



L. Allikas

PLASTMASS-

konstruktsioonid

TALLINN 1965

A-26666

TALLINNA POLÜTEHNILINE INSTITUUT
Ehituskonstruktsoonide kateeder

L. Allikas

PLASTMASSKONSTRUKTSIOONID

RAAMATUKOGU
TARTU ÜLIKOOLI

Tallinn

1965

Таллинский политехнический институт

Кафедра строительных конструкций

Л. Алликас

КОНСТРУКЦИИ ПЛАСТИЧЕСКИХ МАСС

На эстонском языке

TARTU ÜLIKOOLI
RAAMATUKOGU

Vastutav toimetaja M. Kaska

Trükkimisele antud 19.IV 65. Paber 60x84, 1/16
Trükipg. 7,0. Tingpg. 6,51. Tiraaž 400. MB-03930
TPI rotaprint, 1965. Tell. nr.233
Hind 23 kop.

SISSEJUHATUS

Üha enam hakatakse plastmasse kasutama kõikides rahvamajandus-
harudes. Kui varem kasutati plastmasse ehitustegevuses peami-
selt viimistlus- ja dekoratiivmaterjalina, siis tänapäeval ra-
kendatakse neid, tänu suhteliselt väikesele omakaalule ja suu-
rele tugevusele, ka konstruktsioonides.

Kiiresti areneva kodumaise tööstuse toodang suureneb pidevalt
mahus ja nomenklatuuris. Toodetakse asendamatu kõrgekvalitee-
dilisi liime, kergeid ja tugevaid kargplaste, metallitugevusi
klaasplaste jne. Viimaste kasutamine, sageli koos juba ehitus-
tegevuses levinud tugevate lehtmaterjalidega (alumiinium, as-
besttsement jt.) võimaldab luua uusi ehituskonstruktsioonide
tüüpe. Siinkohal nimetame näitena ainult kolmekihilisi paneele,
mille kasutamine suurendab ehitustegevuse industriaalsust, vä-
hendab tunduvalt ehituse kaalu, alandab ehituse hinda jne.

Plastmasskonstruktsioonide alal puudub õpik. Selle lünga täit-
miseks ongi koostatud käesolev lühike monograafia TPI Ehitus-
teaduskonna üliõpilastele ettekantud loengute baasil. Arves-
tades, et polümeerseid materjale on käsitletud juba varasema-
tel kursustel, puudutatakse neid küsimusi lühidalt ja ainult
ehituskonstruktsioonides kasutatavate materjalide piires. Sa-
muti valgustatakse lühidalt küsimusi, mida on käsitletud raa-
matus: L. Allikas, V. Kulbach, "Puitkonstruktsioonid" (näit.
liimid, liimimine jne.).

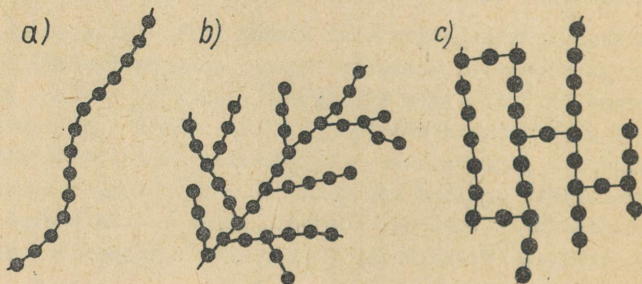
Töö põhiosas kirjeldatakse mitmesuguseid plastmasskonstruktsi-
oone ja antakse arvutusalsused. Töö lõpul toodud kirjanduse loe-
telu annab hulgaliselt illustreerivat materjali ja konkreetisee-
rib paljusid küsimusi ulatuses, mis on vajalik projekteeri-
misel.

Käesolev töö on määratud õppevahendiks TPI ehituse eriala üli-
õpilastele.

1. MATERJALID

1.1. Polümeeride ehitusest ja põhilistest omadustest

Plastmass on liitmaterjal: koosneb sideainest – polümeerist (nimetame ka vaiguks), täiteainest, värvainest jne. Polümeeri molekulid on tavaliste naturaalse materjalide molekulidest tunduvalt suuremad, mispärast neid nimetatakse makromolekulideks. Aine omadusi suurte elementaarosakeste puhul ei määra mitte ainult tema keemiline koostis, vaid ka molekuli kuju. Makromolekuli kuju on kas joone- (joon. 1 a), oksa- (joon.1b) või ruumilise võrgu (joon, 1 c) taoline.



Joon. 1.

Niiditaolised joonmakromolekulid kujutavad endast ahelat, mille üksikud lülid on kas ühesuguse või erineva keemilise koostisega. Makromolekulis on aatomid omavahel seotud keemiliste sidemetega (peavalentsjõud), makromolekulid omavahel aga eelmisest tunduvalt väiksemate füüsikalise päritoluga kaasvalents-

Nagu eeltoodust selgub, olenevad polümeeri omadused tema struktuurist. Joonmakromolekuli iseloomustab tema suurus, makromolekulide asetus üksteise suhtes, molekulaarikaal ja võime orienteeruda ning kristalliseeruda. Et makromolekulide omavaheline ühendus on küllaltki nõrk, siis sellise struktuuriga polümeere võib lahustada ja kõrgendatud temperatuuril nad pehmenevad. Makromolekuli pikkuse suurenedes suureneb ka makromolekule ühendav jõud.

Ruumilise struktuuriga polümeerid ei lahustu ega pehmenen kõrgetel temperatuuridel. Sellise polümeeri plastilised deformatsioonid on temperatuuri toimel ja mehaanilistel mõjutustel seda väiksemad, mida tihedamalt on asetatud põiksidemed.

Kirjeldatud makromolekulide mudelid on idealiseeritud. Tavalistes sünteetilistes polümeerides ei ole kõik makromolekulid ühesugused. Makromolekuli sünteesi vältel muutub lähteaine kontsentratsioon, temperatuur jne., millest tingituna tekivad polümeeris erineva pikkusega ja juhuslikult asetatud harudega (joon. 1 b) molekulid. Sellist reaalselt polümeeri iseloomustatakse keskmiste näitajatega. Olgu märgitud, et teatud tingimustel on võimalik luua ideaalsele struktuurile küllaltki lähedast, nn. stereoregulaarset polümeeri. Stereoregulaarse struktuuriga polümeeril on suurem tugevus ja elastsus ning teda kasutatakse seepärast sünteetiliselt kiudaines.

Regulaarse joon- ja harvalt asetatud põiksidemetega võrkstruktuuriga polümeeridel on omadus kristalliseeruda. Kristalliitide mõõtmed on makromolekuli mõõtmetest tunduvalt väiksemad. Kristalliitide moodustavad mõningad naabermolekulide üksikud lülid. Seega kuulub üks makromolekul mitme kristalliidi koostisse, kujundades kristalliitide vahel amorfse faasi.

Polümeeride käitumine erinevatel temperatuuridel on mitmesugune. Madalatel temperatuuridel polümeer on habras (klaasitaolises olukorras). Temperatuuri tõustes saavutavad üksikud makromolekuli lülid suurema liikuvuse ja polümeeris esinevad juba plastilised deformatsioonid. Temperatuuri edasisel tõusul väheneb joonstruktuuriga polümeeri viskoossus järsult, kuni lõpuks soojusest põhjustatult molekuli liikumine ületab kaasva-

lentsjõud, mis omakorda tingib suuri plastilisi deformatsioone. Veel edasi, soojustest tingitult molekulide liikumine võib ületada ka peavalentsjõud - makromolekul laguneb ja polümeer vedeldub. Makromolekulaarne (kõrgmolekulaarne) aine ei gaasistu.

