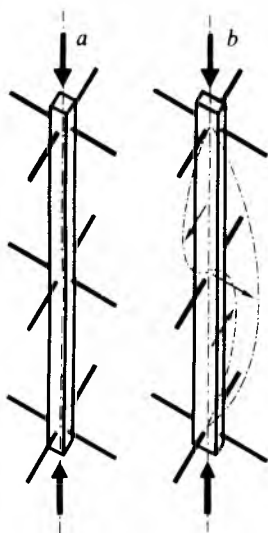
PUNOSTJENE GREDE I STUPOVI

Punostjene grede vrlo se često upotrebljavaju u zgradarstvu. Na dimenzije poprečnog presjeka grede bitno utječe njezin raspon. Maksimalni moment savijanja, uz jednoliko raspodijeljeno opterećenje, proporcionalan je, naime, kvadratu raspona. Poprečni je presjek grede to povoljniji što mu je, uz konstantnu površinu, veći moment otpora. Zbog toga materijal grede treba da bude što dalje od neutralne osi, a kad je greda od armiranog betona, treba smjestiti što više betona u tlačnu zonu presjeka. U jednodoljnoj gredi materijal se može iskoristiti samo u jednom presjeku, a i tamo samo na gornjem i donjem rubu. Zbog toga je povoljno da se mijenja visina grede uzduž raspona i time krak unutrašnjih sila. Greda se u području najvećih momenata savijanja može raščlaniti. Npr. tribina duga 17 m ima na krajevima raščlanjenu nadstrešnicu (P. L. Nervi; sl. 21).

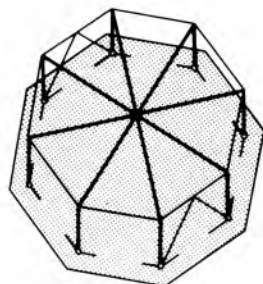


Sl. 21. Nadstrešnica tribine

Pritisnuti štapovi. U takvim štapovima materijal u poprečnim presjecima treba da bude što dalje od središta. Pritisnute je štapove povoljno bočno pridržavati na dovoljno mjesta tako da granični tlak bude jednak ili da ne bude mnogo manji od tlačne čvrstoće materijala. Pritom treba uzeti u obzir opasnost od izvijanja u oba glavna smjera. Ako je duljina izvijanja jednaka u oba glavna smjera, prikladni su presjeci konstantnog polumjera tromosti (v. *Nauka o čvrstoći*, TE 9, str. 295), npr. kružni i kvadratni presjeci (sl. 22a). Ako je duljina izvijanja u jednom od smjerova veća, za taj je smjer potreban veći polumjer tromosti (sl. 22b) da bi vitkost štapa bila jednaka za oba smjera.



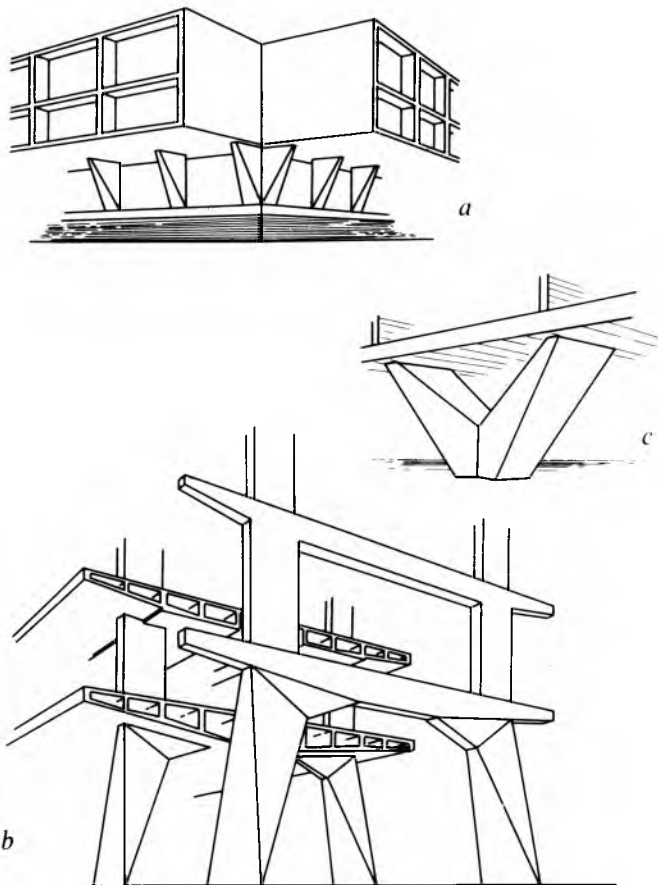
Sl. 22. Pritisnuti štapovi s bočnim pridržanjem. a štap kvadratnog presjeka, b štap pravokutnog presjeka



Sl. 23. Paviljon od 4 dvozglobna okvira i para spregova

Aksijalno simetričan paviljon sa četiri dvozglobna okvira torzijski je labilan i ne može preuzeti torzijsko opterećenje ako se pretpostavi, što je uobičajeno, da okviri primaju samo opterećenja u svojoj ravnini. Konstrukciju treba torzijski ukrotiti, npr., parom spregova u njenim pobočkama (sl. 23).

Pritisnuto savijeni štapovi. Stupovi se Ratnog memorijala u Milwaukeeu (E. Saarinen; sl. 24a) u ravnini poprečnog zida što ga nose suzuju prema dolje, a okomito na nju proširuju. Tako se na gornjem kraju postiže upetost stupa u ravnini poprečnog zida, a zglobni oslonac okomito na tu ravninu. Na donjem kraju postiže se zglobni oslonac u ravnini zida, a upetost okomito na nju.



Sl. 24. Pritisnuto-savijeni štapovi. a isječak Ratnog memorijala u Milwaukeeu, b isječak zgrade UNESCO u Parizu, c viljuškasti stup stambene zgrade

Prizemlje Nervijeve konstrukcije zgrade UNESCO u Parizu (sl. 24b) ima poprečne elemente od dva stupa i prečke promjenljiva presjeka. Za horizontalno opterećenje u poprečnom smjeru zgrade element djeluje kao dvozgloban okvir, a za horizontalno opterećenje u uzdužnom smjeru kao konzola.

Svaki krak dvokrakih stupova stambenog bloka u Berlinu (O. Niemeyer; sl. 24c) nosi poprečni zid. Krakovi se u poprečnom smjeru zgrade prema dolje suzuju, a u uzdužnom smjeru proširuju. Za vertikalnu akciju od težine zgrade stupovi djeluju kao dijagonale trokutne rešetke, a za horizontalno opterećenje u uzdužnom smjeru zgrade kao konzole.

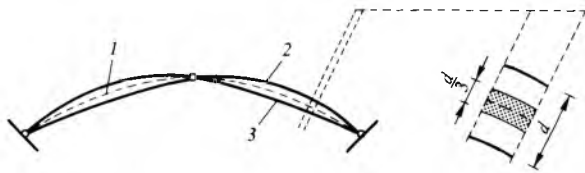
LUKOVI

Lukovi se često primjenjuju za prekrivanje hala (v. *Lukovi*, TE 7, str. 564). Kao os luka najpovoljnije je uzeti potpurnu liniju za dominantno opterećenje. Parabola drugog stupnja potporna je linija kad je opterećenje jednoliko raspodijeljeno po horizontali, lančanica kad je opterećenje jednoliko raspodijeljeno uzduž luka, a poligon ako se opterećenje sastoji od koncentriranih sila. Potporna je linija uvijek afina s momentnom linijom proste grede jednaka raspona i jednaka opterećenja.

U luku oblikovanu prema dominantnom opterećenju ono uzrokuje samo tlačne uzdužne sile. Uzdužna je sila najveća na krajevima luka, a po iznosu je jednaka reakcijama. Ona se prema sredini luka smanjuje i u tjemenu ima najmanju

vrijednost jednaku horizontalnoj komponenti reakcija, tj. potisku luka kad su ležaji na jednakoj visini. Horizontalna je komponenta uzdužne sile luka konstantna uzduž cijelog luka. Takav se prijenos opterećenja naziva *funikularnim* i ostvaruje se bez obzira na to je li luk bez zgloba ili s jednim, dva ili tri zgloba. Vrijednost je tlačnih sila to veća što je manji omjer strelice i raspona luka.

Kad se opterećenje razlikuje od dominantnoga, u luku se pojavljuju poprečne sile i momenti savijanja. Ako se potporna linija za stalno i pokretno opterećenje na lijevoj polovici luka te potporna linija za stalno i pokretno opterećenje na desnoj polovici luka posvuda nalaze unutar poprečnih presjeka luka, momenti su savijanja relativno mali. Ako je sila posvuda unutar jezgre (sl. 25), u presjecima se luka ne pojavljuju vlačna naprezanja. Odstupanje osi luka od ekstremnih položaja potporne linije mjerilo je nepovoljnosti fleksijskog naprezanja luka.

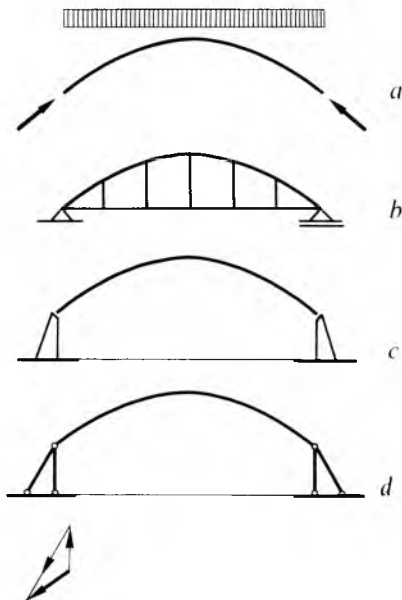


Sl. 25. Potporne linije luka za dominantno opterećenje (1), za stalno i pokretno opterećenje na lijevoj polovici luka (2), te za stalno i pokretno opterećenje na desnoj polovici luka (3)

Omjer strelice i raspona geometrijski je parametar luka. Taj omjer obično iznosi $\sim 1/5$. Takvi su lukovi plitki, pa se može smatrati da su njihova težina i njihovo dominantno opterećenje jednoliko raspodijeljeni po horizontali.