Makromolekulidevahelised jõud annavad polümeerile kõva keha omadused. Teiselt poolt on aga soojustest tingitult makromolekulide üksikud lülid pidevas liikumises, mis on iseloomulik väga kõrge viskoossusega vedelikkudele. Seega polümeeri mehaanilised omadused kujutavad endast kõva keha ja vedeliku omaduste kombinatsiooni. Polümeeril on küllaltki suur tugevus, kuid samal ajal on tema jäivad deformatsioonid suured. Välismõjutused tekitavad joonstruktuuriga polümeeris kahesuguse iseloomuga deformatsioone: muudavad molekulide vahekaugusi - elastne deformatsioon - ja tasakaaluolukorda - kõrgelastne (kautšukile omane) deformatsioon. Koormuse rakendamisel esinevad neist areneb kiiresti, teine aga aeglaselt. Polümeeri tasakaaluolukord jääb välismõjutustest ajaliselt seda enam maha, mida suuremad on makromolekulidevahelised jõud.

Joonstruktuuriga polümeeridel, alates teatud temperatuurist, suurenevad deformatsioonid järsult. Seda üleminekupiirkonda nimetame klaasistumispiirkonnaks ja tähistame T_c . Temperatuuripiirkonda, kust algavad plastilised deformatsioonid, nimetame voolamispiirkonnaks T_f .

Harvade põiksidemetega polümeeril esinevad elastsed ja kõrgelastsed deformatsioonid, kuna plastilised deformatsioonid on väikesed. Tihedalt asetatud põiksidemetega polümeerid on klaasitaoliselt haprad - nad deformeeruvad vähe ja ainult elastselt.

Joonstruktuuriga polümeerid on kuumutamisel mitmekordselt üles sulatatavad (vormitavad), ilma et nende omadused muutuksid. Taolisi plastmasse, mis kuumutatult plastilises olukorras ei destrukteeru, nimetatakse termoplastideks. Ruumilise struktuuriga polümeeridest plastmassid kuumutamisel ei sula ja neid nimetatakse termoreaktiivseteks plastideks.

1.2. Plastmassid

Plastmasse valmistatakse kas täiteainega või täiteaineta koos plastifikaatori, stabilisaatori, värvi jt. ainetega. Orgaanilisi või anorgaanilisi täiteaineid kasutatakse plastmassi omaduste modifitseerimiseks. Plastifikaatori ülesanne on suurendada materjali külmakindlust ja elastsust madalatel temperatuuridel. Stabilisaator takistab polümeeri makromolekulide lagunemist välistegurite (kõrge temperatuur, Päikese kiirgus jm.) mõjul.

Deformatsiivsete omaduste järgi jagatakse plastmassid kõvadeks (plastid) - $E > 10000 \text{ kg/cm}^2$, poolkõvadeks (elastid) - $E > 4000 \text{ kg/cm}^2$ ja elastseteks (elastomeerid) - $E < 200 \text{ kg/cm}^2$.

Mahukaalu järgi jagatakse plastmassid: plastid - $\gamma > 300 \text{ kg/m}^3$ ja vahtplastid - $\gamma < 300 \text{ kg/m}^3$.

Ehitustegevuses kasutame plastmasse: a) plastidena, elastidena, elastomeeridena; b) kiudainetena; c) liimidena; d) lakkide ja värvidena.

1.21. Plastmasside tehnilisi omadusi

1. Plastmasside mahukaal on väike, olles piires 900 - 2200 kg/m^3 (vahtplastidel alates 30 kg/m^3).
2. Plastmasside tugevus kaaluühiku kohta ületab terase tugevuse. Plastmasside tugevus oleneb kasutatavast polümeerist ja eriti täiteainest ning mõjuvast temperatuurist ja koormuse iseloomust (lühiajaline või kestav, staatiline või dünaamiline). Plastmasside tugevus väheneb madalmolekulaarsete materjalidega võrreldes tunduvalt rohkem kõrgel temperatuuril kestva ja dünaamilise koormuse korral. Oluliselt mõjutab plastmassi tugevust täitematerjal. Klaaskiududest täite kasutamisel suureneb plastmassi tugevus, võrreldes polümeeriga, kuni kümme korda. Plastmassi kõvadus on väike (Brinelli järgi 6 - 60 kg/cm^2).
3. Plastmasside elastsusmoodul, olenedes tugevust mõjutavatest

teguritest, on väike. Jääkade plastmasside puhul ulatub elastsusmooduli väärtus umbes pooleni alumiiniumi elastsusmooduli väärtusest. Väike elastsusmoodul on plastmasside üheks suuremaks puuduseks. Plastmasskonstruktsiooni jätkus tagatakse sobivalt valitud ristlõikega.

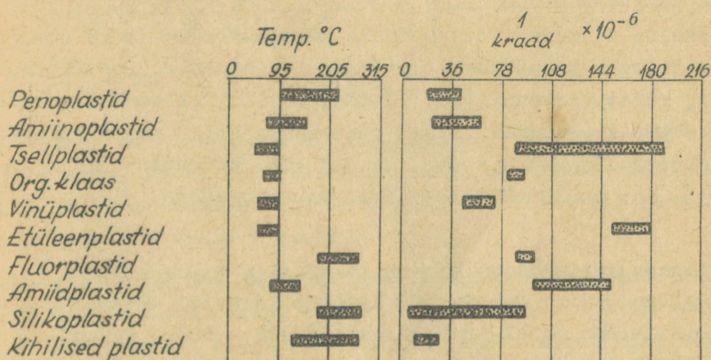
4. Plastmasside puuduseks on ka suured plastilised deformatsioonid.

5. Sünteetilised liimid on kõrge kvaliteediga ja asendamatud.

6. Plastmasside, isegi kergete vahtplastide veeimavus on väike.

7. Plastmassid on väga sobivad temperatuuri-, heli- ja hüdrolatsiooniks. Neid kasutatakse ka gaasi- ja aurutõkete moodustamiseks.

8. Plastmasside kuumakindlus on suhteliselt madal. Madalatele (50 - 70° C) temperatuuridele on plastmassid vähem tundlikud (puuduseks on suurenev haprus). Joon. 3 on toodud mõningate plastmasside lubatavate maksimaalsete temperatuuride piirkonnad.



Joon. 3.

9. Plastmasside temperatuuri joonpaisumise tegur on suur ja sellega tuleb konstruktsioonide projekteerimisel arvestada.

Joon. 3 on toodud mõningate plastmasside temperatuuri joonpaisumise tegurite väärtused.

10. Plastmassid on keemiliselt vastupidavad, olles suure korrosioonikindlusega ka väga agressiivses keskkonnas. Viimane asjaolu lubab plastmasse edukalt kasutada teiste materjalide kaitseks korrosiooni vastu.

11. Plastmasside optilised omadused on head. Mõned täitematerjalita plastid (polüsterool ja orgaaniline klaas) on värvuseta, läbipaistvad ja valguskiirte poolt laias lainevahemikus läbitavad (ka spektri ultraviolettkiirte osas), ületades ses suhtes tunduvalt silikaatklaasi.

12. Plastmassid on head dielektrikud.

13. Plastmasse on kerge töödelda.

14. Plastmasside üheks suureks puuduseks on nende vananemine. Temperatuuri, niiskuse, valguse jne. mõjul vähenevad plastide füüsikalised-mehaanilised näitajad 15 - 30%.

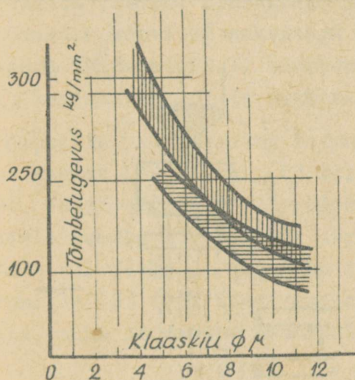
1.22. Täitematerjalid

Plastmasside mitmesuguste omaduste parandamiseks ja ka omahinna alandamiseks kasutatakse täidiseks puitlaaste, puitkiude, paberit, riidet (orgaanilised täitematerjalid), klaaskiude, klaasriidet, asbesti (anorgaanilised täitematerjalid) jm. Konstruktioonimaterjalidena on eriti tähtsad klaaskiududest täitematerjalid, mis muudavad plastmassid väga tugevaks.

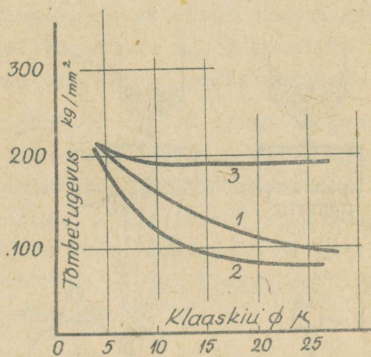
Väga väikese läbimõõduga klaaskiul on suur tugevus ja väike murdevenivus ($\sim 2\%$). Sulatatud klaasist tõmmatud elementaarkiul on 4μ läbimõõdu puhul tõmbetugevus $30000 - 40000 \text{ kg/cm}^2$. Kiu läbimõõdu suurenedes väheneb tugevus ja on näiteks 11μ läbimõõdu puhul $10000 - 12000 \text{ kg/cm}^2$.

Kiu tugevus oleneb veel klaasi keemilisest koostisest ja kiu pinna seisukorrast. Soovitatakse kasutada leelisevaba või vähese leelisesisaldusega ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} < 2\%$) klaase. Mõnel erand-

juhul lubatakse kasutada ka leelisklaase kuni 15%-lise leelis-oksiidisisaldusega. Leelisehulga suurenedes väheneb klaaskiu tugevus (joon. 4 vastab vertikaalne viirutus leelisevaba ja horisontaalne viirutus 17%-lise leelisesisaldusega klaasile), seda eriti vahelduval temperatuuril ja niiskes keskkonnas. Klaaskiu tugevust vähendavad ka tema pinnal olevad mikrovigastused. Viimaste mõju võib vähendada klaaskiu pinna keemilisel töötlemisel söövitavate ainetega (joon. 5: 1 - töötlemata klaaskiud; 2 - 300 - 500° C juures termiliselt töödeldud klaaskiud; 3 - sööbivate ainetega töödeldud klaaskiud).



Joon. 4.



Joon. 5.

Klaaskiud on elastsed kuni purunemiseni ($E = 0,7 \cdot 10^6 \text{ kg/cm}^2$). Arvestades, et vaikude elastsusmoodul on klaasi omast tunduvalt väiksem, võtavad liitmaterjalis klaas + vaik peaaegu kogu mõjuva jõu vastu klaaskiud.

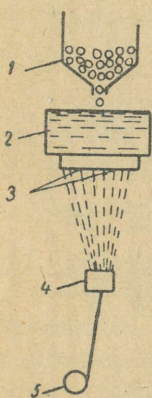
Tavaline aknaklaas on vähe tundlik vee suhtes. Sama klaas kiudude kujul, omades väga suure pinna, on aga tundlik vee suhtes. Vees või aurudes oleva klaaskiu tugevus väheneb kuni 40%.

Klaasplastikute valmistamisel on üheks tähtsamaks probleemiks klaaskiu nake vaikudega. Klaaskiu pinnal on alati väga õhuke veefilm, mis vähendab vaigu naket klaasiga. Viimase eemaldamine on väga tülikas. Isegi mitmetunniline kõrgvaakuumis kuumatamine temperatuuril 100° C ei eemalda veekihti täielikult.

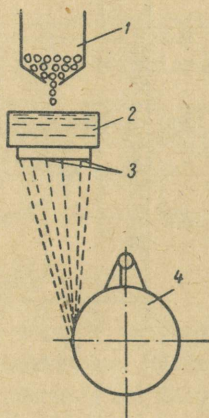
Klaaskiu pinna puhastamine kuumusega siiski suurendab naket. Nakke suurendamiseks töödeldakse klaaskiudude pinda spetsiaalsete ainetega.

Klaaskiu tekstiilsel ümbertöötamisel väheneb tema tugevus. Kedratud klaasniidi tugevus on ligikaudu 50 - 60% elementaarkiu tugevusest. Klaastekstiili tugevus on 10 - 20 korda väiksem klaaskiu tugevusest. Klaaskiudude liimimine vaikudega suurendab nende tugevust 20 - 25% ja klaasniidi immutamine (katmine) lakkidega suurendab tugevust 80 - 100%.

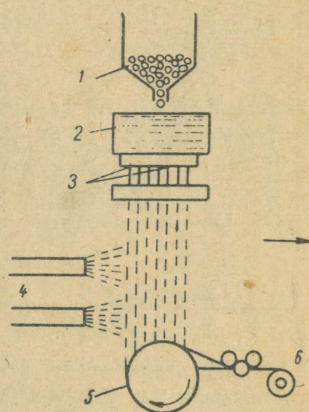
Järgnevas vaatleme klaaskiudude valmistamise mõningaid meetodeid.



Joon. 6.



Joon. 7.



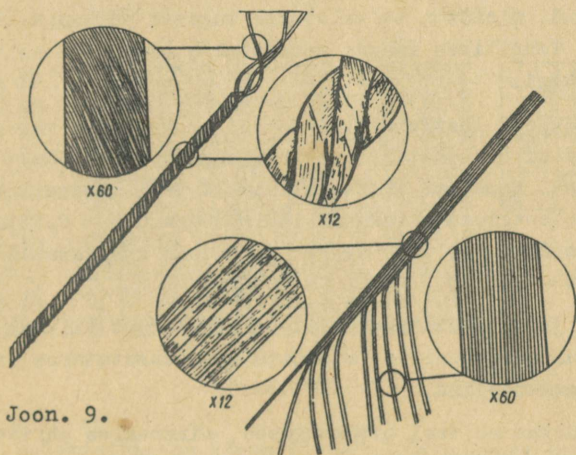
Joon. 8.