Utjecaj ležajnih uvjeta. Trozglobni luk statički je određen (v. *Mehanika*, TE 8, str. 13), pa je neosjetljiv na temperaturne promjene i diferencijska slijeganja te je relativno savitljiv. Bezglobni je luk tri puta statički neodređen, pa je osjetljiv na temperaturne promjene i diferencijska slijeganja te je relativno krut. Najčešće se izvodi dvozglojni luk, jer ujedinjuje neka povoljna svojstva, a ublažuje neka nepovoljna svojstva trozglobnog i bezglobnog luka.

Luk sa zategom upotrebljava se kad tlo ne može preuzeti horizontalni potisak luka, a ponaša se kao prosta greda. Unutrašnje se sile određuju kao za prostu gredu. Poprečnu silu luk preuzima vertikalnom komponentom uzdužne sile. Moment se savijanja preuzima parom sila, i to horizontalnom silom u zategi i paralelnom komponentom uzdužne sile luka.



Sl. 26. Lukovi. a opterećenje i reakcije luka, b luk sa zategom, c luk oslonjen na masivne stupove, d luk oslonjen na raščlanjene stupove

Luk bez zatege ponaša se kao luk sa zategom, ali horizontalni potisak preuzimaju ležaji umjesto zatege.

Kad je luk glavna nosiva konstrukcija hale, najbolje ga je voditi do upornjaka u tlu (sl. 26a) ako je to prihvatljivo s obzirom na potrebnu visinu ispod luka. Na upornjake, pri dominantnom opterećenju luka, djeluju sile u smjeru tangente na luk u ležajima. Ako se postavi zatega, treba je na nekoliko mjesta objesiti o luk (sl. 26b) da se ne bi previše provjesila. Luk sa zategom često se zglobno osloni na dva stupa. Oni su djelovanjem težine luka uglavnom tlačno napregnuti, a pri horizontalnom opterećenju u ravnini luka djeluju kao konzole.

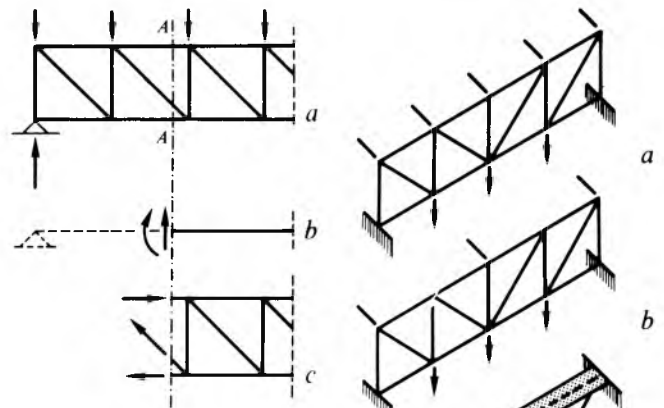
Ako se želi izbjeći zatega, moraju stupovi u ravnini luka imati velike dimenzije (sl. 26c), kako bi mogli preuzeti momente savijanja od potiska luka. Nešto se materijala može uštedjeti ako se stupovi raščlane (sl. 26d).

Budući da su lukovi napregnuti na tlak, treba uzeti u obzir opasnost od izvijanja u ravnini luka i okomito na nju. Dovoljnom krutošću luka postiže se sigurnost od izvijanja u ravnini luka, a spregovima sigurnost od izvijanja okomito na ravninu luka.

Ako je poprečni presjek luka naboran, govori se o naboranim lukovima (v. *Naborane konstrukcije*, TE 9, str. 173), a ako je ljuskast, onda su to ljuskasti lukovi (v. *Ljuske*, TE 7, str. 623).

REŠETKASTE GREDE

Rešetkaste grede prenose opterećenja slično kao punostjene grede. Kao primjer neka posluži greda s paralelnim pojasima (sl. 27a). Niz koncentriranih sila uzrokuje u poprečnim presjecima grede poprečne sile i momente savijanja (sl. 27b). Rešetka ih preuzima svojim štapovima (sl. 27c), i to poprečnu silu vertikalnom komponentom vlačne sile u



Sl. 27. Analogija rešetkaste i punostjene grede. a isječak rešetkaste grede, b poprečna sila i moment savijanja u poprečnom presjeku odgovarajuće punostjene grede, c sile u poprečnom presjeku rešetkaste grede

Sl. 28. Pridrzanje pritisnutih štapova okomito na ravninu rešetke. a gornji pojas pridržan u svim čvorištima, b gornji pojas pridržan u tri čvorišta, c gornji pojas pridržan samo na krajevima, d trobojzarna rešetka sa dva pritisnuta i s jednim zategnutim pojasom, e trobojzarna rešetka s dva zategnuta pojasa

dijagonalnom štapu, a moment savijanja silama u pojasnim štapovima i horizontalnom komponentom sile u dijagonalnom štapu, koje, sve zajedno, čine par sila. Pravilo je da oblik rešetke treba tako odrediti da njezine unutrašnje sile što efikasnije preuzmu gredne unutrašnje sile.

Za tlačne štapove treba uzeti u obzir opasnost od izvijanja. Gornji je pojas rešetke na slici 28a pridržan u svim čvorištima – u ravnini rešetke štapovima ispune, a okomito na tu ravninu roženicama krova. Povoljno je da polumjeri tromosti štapova pritisnutog pojasa budu približno jednaki u oba smjera (kružni ili kvadratni presjeci). Gornji pojas rešetke na slici 28b pridržan je okomito na ravninu rešetke samo na tri mjesta, pa taj pojas mora u tom smjeru biti krući. Ako je gornji pojas pridržan okomito na svoju ravninu samo na krajevima (sl. 28c), on mora u tom smjeru biti još krući. U tropojasnim rešetkama sa dva pritisnuta i jednim zategnutim pojasom (sl. 28d) i u tropojasnim rešetkama s jednim pritisnutim i dva zategnuta pojasa (sl. 28e) svi su štapovi na oba kraja prostorno pridržani.

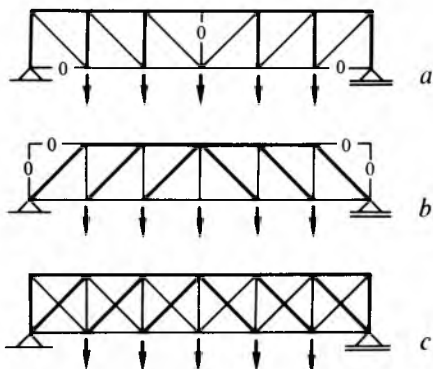
Visina je rešetkastih prostih greda prosječno ~1/10 raspona. Ako je opterećenje malo, visina može biti i manja (do ~1/20 raspona), a ako je opterećenje veliko, visina iznosi do ~1/5 raspona.

Radi oblikovanja čvorova poželjno je da kutovi koje čine štapovi iznose 30°...60°, a najbolje ~45°.

Tlačni vitki štapovi moraju za jednaku silu imati nešto veću površinu presjeka od vlačnih štapova, jer je njihovo granično naprezanje, već prema vitkosti, manje od tlačne čvrstoće.

Pravilo je da rešetku treba tako oblikovati da dulji štapovi budu vlačni, a samo kratki štapovi tlačni. Štapovi koji su u svim mogućim kombinacijama opterećenja zategnuti mogu se izvesti od žice ili uzeta.

Greda s paralelnim pojasima. Gornji je pojas pritisnut, a donji zategnut. Pojasni su štapovi najnapregnutiji u sredini raspona, gdje je moment savijanja najveći, a dijagonalni štapovi uz ležajeve, gdje je gredna poprečna sila najveća.

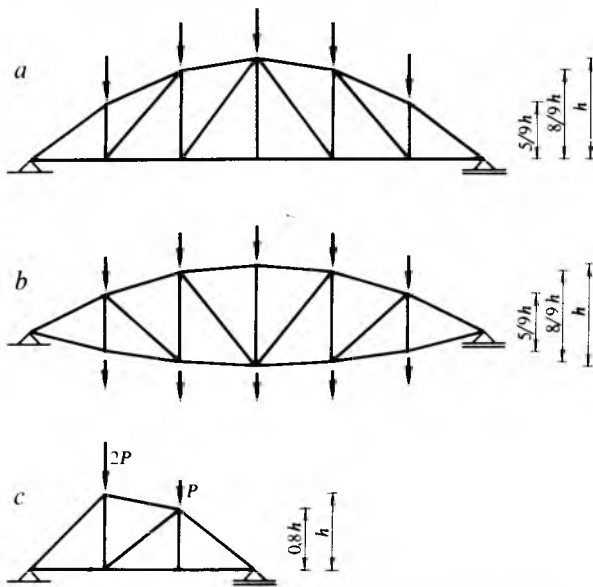


Sl. 29. Rešetkaste grede s paralelnim pojasima (tlačni štapovi su deblje nacrtani, vlačni tanje). a Prattova rešetka sa zategnutim dijagonalnim i pritisnutim vertikalnim štapovima, b Howeova rešetka s pritisnutim dijagonalnim i sa zategnutim vertikalnim štapovima, c rešetka s ukrštenim dijagonalama

Prattova rešetka (sl. 29a) ima zategnute dijagonalne, a pritisnute vertikalne štapove (s 0 su označeni nenapregnuti štapovi, tzv. nulti štapovi). Howeova rešetka (sl. 29b) ima pritisnute dijagonalne, a zategnute vertikalne štapove; ležajni vertikalni štapovi i krajnji štapovi gornjeg pojasa nisu napregnuti. S obzirom na naprezanja Prattova je rešetka povoljnija od Howeove. Rešetka s ukrštenim dijagonalama (sl. 29c) statički je neodređena. U približnim proračunima pojasne se sile određuju kao kvocijent grednog momenta savijanja i visine rešetke, a sile u dijagonalama tako što se pretpostavi da po polovica gredne poprečne sile djeluje na svaku dijagonalu.

Funikularne rešetke. To su rešetke u kojima se dominantno opterećenje prenosi samo uzduž pojasá, dok su štapovi ispune

nenapregnuti i samo pridržavaju čvorove u ravnini rešetke. Rešetka je funikularna ako je oblik gornjeg ili donjeg pojasa ili obaju pojasa sličan momentnoj liniji proste grede jednaka raspona i jednaka opterećenja. Ako se opterećenje razlikuje od dominantnoga, a to se pojavljuje kad se pokretno opterećenje nalazi samo na dijelu raspona, prijenos unutrašnjih sila više nije funikularan, pa u štapovima ispune djeluju manje unutrašnje sile. Prednost je funikularnih rešetaka u tome što je prijenos opterećenja jednostavan i što im obično treba manje materijala nego drugim sustavima.