Joon. 6 esitatud skeemi kohaselt lastakse punkrist 1 15-20-mm läbimõõduga klaaskuulikesed elektriahju 2. Klaaskuulikeste kasutamine võimaldab reguleerida elektriahju koormust ja klaasi keemilist koostist. Elektriahju alumises osas oleva vanni põhjas on 15 - 200 augukest (3) läbimõõduga 1 mm, kust vedel klaas raskustungi mõjul niidina välja voolab. Õhu käes mõnevõrra jahtunud klaaskiud kogutakse trumlile (5). Trummel, pööreldes suurema kiirusega, kui on klaasniidi vaba langemise kiirus, venitab klaasniidi vajaliku läbimõõduni. Vanni aukude

läbimõõdu 1 mm ja trumlile kerimise kiiruse 50 - 60 m/sek juures saadakse lõpmata pika klaaskiud läbimõõduks 3 - 12 μ . Enne trumlile kerimist läbivad klaaskiud määrimisseadme (4), kus nad ühendatakse 50 - 200 elementaarkiud kaupa. Seejärel valmistatakse sellest materjalist niiti ja tekstiili.

Meil laialdaselt kasutatava klaasplastiku CBAM täitematerjali saamise skeem on toodud joon. 7. Analoogiliselt eelmisele skeemile juhitakse klaaskuulikesed punkrist (1) elektriahju (2). Aukudest (3) väljavoolav klaaskiud kogutakse pöörlevale trumlile (4). Ahi (2) liigub trumli telje suunas edasi-tagasi. Trumlile keritud klaaskiud, immutatud sünteetilise vaiguga, moodustab soovitud paksusega špooni. Kahes risti olevas suunas tugeva täitematerjali saamiseks lõigatakse špoon trumliilt lah-ti, keeratakse 90° ja jätkatakse uue špooni pealekerimist.

Štaapelkiu valmistamine toimub joon. 8 toodud skeemi kohaselt, kus punker (1) ja ahi (2) täidavad varem kirjeldatud ülesan-net. Vanni aukudest (3) väljavoolavatele vedelatele klaaskiu-dudele suunatakse õhu või auru juga, mille toimel kiud lõhu-takse tükkideks ja vajaliku läbimõõduni venitatult satuvad trumlile (5) (või linttransportööri). Siin lisatakse kiudu-dele vaiku ja saadav materjal pressitakse.



Joon. 9.

Klaaskiude kasutatakse klaasplastikute armeerimiseks mitmel kujul. Kõige lihtsamal juhul kasutatakse rovingut, mis kujutab endast 60 - 72 korrutamata niidist valmistatud palmikut (joon. 9 paremal all). Iga niit moodustatakse kuni 200 elementaarsest klaaskiust. See täide (armatuur) annab plastikule suure tugevuse ainult armatuuri suunas. Joon. 9 vasakul ülal on näidatud korrutatud niit.

Klaasplastikute valmistamisel kasutatakse laialdaselt lihtsalt valmistatavaid ja odavaid lauskangast matte. Jäigad matid valmistatakse 30 - 60 mm pikkustest juhuslikult suunatud ja vaikudega kokkuliimitud klaaskiududest. Mattide paksus on 0,5-2 mm ja 1 m² kaal 120 - 1000 g. Katkilõigatud klaaskiududest valmistatakse pehmeid vaipu, milleks kiud õmmeldakse marlist või puuvillriidest alusele. Mattide paksus on 0,3 - 3 mm ja 1 m² kaal 600 - 1500 g.

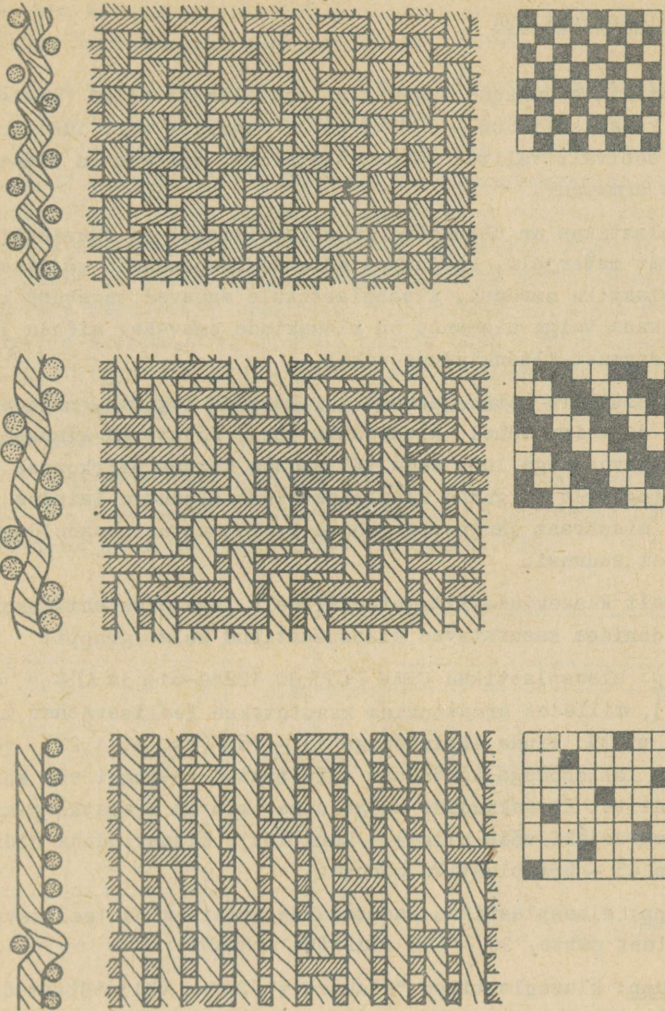
Peale nimetatute kasutatakse korrutatud ja korrutamata klaasniitidest kangaid. Eriti suur on korrutatud niidist kangaste sortiment. Ehituskonstruksioonideks määratud klaasplastikutes kasutatakse kangaid mark KACT, KACT-B jt.

Tekstiilkangas koosneb kahest teineteisega risti olevast niitide süsteemist. Lõimesuunaline niit - lõim on tavaliselt rohkem koormatud, mistõttu ta valitakse tugevam põiksuunalisest koelõngast. Tehnilises kangas kasutatakse joon. 10 esitatud kolme koe tüüpi.

Ülejäänud eespool loetletud täiteained on kas juba varem tuntud või neil ei ole ehituskonstruksioonide seisukohalt erilist tähtsust. Nimetame siinkohal ainult veel looduslikku mineraalset asbestkiudu. Kiududel läbimõõduga 0,5 - 0,75 μ on tõmbetugevus 20000 - 30000 kg/cm² ja nad on kasutatavad temperatuuril 450 - 700° C.

Naturaalsel ja sünteetilisel kiul on klaaskiust väiksem tugevus ja suurem murdevenivus, mistõttu neid kasutatakse erandjuhul täitematerjalina.

Katsetamisjärgus on veel mitmesugused mineraalse päritoluga kiudained, nagu kvarts (SiO₂), keraamika (50% M₂O₃ + 50% SiO₂, kus M-ga tähistame metalli, nagu alumiinium, raud jt.). Nende



Joon. 10.

ainete sulamistäpp on kõrge (1750°C). Kiududest võidakse valmistada neidsamu tooteid, millest oli juttu klaaskiudude puhul.

1.3. Klaasplastikud

Sünteesiliste vaikude tugevus on suhteliselt väike (tõmbetugevus keskmiselt 600 - 800 kg/cm²). Tugevust võib tunduvalt tõsta sobival valitud täitematerjaliga, milleks on klaaskiududest armatuur.

Klaasplastikus on ühendatud kaks keemiliselt ja füüsikaliselt erinevat materjali, kusjuures mõlemad komponendid mõjutavad klaasplastiku omadusi. Klaasplastikule annavad tugevuse klaaskiud, kuna vaigu ülesanne on klaaskiude omavahel siduda ja jagada koormust klaaskiudude vahel.

Klaasplastikute heterogeensus kui ka muud tegurid, nagu nake klaasi ja vaigu vahel, klaasihulk jne., mõjutavad klaasplastiku tugevust ega luba seda väljendada kitsas piirkonnas. Sellest tingitult kõiguvad klaasplastikute omadused laiades piirides, mispärast järgnevas toodud iseloomustusi vaadeldagu kui keskmisi suursi.

Vastavalt klaaskiud-täitematerjalidele jagatakse ehituskonstruksioonides kasutatavad klaasplastikud kolme gruppi:

I grupp: klaasplastikud CBAM (CTY 30 12249-61) ja AГ-4С (OMTY 431-57), millede armatuurina kasutatakse leelisevabast klaasist pikki kiude läbimõõduga 13 - 16 μ (vt. p. 1.22) või 5 - 7 μ läbimõõduga kiududest valmistatud rovingut või korruutatud niite. Klaaskiudude hulga suhe, mis on asetatud piki ja põiki materjali, võib olla 1:1 kuni 10:1. Klaaskiudude üldine maht on 45 - 65% plastiku mahust;

II grupp: klaasplastikus kasutatakse armatuurina leelisevabast klaaskiust matte, 20 - 55% plastiku mahust;

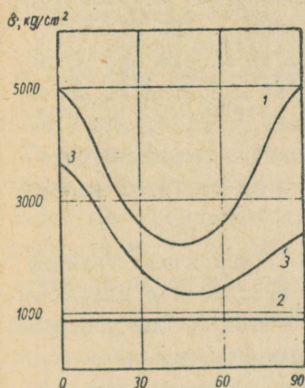
III grupp: klaasplastikud "Glakersit". SDV-s väljatöötatud klaasplastikus kasutatakse armatuurina leelisklaasist valmistatud suhteliselt jämedatest kiududest matte.

Peale nimetatute kasutatakse klaasplastikutes klaastekstoliite, nagu margid KACT-B (TY YXII 176-60) ja KACT (TY MXII M-682-56).

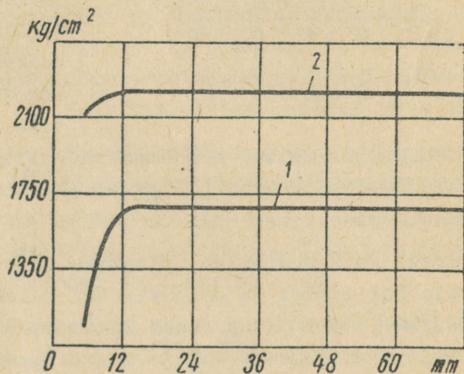
Sideainena kasutatakse klaasplastikutes modifitseeritud fenool-formaldehüüd-, epoksüüd-fenool jt. vaike.

Klaasplastikute tugevust mingis suunas mõjutab klaaskiudude hulk ja suund. I grupi klaasplastikutest on kõige tugevamad need, milleles määrav osa klaasniite kulgeb ühes suunas (näit. CBAM suhtega 10:1). Sellisel juhul on klaasplastiku tõmbetugevus 9500 - 11700 kg/cm². Samal ajal on tugevus risti olevas suunas minimaalne, olles lähedane polümeeri tugevusele. Muutes piki- ja põiksuunaliste kiudude hulga suhet, muudame ka tugevusi vastavates suundades. Nii näiteks on CBAM-i suhtega 2:1 tugevus suurema arvu kiudude suunas 6000 - 6500 kg/cm², aga suhte 1:1 juures 4600 - 5000 kg/cm². Paindel ja surveel on nimetatud erinevused väiksemad, sest vaik töötab paremini survele kui tõmbele.

Joon. 11 ilmnevad CBAM-i (1:1) - 1, II grupi klaasplastiku - 2 ja KACT-B - 3 erinevad tugevused erinevates suundades (II grupi plastikud on siiski suhteliselt homogeensed).



Joon. 11.

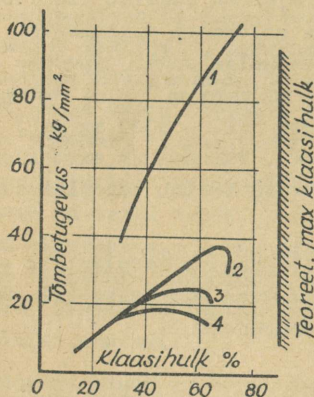


Joon. 12.

Klaaskiu pikkus, nagu selgub joon. 12, ei tohi olla vähem kui 20 - 30 mm (1 - paine, 2 - tõmme).

Mida rohkem on klaaskiude, seda tugevam on plastik. Klaasihulga suurendamiseks, ja seda eriti suhteliselt kohevate mattide

puhul, tuleb plastide valmistamisel liigse vaigu eemaldamiseks kasutada survet. Katsed näitavad, et pidevalt ei saa klaasihulka suurendada, sest samaaegsel surve suurendamisel surutakse osa klaaskiude katki. See aga vähendab plastiku tugevust. Olenevalt täitematerjalist on klaasi optimaalne hulk, mille korral plastikud omandavad maksimaalse tugevuse, neis erinev.



Joon. 13.

Joon. 13 on toodud polüesterplastide tõmbetugevus olenevalt klaasi hulgast ja armatuuri liigist. Joonisel: 1 - paralleelsete rovingutega, 2 - peenekoelise kangaga, 3 - jämedakoelise kangaga, 4 - mattidega armeeritud klaasplastikute tugevused. Teoreetiliselt saavutatakse suurim plastikute tugevus siis, kui üksikud klaasniidid asetseksid vahetult üksteise kõrval ja kokkupuutuvate niitide vahe täidaks vaik ($\sim 85\%$ klaasi). Praktiliselt ei ole aga võimalik sellist klaasihulka saavutada. Mõnel juhul ei ole klaasi

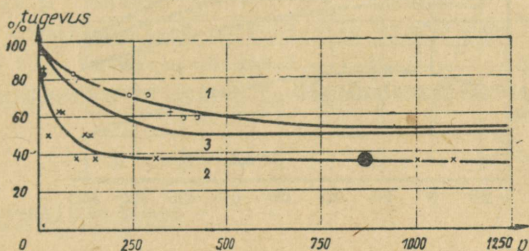
hulga määramisel mõõduandvaks mitte tugevus, vaid näiteks valguse läbilaskvus (II grupi plastikutel on sellisel juhul maksimaalne klaasihulk 20 - 25%).

Survel on klaasihulgal plastiku tugevusele tunduvalt väiksem mõju kui tõmbel ja paindel. Nii näiteks suurendades klaasihulka 30%-lt 50%-le suureneb klaasplastiku tõmbetugevus keskmiselt 40%, paindetugevus 44% ja survetugevus ainult 17%.

Kuivõrd klaaskiud allub Hooke'i seadusele, võib seda eeldada ka klaasplastikust. Katsed näitavad, et domineerivalt ühes suunas asetsevate kiudude puhul see ongi nii. Kiudude teistsuguse asendi korral on δ - ϵ diagrammil teatud kindla pinge juures murdepunkt.

Klaasplastikute paindedeformatsioonidele avaldavad suurt mõju nihkepinged, mis koormavad klaaskiudude vahel olevat vaiku.