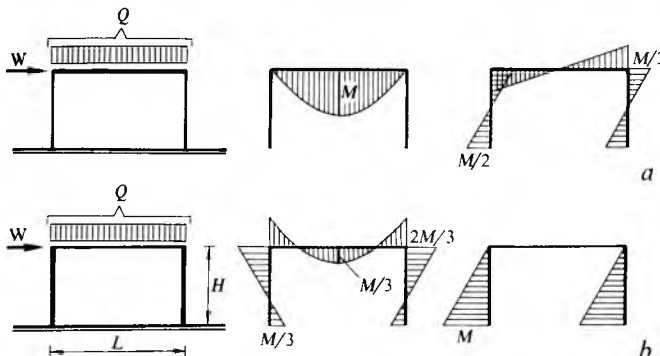


Sl. 30. Funikularne rešetke. a rešetka s poligonalmim gornjim i pravim donjim pojasom, b lećasta rešetka, c nesimetrična rešetka

U rešetki (sl. 30a), za prikazano dominantno opterećenje međusobno jednakim silama, gornji pojas djeluje kao luk, donji kao zatega, a štapovi su ispune nenapregnuti. Ako je lećasta rešetka (sl. 30b) opterećena dvama nizovima sila, gornji pojas djeluje kao luk, a donji kao uže; u ležajima se horizontalne komponente luka i užeta poništavaju, pa se na ležaje prenosi samo po polovica ukupne težine. Ako omjer opterećenja gornjeg i donjeg pojasa nije jednak omjeru strelica luka i užeta, vertikale su tako napregnute da se ostvari navedena raspodjela opterećenja, a dijagonale su uvijek nenapregnute. Za prikazano dominantno opterećenje nesimetrične rešetke (sl. 30c) gornji pojas djeluje kao luk, donji kao zatega, dok su štapovi ispune nenapregnuti.

PORTALNI OKVIRI

Portalni okvir sa stupovima upetim u temelj često je primjenjivana nosiva konstrukcija u zgradarstvu. Na portalni okvir djeluje jednoliko raspodijeljeno vertikalno opterećenje Q i horizontalna sila W od vjetra ili potresa (sl. 31). Unutrašnje sile ovise o omjeru krutosti prečke i stupova.



Sl. 31. Portalni okvir i dijagrami momenta savijanja zbog vertikalnog i horizontalnog opterećenja. a portalni okvir s vrlo krutom prečkom, b portalni okvir s vrlo krutim stupovima

Ako je prečka visoka i zbog toga kruća od stupova (sl. 31a), ona se prema vertikalnom opterećenju ponaša približno kao prosta greda, pa je moment savijanja maksimalan u polovici raspona i iznosi $M = QL/8$. Prema horizontalnom opterećenju stupovi se ponašaju kao na donjem kraju nepomično, a na gornjem kraju pomično upeti. Momenti savijanja na njihovim krajevima iznose $M/2 = WH/4$.

Ako su stupovi mnogo krući od prečke (sl. 31b), prečka se prema vertikalnom opterećenju ponaša kao obostrano upeta greda, pa su ležajni momenti ($M_1 = QL/12$) dva puta veći od poljnoga ($M_p = QL/24$). Prema horizontalnom opterećenju stupovi se ponašaju približno kao konzole, pa je njihov moment uklještenja $M = WH/2$.

BOČNA UKRUCENJA ZGRADA

Nosiva se konstrukcija zgrada obično sastoji od horizontalnih i vertikalnih elemenata.

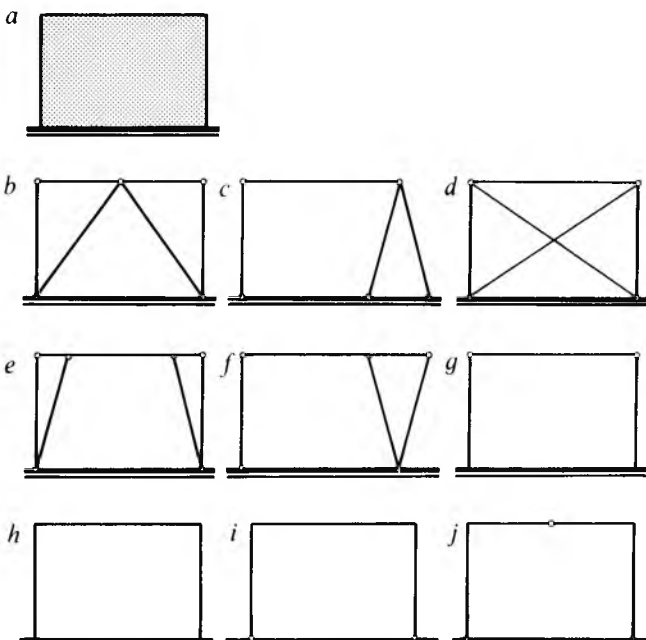
Horizontalni su elementi stropovi i oni preuzimaju: a) vertikalna opterećenja, koja se sastoje od vlastite težine i korisnog opterećenja, pa ih predaju vertikalnim elementima i b) horizontalna opterećenja koja predaju ukrutnim vertikalnim elementima.

Vertikalna opterećenja naprežu stropove na savijanje okomito na njihovu ravninu, a horizontalna opterećenja ih naprežu na savijanje u njihovoj ravnini. Stropovi prema tome djeluju i kao ploče i kao diskovi, pa se nazivaju disk-pločama.

Vertikalni elementi mogu biti ukrutni i pridržani. I jedni i drugi preuzimaju akcije stropova od vertikalnog opterećenja.

Ukrutni elementi preuzimaju osim vertikalnih i horizontalna opterećenja. Oni su često diskovi (ravninski elementi), npr. zidovi, zidovi s otvorima, vertikalne rešetke, okviri ili kombinirani sustavi. U stambenim zgradama nosivi zidovi ujedno zatvaraju ili razdvajaju stambene prostorije i djeluju kao ukrutni elementi. U nekim poslovnim i sličnim zgradama zidovi ili rešetke smanjuju fleksibilnost iskorištenja prostora, pa se primjenjuju samo u pobočkama jezgara i pobočkama zgrade. Sa stajališta te fleksibilnosti okviri imaju prednost pred zidovima i rešetkama, pa se često primjenjuju u poslovnim zgradama iako su mnogo deformabilniji. Što je viša, odnosno vitkija zgrada, to je važnija funkcija vertikalnih ukrutnih elemenata.

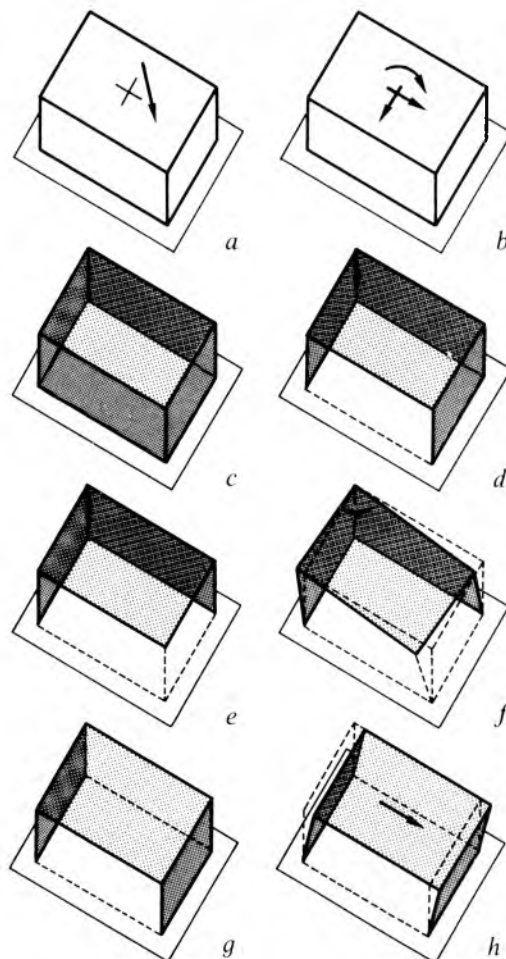
Na slici 32 vidi se deset ukrutnih elemenata za jednokatne zgrade: nosivi zid (sl. 32a), rešetke (sl. 32b i c), dva



Sl. 32. Ukrutni diskovi jednokatnih zgrada. a) nosivi zid, b) i c) rešetke, d) pendel-stupovi povezani ukrštenim dijagonalama od užadi, e) i f) okviri u kojih su savijane samo prečke, g) okvir u kojemu su savijani samo stupovi, h) bezglobni okvir, i) dvozgladni okvir, j) trozgladni okvir

pendel-stupa povezana ukrštenim dijagonalama od užadi (sl. 32d), okviri u kojima su savijane prečke (sl. 32e i f), okvir u kojemu su savijani samo stupovi (sl. 32g), bezglobni okvir (sl. 32h), dvozgladni okvir (sl. 32i) i trozgladni okvir (sl. 32j). Posljednja tri okvira imaju savijane sve štapove. Ukrutni elementi (sl. 32) poredani su približno prema bočnoj krutosti; prvi je najkrući (sl. 32a), a posljednji su vrlo fleksibilni.

Ukrutni sustav zgrada sastoji se od najmanje triju vertikalnih ukrutnih diskova koji se ne sijeku uzduž jednog pravca. Ukrutni sustav mora ispunjavati sljedeće zahtjeve: a) mora osiguravati dovoljnu bočnu čvrstoću i krutost u dva međusobno okomita smjera i time u svim horizontalnim smjerovima, te dovoljnu torzijsku čvrstoću i krutost, b) treba ga po mogućnosti smjestiti centrično da bi torzija od horizontalnih opterećenja bila što manja i c) stropnim pločama treba omogućiti dilatiranje, da bi se što više smanjila dodatna naprezanja; ako su stropovi prednapregnuti, treba omogućiti i skraćivanje stropova da sile prednaprezanja ne bi preuzimali vertikalni diskovi umjesto stropova.



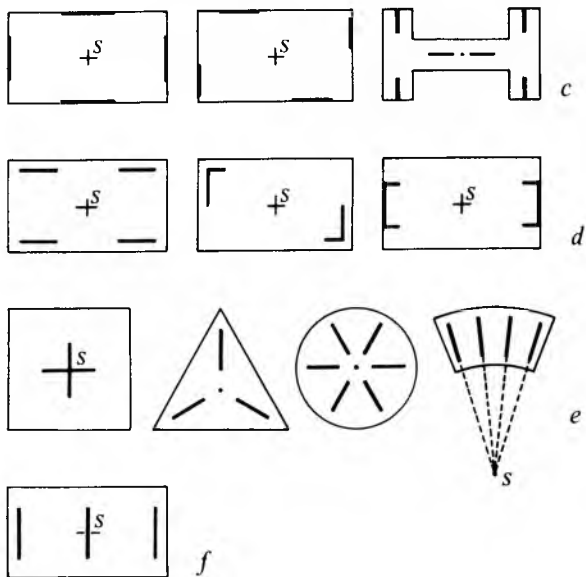
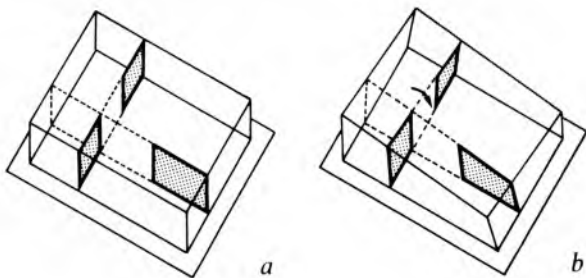
Sl. 33. Obojni smještaj ukrutnih diskova u paralelepipednoj zgradi. a) zgrada s krovnom disk-pločom i opterećenje, b) nadomjesne sile i torzijski moment, c) ukrutni diskovi u svim pobočkama, d) ukrutni diskovi u trima pobočkama, e) dva ukrutna diska u susjednim pobočkama, f) zakret konstrukcije sa dva ukrutna diska u susjednim pobočkama, g) dva ukrutna diska u nasuprotnim pobočkama, h) zakret konstrukcije sa dva ukrutna diska u nasuprotnim pobočkama

Pri bočnom opterećenju ukrutni sustav djeluje kao vertikalna konzola upeta u temelj i slobodna na gornjem kraju. Ona je na koti svakog stropa opterećena horizontalnom silom. Sile se mogu premjestiti u os konzole i zatim rastaviti u dvije komponente u glavnim ravninama i u torzijski moment. Najčešće je ukrutni sustav izvrnut savijanju u obje svoje glavne ravnine i torziji. Torziju preuzima savijanjem svojih diskova.

Osim što preuzima horizontalna opterećenja, ukrutni sustav bočno pridržava stupove i druge vitke elemente koji sami nisu stabilni.

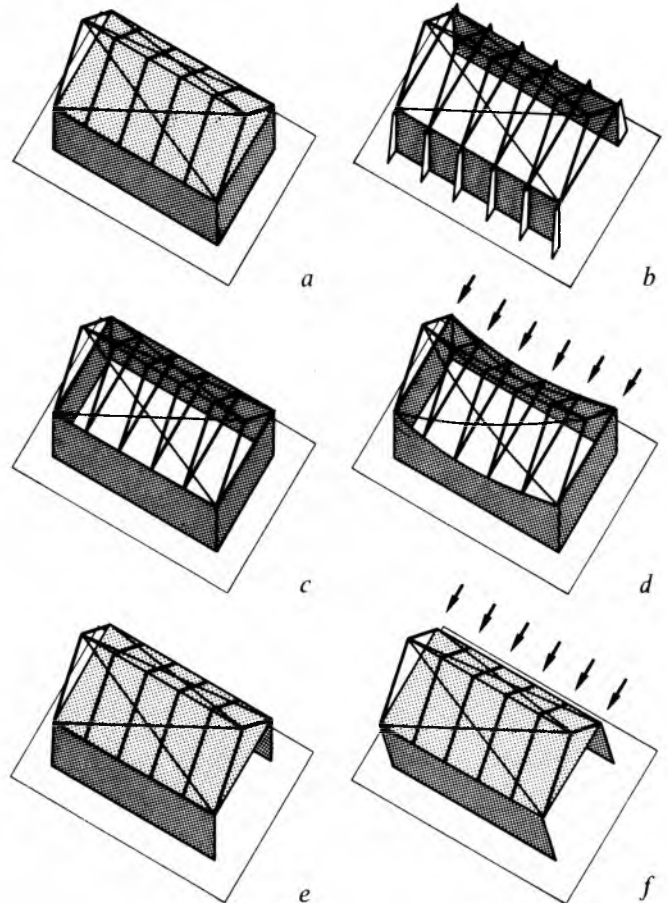
Na kutijastu građevinu s krovnom disk-pločom (sl. 33a) djeluje horizontalna sila. Ta se sila može nadomjestiti dvjema komponentama u središtu i torzijskim momentom (sl. 33b). Ako se u svim pobočkama građevine nalaze ukrutni diskovi (sl. 33c), ona je stabilna. To vrijedi i kad se u trima pobočkama nalaze ukrutni diskovi (sl. 33d). Ako građevina ima samo dva ukrutna diska u susjednim pobočkama (sl. 33e), ona je nestabilna, jer se može zakrenuti oko presječne diskova (sl. 33f). Građevina je također nestabilna ako ima dva ukrutna diska u nasuprotnim pobočkama (sl. 33g), jer se diskovi mogu zakrenuti oko svojih donjih rubova (sl. 33h).

Paralelepipedna građevina koja ima tri ukrutna diska (sl. 34a) koji se sijeku duž jednog pravca labilna je građevina, jer se može zakrenuti oko tog pravca (sl. 34b). Tlocrt triju ukrutnih sustava koji ispunjavaju sva tri navedena zahtjeva vidi se na slici 34c. Slika 34d prikazuje ukrutne sustave koji ne ispunjavaju treći od navedenih zahtjeva, slika 34e četiri ukrutna sustava koji nisu torzijski stabilni, a slika 34f sustav koji je labilan u smjeru okomitom na diskove.



Sl. 34. Tlocrtni smještaj ukrutnih diskova. *a* tri ukrutna diska koja se sijeku duž jednog pravca, *b* zakret konstrukcije sa tri ukrutna diska koja se sijeku duž jednog pravca, *c* ispravni ukrutni sustavi, *d* neispravni ukrutni sustavi, *e* torzijski nestabilni ukrutni sustavi, *f* sustav labilan u smjeru okomitom na diskove

Stabilna je zgrada (sl. 35a) pravokutne osnove s dvododnim krovom koja ima diskove u četiri pobočke i donji paralelepipedni dio prekriven disk-pločom, a krov joj čine štapni elementi i po jedan spreg u kosim ravninama. Također je stabilan sustav (sl. 35b) koji se sastoji od diskova i stupova u uzdužnim pobočkama, i trokutnih krovnih rešetaka sa spregovima. Sustav koji se sastoji od diskova u četiri pobočke, trokutnih krovnih rešetaka i spregova u kosim ravninama, ali nema horizontalne disk-ploče ispod krovne konstrukcije (sl. 35c) labilan je jer se pri horizontalnom opterećenju u



Sl. 35. Zgrada pravokutne osnove s dvododnim krovom. *a* stabilna konstrukcija s diskovima u četiri pobočke, donji dio prekriven disk-pločom, krov od štapnih elemenata i spregova, *b* stabilna konstrukcija s diskovima i stupovima u uzdužnim pobočkama, krov od trokutnih krovnih rešetaka i spregova, *c* labilna konstrukcija s diskovima u četiri pobočke, trokutnim krovnim rešetkama i spregovima u kosim ravninama, ali bez horizontalne disk-ploče ispod krovne konstrukcije, *d* deformacija konstrukcije *c*, *e* konstrukcija neukrućena u poprečnom smjeru, *f* zakret konstrukcije *e*

poprečnom smjeru ležaji krovnih rešetaka pomiču (sl. 35d). Sustav na sl. 35e nije ukrućen u poprečnom smjeru, pa se diskovi mogu zakrenuti oko svojih donjih rubova (sl. 35f).

SUSTAVI VIŠEKATNIH ZGRADA

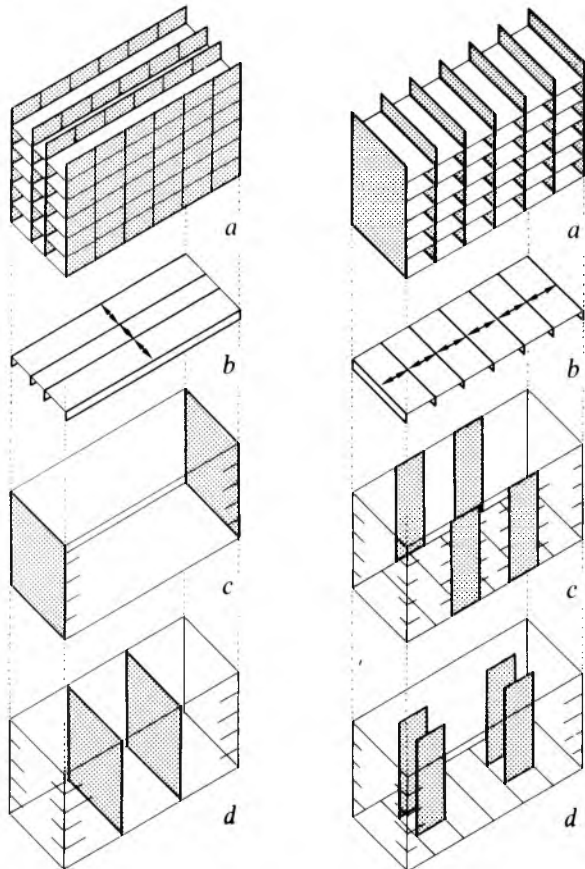
Najčešće se primjenjuju sustavi s uzdužnim zidovima, sustavi s poprečnim zidovima, sustavi s jezgrom, kombinacije tih sustava i cijevni sustavi.