Aja mõju klaasplastikute tugevusele ja deformatiivsetele omadustele on veel vähe uuritud. Näide ühest ЦНИИСК-is tehtud katseseeriast on toodud joon. 14, kus 1 - armatuuriga klaasplastik KACT-B, 2 - II grupi klaasplastik; 3 - III grupi klaasplastik.



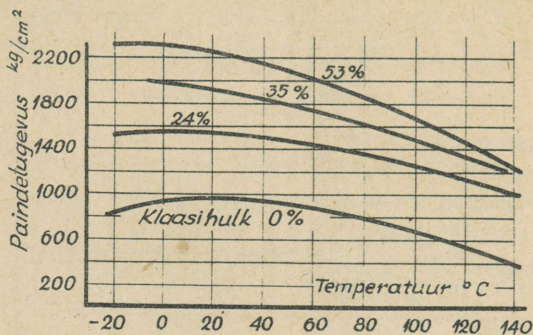
Joon. 14.

Klaasplastikute väsimustugevus on homogeensete materjalide omast tunduvalt väiksem. Klaasplastikus kahe erineva materjali suhteliselt nõrgad piirdepinnad on tugevamini koormatud kui ülejäänud ristlõike osad, millest on tingitud ka materjali varajane purunemine. Mõningate katsetulemuste järgi väheneb klaasplastiku tugevus $5 \cdot 10^6$ tsükliisel koormamisel 70 - 80%.

Kõrge temperatuuri juures on klaasplastiku tugevuse vähenemine tingitud peamiselt vaigu pehmenemisest. Madalatel temperatuuridel aga klaasplastiku tugevus suureneb, kuid ta muutub hapraks. Joon. 15 on näitena esitatud polüesterplastiku paindetugevused, olenevalt temperatuurist ja klaasihulgast.

Vaikude ja klaasplastikute temperatuuri joonpaisumise koefitsiendid erinevad tunduvalt. Nii on näiteks armeerimata polüestri temperatuuri joonpaisumise koefitsient $80 - 150 \cdot 10^{-6}$, klaasarmatuuriga armeeritult on aga sama näitaja $7 - 32 \cdot 10^{-6}$. See- ga tekitavad temperatuuri muutused klaasplastikus sisepingeid.

Vee toimel kaotavad klaasplastikud osa oma tugevusest ja seda eriti paindel. Põhjuseks on asjaolu, et klaasplastikud omavad tühemikke ja kapillaare, kuhu tunginud vesi vähendab vaigu ja klaasi vahelist naket. Katsed näitavad, et pidevalt vees oleva



Joon. 15.

klaasplastiku tugevus väheneb juba esimeste nädalate jooksul 20 - 30%. Sobivate nakkevahendite kasutamisel väheneb klaasplastiku tugevuslang.

Klaasplastikute mahukaal oleneb peamiselt klaasihulgast ja vastavalt viimasele on: 30% - 1,39 g/cm³; 50% - 1,58 g/cm³; 70% - 1,86 g/cm³.

Ehituskonstruksioonides kasutatakse klaasplastikuid järgmisel kujul:

- valgust läbilaskvad (värvilised või värvusetu) lehtklaasplastikud paksusega 1 - 2,5 mm, laiuusega kuni 1500 mm ja pikkusega kuni 6000 mm;
- valgust läbilaskvad (värvilised või värvusetu) lainelised klaasplastikud paksusega 1 - 2,5 mm, laiuusega kuni 1500 mm ja pikkusega kuni 6000 mm;
- leht- ja lainelised klaasplastikud paksusega 1 - 5 mm, laiuusega kuni 1500 mm ja pikkusega kuni 6000 mm;
- klaasplastikust ~~karprunad~~ paksusega 2 - 10 mm, kõrgusega kuni 150 mm ja pikkusega kuni 9000 mm;
- klaasplastikust nurgad paksusega 2 - 10 mm, kõrgusega kuni 150 mm ja pikkusega kuni 9000 mm;

- f) klaasplastikust torud paksusega 2 - 20 mm, läbimõõduga kuni 150 mm ja pikkusega kuni 6000 mm;
- g) spetsiaalsed profiilid akna- ja ukseplokkidele paksusega 1 - 10 mm, kõrgusega kuni 150 mm ja pikkusega kuni 3000 mm;
- h) klaasplastikust ümmargused pingevardad, perioodilise profiiliga: läbimõõduga 6 mm kerades ja läbimõõduga 6 - 22 mm kuni 24 m pikkuste varrastena.
- i) sama, lindikujulised perioodilise profiiliga, ristlõike laius 10 - 12 mm ja paksus 2 - 4 mm.
- Projekteerimiseks vajalikud suurused on toodud lisas 5.1.

1.4. Orgaaniline klaas

Orgaaniline klaas (polümetüülmetakrülaad, pleksiklaas, lennuki-klaas) saadakse metüülmetakrülaadi plokk-polümeerisatsiooni teel. Termoplastilise orgaanilise klaasi mehaanilised omadused olenevad temperatuurist ja koormuse kestusest. Toatemperatuuril on orgaanilise klaasi füüsikalised-mehaanilised omadused head, kuid temperatuuri tõustes vähenevad tugevasti.

Orgaanilise klaasi eeliseks on suur löögitugevus ja hea valguskiirte läbivus (spektri nähtavas osas 91% ja ultraviolettkiirte osas 73,5%, samal ajal kui tavalisel silikaatklaasil viimane suurus on 0,6%). Materjali puuduseks on väike soojakindlus ja samuti väike pinnatugevus.

Orgaanilist klaasi vormitakse temperatuuril 105 - 170°C ja keevitatakse temperatuuril 140 - 185°C 20 - 30-minutilise hoidmisega 5 - 10 kg/cm² surve all. Ta on töödeldav kõikide mehaanilise töötlemise viisidega.

Lennuki orgaanilist klaasi (TY MXII 1783-53 ja TY MXII BJ-II-57) turustatakse kolmes sordis: spetsiaalne, A ja B paksusega 0,8-24 mm ja plaadi mõõtmega 500 x 400 kuni 1600 x 1400 mm. Peale nimetatute kasutatakse veel sorte ПА, ПБ ja ПВ paksusega 0,8 - 40 mm ja plaadi mõõtmega 100 x 100 kuni 1350 x 1250mm.

Mitmesugused orgaanilise klaasi sordid erinevad vähe üksteisest tugevuse poolest. Projekteerimiseks vajalikud andmed on toodud lisas 5.2.

1.5. Vinüplastid (jäigad)

Vinüplastid valmistatakse plastifitseerimata polüvinüülkloriidist. Nad on jäigad leht-termoplastid. GOST'i projekti järgi (TV 3823-53 asemel) lubatakse kasutada: a) läbipaistmatu naturaalse värvusega või värvitud vinüplasti BH ja b) läbipaistvat värvusetat või värvitud vinüplasti BH. Lehtede paksus 2 - 20 mm, laius 500 - 600 mm ja pikkus 1300 - 1500 mm.

Vinüplaste töödeldakse raua- ja puutööriistadega (temperatuur olgu alla 60°C). Lehtvinüplaste vormitakse temperatuuril mitte üle 150°C, kusjuures materjali ülessoojendamine, olenevalt lehe paksusest, kestab 5 kuni 20 - 40 min. Vinüplast on hästi keevitav.

Projekteerimiseks vajalikud suurused on toodud lisas 5.3.