Sustav s uzdužnim zidovima (sl. 36a) pogodan je za uredske i slične višekatnice. Obično je u sredini uzdužan hodnik, a sobe su smještene s obje strane. Uzdužni zidovi s otvorima odjeljuju sobe od hodnika i čine uzdužne fasade. Stropovi su uglavnom jednosmjerne ploče koje u poprečnom smjeru zgrade premošćuju razmake između uzdužnih zidova (sl. 36b). Poprečni su ukrutni diskovi smješteni na bočnim krajevima (sl. 36c) ili blizu sredine zgrade (sl. 36d).

Sustav s poprečnim zidovima (sl. 37a) pogodan je za stambene i slične zgrade. Stropovi su uglavnom jednosmjerne ploče koje u uzdužnom smjeru premošćuju razmake između poprečnih zidova (sl. 37b). Uzdužni su ukrutni diskovi smješteni u uzdužnim fasadama (sl. 37c) ili u unutrašnjosti zgrade (sl. 37d).

Sustav od uzdužnih i poprečnih zidova sastoji se od ukrštenih zidova. Stropovi su često dvosmjerne ploče.

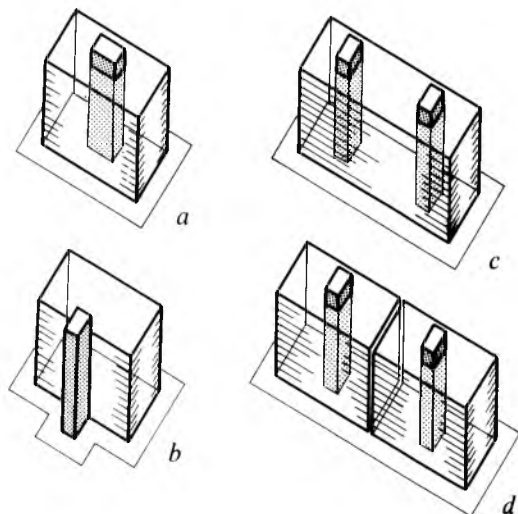
Sustavi s jezgrom. Jezgre se sastoje od tri ili više međusobno spojenih zidova tako da se uzduž sustava prenose vertikalni posmični naponi. Obično su u njima smještena stubišta, dizala, sanitarni čvorovi i instalacije. Sa stajališta



Sl. 36. Sustav s uzdužnim zidovima. *a* uređna zgrada s uzdužnim zidovima, *b* stropovi kojima se premošćuju razmaci između uzdužnih zidova, *c* bočni smještaj poprečnih ukrutnih diskova, *d* ukrutni diskovi smješteni blizu sredine zgrade

Sl. 37. Sustav s poprečnim zidovima. *a* stambena zgrada s poprečnim zidovima, *b* stropovi kojima se premošćuju razmaci između poprečnih zidova, *c* uzdužni diskovi u uzdužnim fasadama, *d* uzdužni diskovi u unutrašnjosti zgrade

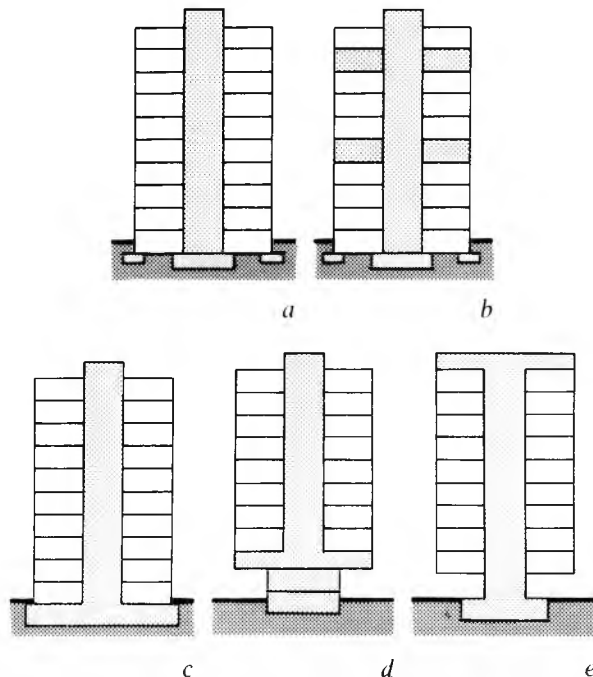
torzijske čvrstoće i krutosti najpovoljnije su jezgre sandučasta presjeka (sl. 38a). Tada se torzijski momenti rastavljaju na dva para sila u zidovima. Poželjno je da otvori za vrata budu što manji. Poprečni je presjek jezgre određen potrebnim smještajem uređaja i instalacija, te potrebnom čvrstoćom i krutošću.



Sl. 38. Sustav s jezgrom ili s jezgrama. *a* jezgra u sredini zgrade, *b* jezgra izvan bloka zgrade, *c* dugačka zgrada s dvije jezgre, *d* kao pod *c*, ali s dilatacijskom razdjelnicom

Ekscentrične su jezgre i jezgre izvan bloka zgrade (sl. 38b) povoljne sa stajališta stvaranja velikih slobodnih površina, a nepovoljne su sa stajališta čvrstoće i krutosti.

U dugačkim zgradama ponekad se ugrađuju dvije jezgre (sl. 38c), da požarni put ne bi bio predug. Tada se pojavljuje problem dodatnih naprezanja, jer stropovi ne mogu slobodno dilatirati. Tada je najjednostavnije rješenje pomoću dilatacijske razdjelnice (sl. 38d).



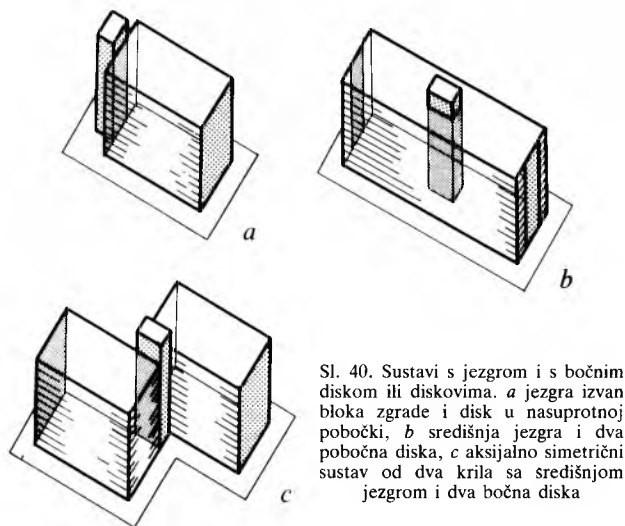
Sl. 39. Prijenos na tlo momenta od horizontalnog opterećenja. *a* mala stopa temelja jezgre, *b* jezgra povezana s obodnim stupovima jakim konzolama, *c* temelj ispod cijele zgrade, *d* konzole iznad prizemlja, *e* konzole na vrhu zgrade

Prijenos na tlo momenta od horizontalnog opterećenja često je ozbiljan problem, pogotovo ako stopa temelja jezgre nije velika (sl. 39a). Maksimalni tlak na tlo ne smije biti veći od dopuštenoga, a odvajanje temelja od tla, tj. stvaranje fuge u stopi, ne smije biti prekomjerno. Vertikalna sila u jezgri od težine dijela zgrade djeluje uglavnom povoljno, jer sprečava otvaranje fuge ili je barem suzuje. Ako se jezgra poveže jakim konzolama s obodnim stupovima (sl. 39b), oni parom uzdužnih sila preuzimaju dio konzolnog momenta, što smanjuje moment u stopi temelja jezgre. Proširi li se temelj ispod cijele zgrade (sl. 39c), on preuzima i akcije obodnih stupova, pa su moment otpora stope i vertikalna akcija u stopi dosta veći. Tada obično nema poteškoća s pritisicima u stopi. Ako se primijene konzole iznad prizemlja (sl. 39d), one prihvaćaju akcije obodnih stupova i uvode ih u jezgru. Tada stopa temelja može biti uža, jer je vertikalna sila u stopi veća. Ako se konzole primijene na vrhu zgrade (sl. 39e), one preuzimaju težinu njezinih perifernih dijelova. Utjecaj je na temelj jednak onome kad su konzole iznad prizemlja.

Sustavi od jezgre i ukrutnih diskova. Kad je jezgra izvan bloka zgrade i disk u nasuprotnoj pobočki (sl. 40a), lako je smjestiti velike slobodne prostore. Ostvareni su bočna čvrstoća i krutost u svim smjerovima te torzijska čvrstoća i krutost, a stropovi više-manje slobodno dilatiraju. Sustav od središnje jezgre i dva bočna diska (sl. 40b) te aksijalno simetrični sustav od dvaju krila sa središnjom jezgrom i dva bočna diska (sl. 40c) također imaju navedene prednosti.

Cijevni sustavi sastoje se od četiri fasadna diska u obliku zidova s otvorima, te okvira ili rešetaka. Cijev je primarna vertikalna nosiva konstrukcija i ona preuzima sva horizontalna opterećenja. Unutar zgrade postoje osim stropova samo pendel-stupovi koji preuzimaju pripadne dijelove vertikalnih opterećenja. Kako je materijal smješten daleko od neutralne osi, cijevni sustav osigurava optimalno iskorištenje materijala.

Za vrlo visoke zgrade ponekad se primjenjuje sustav koji se sastoji od unutrašnje cijevi koja omeđuje jezgru i od vanjske cijevi koja je plašt zgrade.



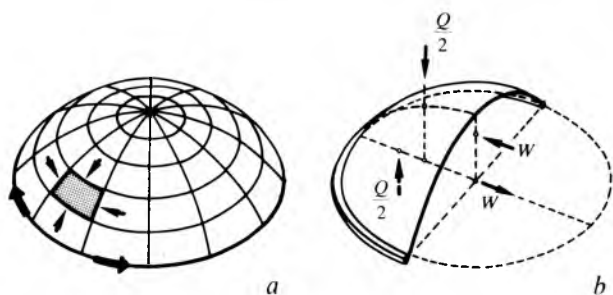
LJUSKE

Oblik ljuske (v. *Ljuske*, TE 7, str. 623) određen je njenom makrogeometrijom (oblik površine) i mikrogeometrijom (raspored materijala po površini). S mikrogeometrijskog aspekta ljuske mogu biti masivne, rebraste i raščlanjene. Debljina je masivnih ljusaka konstantna ili se kontinuirano mijenja. Rebraste ljuske imaju dio materijala kontinuirano raspoređen po površini, a dio uzduž rebara. Raščlanjene su ljuske najčešće prostorne rešetke. Masivne i rebraste ljuske najčešće su od armiranog betona, a raščlanjene od metala ili od drva.