1.6. Kihilised puitplastid (ДСП)

Kihilised puitplastid valmistatakse kask- või pöökšpoonide kuumal kokkuliimimisel ($t = 145 - 155^{\circ}\text{C}$ ja $p = 150-200 \text{ kg/cm}^2$). Plaste toodetakse paljude eri markidena, millest ehituskonstruktsioonides kasutatakse marke ДСП-Б ja ДСП-В (GOST 8697-58).

Plastis ДСП-Б iga 5 ... 20 paralleelse kiudude asetusega kiht vaheldub kihiga, milles kiud asetsevad risti külgnevate kihtide suhtes. Plastis ДСП-В on kiud kõigis külgnevates kihtides üksteise suhtes risti. ДСП-Б turustatakse plaatidena paksusega 15 - 60 mm, laiusega 800 - 1200 mm ja pikkusega 700 - 5600 mm. ДСП-В plaatide mõõtmed on samad ja paksus 3 - 60 mm. Plaatide töödeldakse puidutöötlemise riistadega.

Projekteerimiseks vajalikud andmed on esitatud lisas 5.4.

1.7. Puitkiudplaadid

Puitkiudplaadid valmistatakse puidu või teiste tselluloosete materjalide kiudude kokkuliimimise teel. Plaatidel on väikese mahukaalu juures suur tugevus, nad on kergesti töödeldavad ja naelutatavad. Varem kasutati puitkiudplaate peamiselt viimistlusmaterjalina, tänapäeval aga ka hoonete piirdekonstruktsioonides.

Puitkiudplaatide puuduseks on suur veeimavus ja sellega kaasnev mahu suurenemine ning tugevuse langus.

Vastavalt plaatide valmistamise tehnoloogiale saadakse kas kerge isolatsioon või suure mahukaaluga konstruktsioonimaterjal. Ehituskonstruktsioonides kasutatakse ülikõvasid ja kõvasid plaate.

GOST 4598-60 kohaselt valmistatakse ülikõvad plaadid veekindlate vaikudega või väljakuivavate õlidega immutatud puidukiududest, mida töödeldakse termiliselt. Selliste plaatide mahukaal olgu vähemalt 950 kg/m^3 . Plaatide paksus 3 - 4 mm, laius 1000 - 1800 mm ja pikkus 1200 - 3600 mm. Kõvad plaadid valmistatakse puidukiududest ja spetsiaalsest lisandist. Mahukaal ületagu 850 kg/m^3 . Plaatide paksus 3, 4, 5 ja 6 mm, laius 1000-1800 mm ja pikkus 1200 - 3600 mm. Plaadid antiseptitagu.

Puitkiudplaatide füüsikalisi-mehaanilisi omadusi parandatakse termilise töötlemisega ("kalestus"). Nii näiteks 8-tunnisel termilisel töötlemisel temperatuuril $160 - 180^\circ\text{C}$ väheneb plaadi veeimavus keskmiselt 3,4 ja mahupaisumine 5 korda, kuid paindetugevus suureneb ligikaudu 50%. Materjali omadused paranevad ka vaiguhulga suurendamisel. Näiteks suurendades fenoolformaldehüüdi hulka 5 kuni 15%-ni, väheneb 60 päeva toatemperatuuri soojuses vees hoitud plaadi veeimavus 59 kuni 44%-ni ja mahupaisumine 33 kuni 21%-ni. Samal ajal kasvab paindetugevus 13% ja painde-elastsusmoodul 19%.

Puitkiudplaatide veeimavus on kõikuv, olles 40 kuni 80%. Märgunud plaadi paisumise deformatsioonid plaadi pinna suundades on tühised (0,3 - 0,6%), samad deformatsioonid plaadi paksuse suunas on aga suured (21 - 55%).

Plaadi füüsikalisi-mehaanilisi omadusi parandab tema katmine õhukese klaasplastikuga (väheneb veeimavus ja suureneb tugevus). Projekteerimiseks vajalikud suurused on toodud lisas 5.5.

1.8. Puitlaastplaadid

Puitlaastplaadid valmistatakse laastudest, mis koos sünteetilise vaiguga (fenool-formaldehüüd jt.) kuumalt kokku pressitakse. Vastavalt valmistamise tehnoloogiale saadakse kas kerged isolatsiooni- või viimistlusplaadid või suure mahukaaluga ($650 - 850 \text{ kg/m}^3$) konstruktsioonimaterjal.

Ehituskonstruktsioonides kasutatakse (GOST 9381-60): 1) spetsiaalselt purustatud laastudest voodrita plaate ja 2) tavalistest laastudest kahepoolse voodriga plaate. Plaatide mõõtmed: paksus 6 - 32 mm, laius 1250 - 1750 mm ja pikkus 2500 - 3500 mm. Plaadid antiseptitakse.

Puitlaastplaadid, sarnanedes omadustelt puitkiudplaatidega, on viimastega võrreldes vähem kvaliteetsed. Puitlaastplaatide omadusi püütakse parandada nende armeerimise teel klaaskiududega. Armeerides plaate rovingutest ($\varnothing 2 - 3 \text{ mm}$) moodustatud võrkudega $100 \times 100 \text{ mm}$ (plaadid paksusega kuni 20 mm ühe võrguga ja plaadid paksusega kuni 50 mm kahe võrguga), suureneb plaadi ($\rho = 650 \text{ kg/m}^3$) paindetugevus keskmiselt 3,16, tõmbetugevus 4,95 ja survetugevus 1,54 korda. Samad suurused mahukaalu 800 kg/m^3 juures on vastavalt 2,27, 2,48, 1,08. Toodust selgub, et kirjeldatud armeerimine on seda efektiivsem, mida väiksem on plaadi mahukaal. Staapelkiu kasutamisel (20 - 25 kaaluühikut 100 puitlaastu kaaluühiku kohta) suurenevad nimetatud tugevused mahukaalu 650 kg/m^3 juures vastavalt 2,45, 3,21, 1,0 korda ja mahukaalu 800 kg/m^3 puhul paindel 2,0 ja tõmbel 2,15 korda.

Ka puitlaastplaatide kahepoolne klaasplastikutega vooderdamine suurendab tugevust (paindel 1,8, tõmbel 1,16 ja survele 1,03

korda) ja vähendab veeimavust (24 tundi vees hoitud katsekeha veeimavus väheneb ligikaudu 3 korda).

Projekteerimiseks vajalikud andmed on toodud lisas 5.6.

1.9. Vahtplastid

Gaasitäitega plastmassid on füüsikalisel mittehomogeensed materjalid. Nad kujutavad endast kahefaasilist süsteemi, koosnedes kõvast faasist (plastmass) ja gaasist.

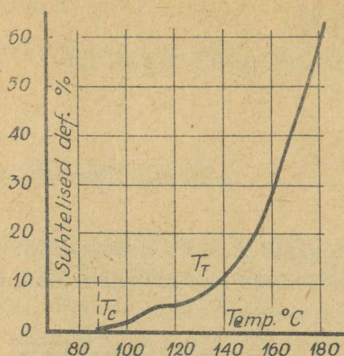
Materjali struktuuri moodustavad plastmasskilega eraldatud väikesed poorid. Struktuuri seisukohalt eraldame kahe suguseid poore: üksteisest eraldatud, s.o. kinnisi ja omavahel ühendatud poore. Reaalsetes materjalides esinevad nimetatud kaks pooritüüpi kõrvuti ja sellist materjali nimetame lihtsalt vahtplastiks.