Debljina je ljuske vrlo mala u usporedbi s njezinim ukupnim dimenzijama i polumjerima zakrivljenosti njezine površine. Omjer između debljine i tipičnog polumjera zakrivljenosti iznosi od ~1/24 (stare kamene ljuske, rimski Panteon) do ~1/500 pa i manje (suvremene armiranobetonske ljuske). Površina sa stranicama od 30...40 m može se prekriti armiranobetonskom ljuskom debljine 8 cm. Ljuske prekrivaju i mnogo veće površine bez međuoslonaca s mnogo manjim utroškom materijala nego druge konstrukcije sličnih raspona. Armirani beton najpogodniji je materijal za ljuske. Upravo ljuske omogućuju iskorištenje bitnih prednosti armiranog betona prema ostalim građevnim materijalima.

Iako su ljuske vrlo tanke, one su vrlo čvrste i krute, u prvom redu zbog svog oblika, a manje zbog svoje debljine. Unutrašnje su sile pretežno membranske, pa je stanje unutrašnjih sila vrlo povoljno. Prijenos opterećenja u ljuskama tada se naziva funikularnim. U ravninskim konstrukcijama funikularni prijenos opterećenja može se ostvariti samo za jedno opterećenje, dok se u prostornim konstrukcijama takav prijenos može ostvariti za više opterećenja.

U kupoli u obliku kugline kalote (sl. 41a) opterećene vlastitom težinom pojavljuju se dvije grupe napona: a) pritisak uzduž meridijana kojim se težina prenosi na ležajni



Sl. 41. Kupola u obliku kugline kalote. a pogled i unutrašnje sile, b polovica kupole s vanjskim i unutrašnjim silama

prsten i b) pritisak uzduž paralelnih krugova (prstena). Na polovicu ljuske (sl. 41 b) djeluju: a) vlastita težina; pretpostavi li se da je ona jednoliko raspodijeljena po osnovici, njena rezultanta $Q/2$ djeluje u težištu polukruga, b) pritisak uzduž presjeka prstena; rezultanta pritiska W djeluje u ravnini simetrije polovice ljuske približno na trećini visine ispod vrha kupole, c) vlačne sile u presjeku ležajnog prstena; rezultanta W djeluje u ravnini simetrije polovice ljuske na koti osi ležajnog presjeka i d) vertikalne reaktivne sile jednoliko raspodijeljene uzduž ležajnog prstena; njihova rezultanta $Q/2$ djeluje u težištu polukružnog luka osi prstena. Težina, tj. vertikalna akcija i reakcija čine napadni ili vanjski par sila, a rezultanta horizontalnih pritisaka uzduž prstena i rezultanta vlačnih sila u ležajnom prstenu čine unutrašnji par sila. Zbroj momenata vanjskog i unutrašnjeg para sila jednak je nuli, jer je sustav u ravnoteži.

Iako je utrošak materijala za gradnju ljusaka mnogo manji nego za gradnju drugih konstrukcija za slične raspone, obično je gradnja ljusaka neekonomična zbog skupih oplata i skela. Donedavna je odnos troškova za ljudski rad i građevni materijal bio takav da se je isplatilo investirati u projektiranje i izvedbu, a štedjeti materijal. Posljednjih se desetljeća, međutim, taj odnos promijenio, pa se ljuske grade rjeđe. Iznimku čine hiperbolneparaboloidne i rotacionohiperboloidne ljuske, jer su oplata i skele za njihovu gradnju gotovo tako jednostavne kao za ploče.

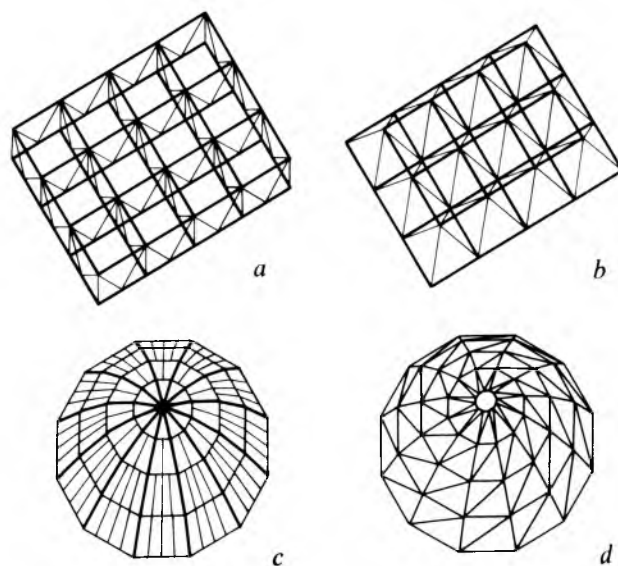
U najnovije se vrijeme za izvedbu ljusaka umjesto oplata i skele primjenjuju membrane ispunjene komprimiranim zrakom.

Nabori su posebna vrsta ljusaka. Oni spadaju među ekonomične ljuske zbog jednostavne izvedbe.

RAŠČLANJENE PROSTORNE KONSTRUKCIJE

Prema teoriji konstrukcija raščlanjene su prostorne konstrukcije one koje su zadane ravnom ili zaobljenom površinom (makrogeometrija) i koje su sastavljene od ravnih štapova međusobno spojenih u čvorovima. Detaljni izgled (mikrogeometrija) takvih konstrukcija određen je prostornim jedinicama od kojih su sastavljene, a njihove su dimenzije male u usporedbi s dimenzijama cijele konstrukcije. Raščlanjene prostorne konstrukcije nazivaju se jednoslojnima ako svi štapovi leže u jednoj površini, a dvoslojnima ako štapovi leže u dvjema obično paralelnim površinama.

Konstrukcijske karakteristike. Raščlanjene prostorne konstrukcije štapni su ekvivalent pripadnog kontinuuma, dakle ploče ili ljuske. Prijenos opterećenja, promatrano na makrozadini, odgovara prijenosu opterećenja pripadnog trodimenzij-



Sl. 42. Rešetkaste ploče i štapne kupole. a rešetkasta ploča od ravninskih rešetaka, b prostorna rešetkasta ploča, c štapna kupola od ravninskih lukova i greda, d Schwedlerova kupola

skog kontinuiranog sustava. Konstrukcijska je značajka raščlanjenih prostornih konstrukcija da se stabilnost postiže interakcijom svih štapova. Svi elementi imaju jednaku važnost, pa nema hijerarhije među elementima. Ne mogu se zamisliti sastavljenima od niza ravninskih elemenata koji su sami za sebe stabilni. Prema tome, njihova je prednost što u prijenosu svakog opterećenja sudjeluju svi štapovi, a mana što je konstrukciju potrebno pridržavati sve dok cijela nije montirana.

Razlika između konvencionalnih i prostornih konstrukcija prikazat će se na dva primjera.

Primjer 1. Rešetkasta konstrukcija (sl. 42a) nije prostorna jer se sastoji od dvije serije ravninskih rešetaka koje se sijeku i čine roštilj greda. Rešetkasta ploča (sl. 42b) sastoji se od dviju mreža gornjih i donjih pojasnih štapova te štapova ispune, koji formiraju poluoktaedre i tetraedre. Takva je ploča prostorna konstrukcija, jer se ne može predočiti sastavljenom od ravninskih elemenata.

Primjer 2. Štapna se kupola (sl. 42c) sastoji od ravninskih lukova, prstenastih i radijalnih greda. Lukovi su primarni, prstenaste grede sekundarni, a radijalne grede tercijarni elementi konstrukcije. Prijenos je opterećenja hijerarhijski: opterećenje krova preuzimaju radijalne grede, koje ga predaju prstenastim gredama, a one lukovima. Sustav nije prostorna konstrukcija. Za Schwedlerovu kupolu (sl. 42d) takva hijerarhijska klasifikacija elemenata nije moguća, pa je ona prostorna konstrukcija.

Funkcijske karakteristike raščlanjenih prostornih konstrukcija su sljedeće: *a)* lagane su, jer je materijal koncentriran uzduž linija i u čvorovima, pa je bolje iskorišten nego u kontinuiranim konstrukcijama i manje ga treba; zbog toga su i akcije na temelje manje pa su moguće dalje uštede, *b)* lagane su, čvrste i krute, bez međuslonaca, mogu prekrivati velike površine, a mogu se upotrijebiti i kao prenosive konstrukcije, *c)* zbog diskretne raspodjele elemenata lako je smjestiti prozore, instalacije, mehaničke uređaje i prolaze, *d)* pogodne su za industrijsko građenje pa su i sa stajališta izvedbe ekonomične.

NEKI POSEBNI PROBLEMI KONSTRUKCIJSKOG PROJEKTIRANJA

Sužavanje katova. U zgradarstvu je često potrebno suziti neki ili neke katove, obično najviši ili prizemlje, u odnosu na ostale katove.

Najviši kat može se suziti upotrebom okvira (sl. 43a). Pri detaljiranju i armiranju čvorova kojima je okvir priključen na donji dio zgrade mora se uzeti u obzir da su akcije okvira kose, tj. da imaju i horizontalnu komponentu. Te se komponente poništavaju u stropu ispod suženog kata naprežući ga na vlak. Za zatvaranje prostora služe nenosivi zidovi.

Suženje najvišeg kata može se ostvariti gredom s prepustom (sl. 43b). Tada su momenti savijanja grede nad unutrašnjim ležajem dosta veliki, a progib kraja prepusta može biti kritičan, pogotovo ako se uzme u obzir utjecaj puzanja betona. Zbog toga je ekonomično da greda ima promjenljiv presjek.

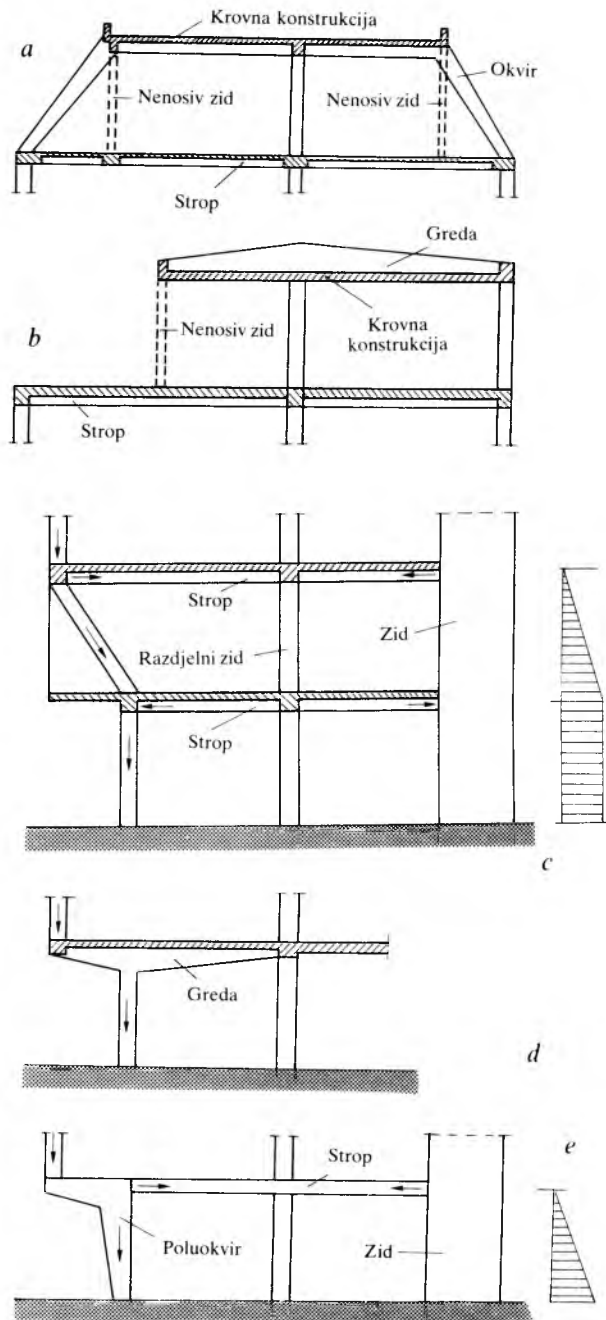
Prizemlje se može suziti ugradnjom kosog stupa u prvom katu (sl. 43c). Tada je strop iznad prvog kata dodatno napregnut na vlak, a strop ispod prvog kata dodatno na tlak. Horizontalne akcije tih dvaju stropova preuzima zid ili neki drugi vertikalni ukrutni element, koji ih savijanjem prenosi u tlo.

Moguće je i rješenje primjenom grede s prepustom (sl. 43d).

Ako se za suženje prizemlja upotrijebi poluokvir (sl. 43e), strop je nad prizemljem dodatno napregnut na vlak, a njegova se horizontalna akcija prenosi na zid, pa je zid dodatno napregnut na savijanje.

Ravnoteža – dominantni kriterij pri konstrukcijskom projektiranju. U mnogim konstrukcijskim elementima i konstrukcijama mogu se dominantne unutrašnje sile lako utvrditi primjenom uvjeta ravnoteže.

Neka se kružna temeljna ploča nalazi ispod kružnog centrično opterećenog stupa i neka je reaktivni pritisak tla jednoliko raspodijeljen po stopi. Temeljna je ploča prstenasto armirana uz svoju donju plohu blizu oboda. Rezultanta akcije



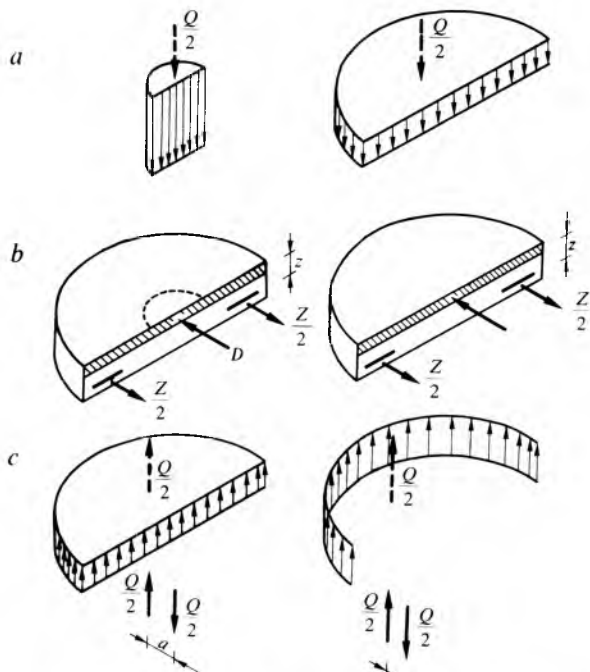
Sl. 43. Konstrukcijsko rješenje suženja najgornjeg kata okvirom (a) i gredom s prepustom (b), te suženja prizemlja kosim stupom u prvom katu (c), gredom s prepustom (d) i poluokvirom (e)

$Q/2$ djeluje u težištu polukružne površine dijela stupa (sl. 44a), a rezultanta reakcije $Q/2$ u težištu polukružne površine dijela stope (sl. 44c). Akcija i reakcija čine par sila s krakom a koji se određuje pomoću izraza za težište polukružnih površina. Napadni moment $Qa/2$ u vertikalnom presjeku ploče kroz vertikalnu os sustava u ravnoteži je s momentom $Zz = Dz$ unutrašnjih sila u tom presjeku (sl. 44b). Vlačna sila Z rezultanta je dviju vlačnih sila $Z/2$ u armaturi, a tlačna sila D rezultanta je pritiska iznad neutralne osi. Na osnovi ravnoteže vrijedi da je

$$Z = D = \frac{Qa}{2z} \quad (1)$$

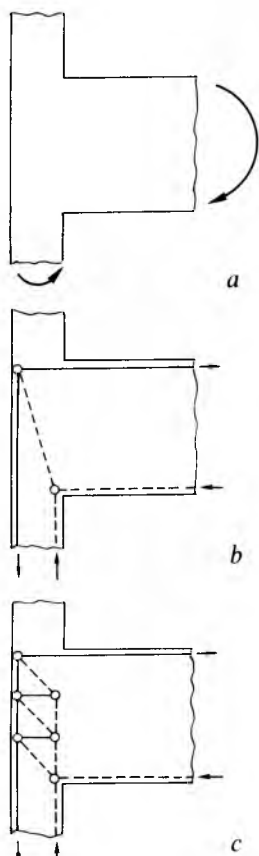
Krak z unutrašnjih sila iznosi $\sim 0,9$ statičke visine presjeka, pa je ploču lako dimenzionirati i dokazati njezinu fleksijsku čvrstoću.

Neka je kružna ploča obodno zglobno oslonjena i jednoliko opterećena po cijeloj površini i neka je ploča prstenasto

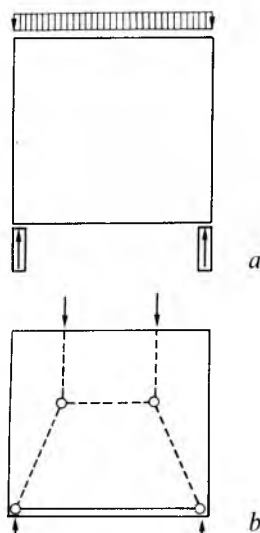


Sl. 44. Ravnoteža kružne temeljne ploče

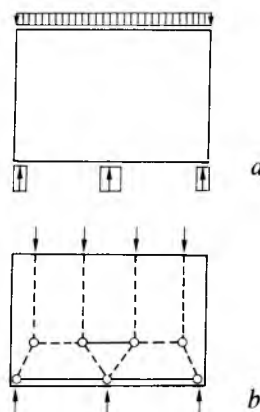
Sl. 45. Ravnoteža obodno zglobno oslonjene kružne ploče



Sl. 46. Čvorno područje okvira na koje djeluje negativni moment savijanja (a); grubi (b) i točniji štapni model (c)

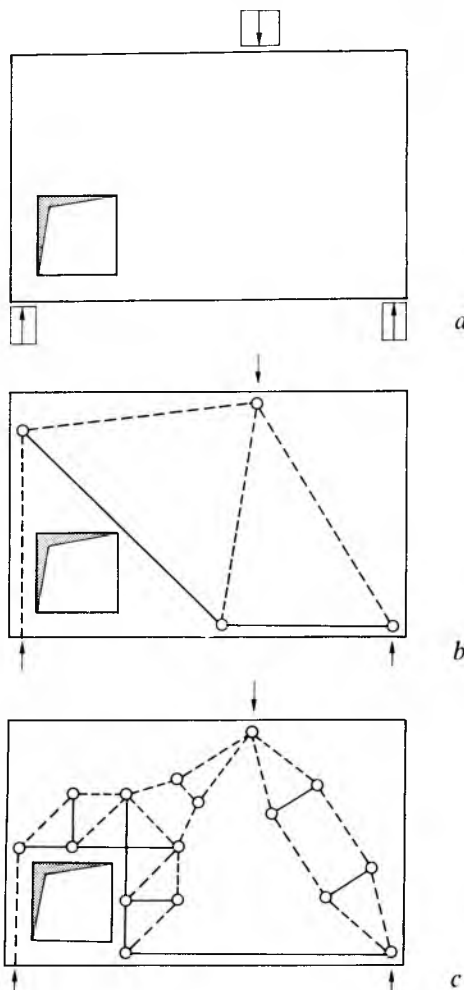


Sl. 47. Prosti zidni nosač (a) i njegov štapni model (b)



Sl. 48. Dvopoljni zidni nosač (a) i njegov štapni model (b)

armirana uz donju plohu blizu oboda. Rezultanta akcije $Q/2$ (sl. 45a) djeluje u težištu polukružne površine ploče, dok je reakcija jednoliko raspodijeljena po obodu, a rezultanta reakcije djeluje u težištu polukružne ležajne linije. Akcija i reakcija čine par sila s krakom koji se određuje pomoću izraza za težišta polukružne površine i polukružnog luka. Analiza se nastavlja na već opisani način.



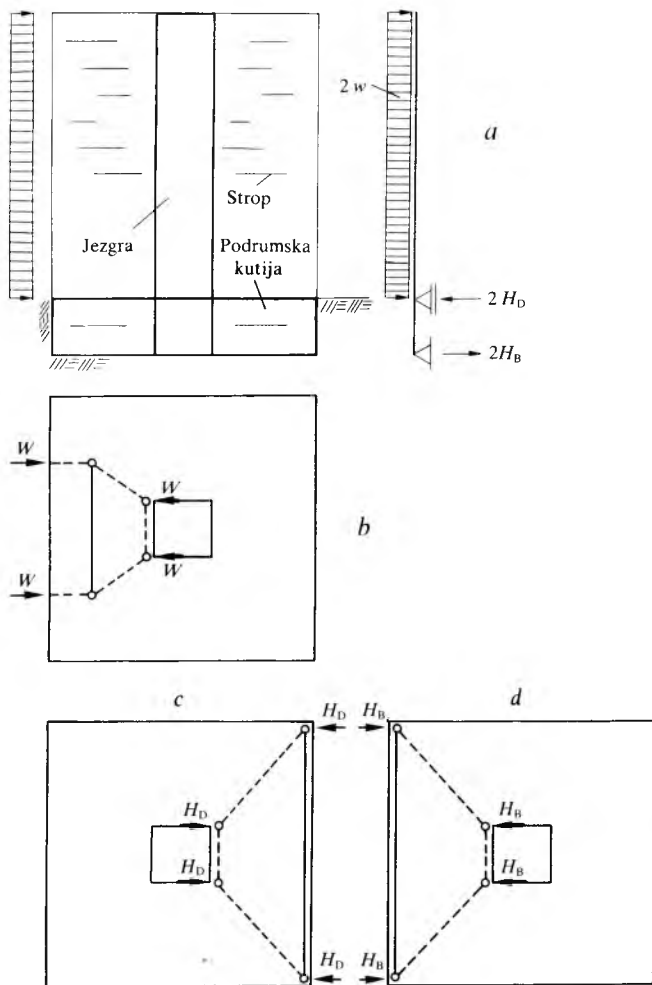
Sl. 49. Zidni nosač s otvorom (a) te grubi (b) i točniji štapni model (c)

U navedenim razmatranjima ne uzima se u obzir kompatibilnost deformacija. Dugo je, naime, poznato da teorija elastičnosti nije jedini uvjet za dobro konstruiranje, pogotovo za armiranobetonske konstrukcije. Smatra se da treba konstruirati i armirati tako da se dobije racionalna konstrukcija, a ne da se zadovolji teorija elastičnosti. Primarno je osigurati ravnotežu konstrukcije i njezinih elemenata uzimajući u obzir sve moguće utjecaje.

Simuliranje ploštinskih elemenata štapnim modelom. Ploštinski se elementi i konstrukcije mogu, umjesto da se promatraju kao kontinuum, simulirati štapnim modelom. Štapni se model odabire na temelju zamišljenih trajektorija glavnih vlačnih i tlačnih naprezanja. U sljedećim primjerima pune linije označuju vlačne štapove, odnosno armaturu u armiranobetonskoj konstrukciji, a isprekidane linije tlačne štapove.

Čvorno područje okvira na koje djeluje negativni moment savijanja (sl. 46a) može se simulirati jednostavnim (sl. 46b) ili složenijim modelom (sl. 46c). U oba modela glavna se armatura nalazi uz vanjske pobočke okvira. Složeniji model iziskuje dodatnu horizontalnu armaturu (spone).

Prosti zidni nosač koji je jednoliko opterećen (sl. 47a) simulira se razuporom (sl. 47b). Armatura je tada koncentrirana uz donji rub nosača.



Sl. 50. Zgrada s jezgrom upetom u podrumsku kutiju. a mehanička shema jezgre pri opterećenju vjetrom, b štapni model stropova, c štapni modeli gornjeg diska i d donjeg diska podrumске kutije

Dvopoljni jednoliko opterećeni zidni nosač (sl. 48a) ima glavnu poljnu armaturu uz donji rub, a ležajnu na višoj koti (sl. 48b).

Zidni nosač s otvorom s koncentriranim opterećenjem (sl. 49a) simulira se jednostavnim (sl. 49b) ili složenijim štapnim modelom (sl. 49c).

U zgradi s jezgrom upetom u podrumsku kutiju (sl. 50a) pri bočnom opterećenju vjetrom jezgra djeluje kao vertikalna greda s malim poljem i dugim prepustom. U stropnim se diskovima pomoću štapnog modela (sl. 50b) utvrđuje mjesto, smjer i presjek armature te tlačna naprezanja. Gornji disk (sl. 50c) i donji disk podrumске kutije (sl. 50d) djeluju kao razupore. Armiraju se uzduž cijelog oboda, jer vjetar može djelovati u svim smjerovima.

LIT.: D. Schodek, Structures. Prentice-Hall, Englewood Cliffs 1980. – P. Lin, S. Stotesbury, Structural Concepts and Systems for Architects and Engineers. J. Wiley & Sons, New York 1981. – R. Rosman, Erdbebenwiderstandsfähiges Bauen. W. Ernst & Sohn, Berlin 1983.

R. Rosman

PROJEKTIRANJE ZGRADA U POTRESNIM PODRUČJIMA, projektiranje zgrada što bez većih oštećenja mogu izdržati potres one intenzivnosti koja se može očekivati na području gdje će biti izgrađene.

Zgrade otporne na potres moraju, osim zahtjeva koji vrijede za sve zgrade, zadovoljiti i dodatne zahtjeve. Da bi se formulirali dodatni zahtjevi, uvode se pojmovi koji nisu

potrebni kad se projektiraju konstrukcije izvan potresnih područja, a to su: duktilnost materijala i konstrukcija, prigušivanje vibracija te apsorpcija i disipacija energije.

Duktilnost materijala i konstrukcija. Duktilnost je materijala njegova sposobnost da se pri praktički konstantnom naprezanju relativno jako deformira. Element je štapa duktilan ako se uz konstantan moment savijanja znatno poveća njegova zakrivljenost, pa se govori o duktilnosti zakrivljenosti. U nosivim se konstrukcijama duktilnost materijala manifestira formiranjem plastičnih zglobova (v. *Ploče, građevinske*, TE 10, str. 405) u njezinim najviše napregnutim područjima, najčešće na krajevima greda i ploča. Duktilnost se konstrukcije definira kao omjer horizontalnog progiba njezina vrha kad ona prelazi u lomni mehanizam i horizontalnog progiba njezina vrha u trenutku formiranja prvoga plastičnog zgloba. Duktilnost se konstrukcije postiže kutnim pomacima u plastičnim zglobovima, a utvrđuje se na osnovi mjerodavnog lomnog mehanizma, tj. figure tečenja.

Čelik je vrlo pogodan materijal što se tiče duktilnosti. Armirani je beton moguće prikladnim oblikovanjem učiniti duktilnim. Zide može prikladnim armiranjem postići neznatnu duktilnost. Želi li se iskoristiti povoljna duktilnost konstrukcije, mora se osigurati da konstrukcija zbog instabilnosti ravnoteže, posmičnog loma nekog stupa, loma usidrenja građe u nekom čvoru ili sličnog uzroka ne postane neupotreb- ljava prije prijelaza u lomni mehanizam.

Prigušivanje vibracija. Pod prigušivanjem vibracija razumi- jeva se postupno smanjivanje njihovih amplituda sve do stanja mirovanja kad se radi o slobodnim vibracijama, odnosno sprečavanje rezonancije kad se radi o prinudnim vibracijama. Vibracije se prigušuju zbog trenja među česti- cama materijala, odnosno zbog nepovratnog pretvaranja u toplinu dijela energije što ga podrhtavanje tla za vrijeme potresa unosi u konstrukciju. Prigušivanju vibracija pridonosi viskozno prigušivanje, koje ovisi o frekvenciji vibracije, i histerežno prigušivanje, koje ne ovisi o toj frekvenciji.

Prigušivanje koje periodične vibracije čini aperiodičnim naziva se kritičnim. Prigušivanje u uobičajenih zgrada iznosi $2 \cdot 10^{-2}$ od kritičnoga, pa se amplituda vibracija nakon prestanka potresa postupno smanjuje sve do stanja mirovanja.

Dok je disipacija energije u inženjerskim konstrukcijama obično nepoželjna, npr. u strojevima jer uzrokuje gubitke, ona je povoljna i poželjna u građevinama za vrijeme potresa.

Bilanca energije. Tokom potresa vibracije tla u stopi temelja stalno dovode energiju u konstrukciju. Ona tu energiju najprije akumulira u obliku kinetičke i potencijalne energije, a manji dio stalno rasipa viskoznim prigušivanjem. Kad je potres vrlo jak, nakon nekoliko sekunda vibracije postaju tako intenzivne da se, ako je konstrukcija duktilna, pojavljuju plastične deformacije i stvaraju se plastični zglobo- vi. Od tog trenutka mnogo se energije rasipa histereznim prigušivanjem, a nešto i viskoznim prigušivanjem, pa se mehanička energija konstrukcije naglo smanjuje. Kad podrhtavanje tla prestane, ostatak mehaničke energije postupno se rasipa viskoznim prigušivanjem dok se konstrukcija ne povrti u stanje mirovanja. Opisana bilanca energije pokazuje da se duktilne građevine mnogo povoljnije ponašaju za vrijeme potresa nego neduktilne.

Propisi za antiseizmičke građevine predviđaju relativno manja seizmička opterećenja za duktilne nego za neduktilne konstrukcije. Želi li se iskoristiti ta bonifikacija, histerežno prigušivanje mora biti stabilno. Ako taj uvjet nije ispunjen, ciklično opterećenje dovodi do postupnog smanjenja čvrstoće i znatnih oštećenja, pa i rušenja konstrukcije. Manja oštećenja koja bi mogla nastati zbog histereznog prigušenja mogu se nakon potresa lako popraviti, pa se toleriraju radi ekonomič- nosti gradnja.

CILJ ANTISEIZMIČKOG PROJEKTIRANJA

Cilj je antiseizmičkog projektiranja da građevina povolj- nom kombinacijom čvrstoće, krutosti, duktilnosti i sposobno- sti preuzimanja energije podnese češće slabije potrese bez