Vastavalt vahtplasti kasutamise otstarbele, asendatakse üht või teist pooritüüpi enam. Nii näiteks, kui materjalilt nõutakse väikest veeimavust või suurt soojaisolatsiooni, on eelistatavamad kinnised poorid. Suurema elastsuse saavutamiseks sobivad aga ühendatud poorid jne. Seega kahefaasilise vahtplasti omadused olenevad plastmassi ja vahustava gaasi omadustest ja struktuurist.

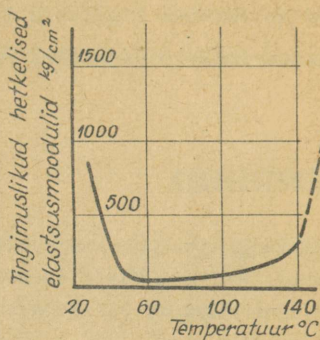
Teoreetiliselt võib vahtplastide valmistamiseks kasutada ükskõik missuguseid polümeere. Praktikas kasutatakse tehnilistel ja majanduslikel kaalutlustel siiski peamiselt polüstürooli, polüvinüülkloriidi, uretaani ja fenooli.

Vastavalt koostisele ja valmistamise tehnoloogiale on vahtplastid kas jäigad, pooljäigad või elastsed. Ehituskonstruktsioonides kasutatakse jäiku vahtplaste. Vahtplaste valmistatakse nii termoplastilistest kui ka termoreaktiivsetest polümeeridest.

Varem kirjeldasime joonstruktuuriga polümeeride käitumist mitmesugustel temperatuuridel. Deformatsioonide suhtes eraldasime kolm piirkonda - elastne, kõrgelastne ja plastiline. Joon. 16



Joon. 16.



Joon. 17.

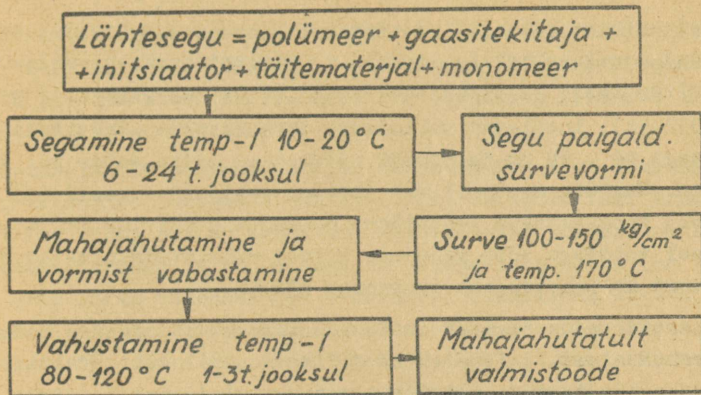
on näitena esitatud polüstürooli termomehaaniline kõver.

Termoplastilised polümeerid vahustatakse kõrgelastses piirkonnas temperatuuri juures, mis ületab temperatuuri T_c 10 - 20°C. Selle temperatuuri juures makromolekulid mõningal määral orienteeruvad ja vahtplast saavutab suurima tugevuse. Termoplastiliste vahtplastide soojakindlus on madal. Temperatuuril 70 - 80°C esineb juba selline gaasi difusioon, mis põhjustab märgatavaid relaksatsiooniprotsesse (mahu kahanemise deformatsioonid).

Ruumilise struktuuriga termoreaktiivsetel polümeeridel puudub kõrgelastne deformatsioonide piirkond, mis pärast neid vahustatakse polümeeri kujundamise keemilise protsessi vältel. Ruumilise struktuuri kujunemise algstaadiumis on termoreaktiivsetel polümeeridel siiski mõnevõrra suurem elastsus, mida kasutatakse tema vahustamiseks. Joon. 17 on esitatud termoreaktiivse polümeeri hetkelised elastsusmoodulid tema kuumutamise protsessil. Termoreaktiivsed materjalid on tugevamad ja suurema kuumuskindlusega.

Vahtplastide mitmesuguseid omadusi modifitseeritakse, segades lähtesest enne vahustamist madalmolekulaarseid termoreaktiivseid aineid termoplastiliste polümeeridega.

Vahtplaste vahustatakse kas surve all või surveta. Survemetodit (joon. 18) kasutatakse joonstruktuuriga polümeeridest vahtplastide tootmiseks. Lähtesegu valmistatakse pulbritaoli-



Joon. 18.

sest polümeerist (sageli monomeeri ja plastifikaatori lisandiga), gaasitekitajast, initsiaatorist ja täiteainest, mida homogeense segu saamiseks segatakse 6 kuni 24 tundi. Saadud segu kuumutatakse survevormis sellise temperatuurini, et polümeer vedelduks enne gaasi tekkimist. Seejärel tekib gaas jaotub ühtlaselt vedelas polümeeris. Edasi "poolfabrikaat" jahutatakse, vabastatakse vormist ja vahustamiseks kuumutatakse uuesti temperatuurini, mis vastab kõrgelastsete deformatsioonide olukorrale (100 - 120°C). Gaasi surve kujundab ja arendab poore seni, kuni saavutatakse tasakaal välise rõhu ja pooriseinu moodustava plastmassi elastsete jõudude vahel. Pooriseinte struktuur fikseeritakse mahajahutamise allapoole klaasistumistemperatuuri T_c .

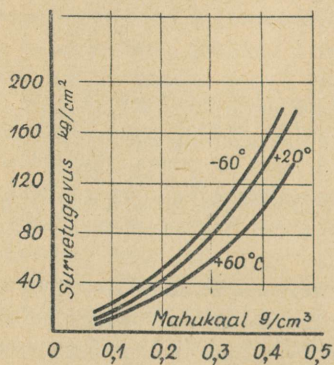
Kirjeldatud viisil saadav materjal on survevormi mõõtmetest tunduvalt suurem. Materjal on eelpingestatud.

Surveta meetod võimaldab termoreaktiivseid polümeere vahustada loodavas konstruktsioonis vahetult, millega luuakse vähe

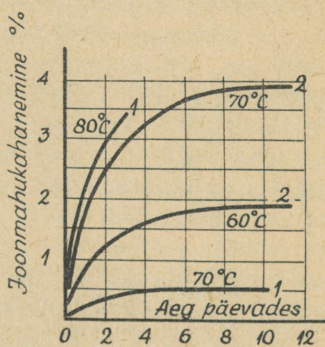
mehaanilist ümbertöötamist nõudvaid keerulise kujuga konstruktsioone. Lähtematerjal vahtplasti valmistamiseks sisaldab polümeeri, gaasitekitajat jne., mis vahustatakse vormis (konstruktsioonis) normaalsel või sellest kõrgemal temperatuuril.

Ehituskonstruktsioonides kasutatakse survemeetodil valmistatud vahtpolüstürooli, margid ПС-1 (ТV МХП 3202-54), ПС-4 (ТV МХП 509-54), ja vahtpolüvinüülkloriidi, mark ПХВ-1 (ТV МХП 4332-54). Loetletud vahtplaste turustatakse plaatidena paksusega 40 - 60 mm ja plaadi mõõdmetega mitte vähem kui 500 x 500 mm. Surveta meetodil valmistatud vahtpolüstürooli (ТV 50 - 62) turustatakse plaatidena 600x900x50 või 100 mm. Kokkuleppel tootjaga võib vajaduse korral valmistada nimetatud markidest ka teistsuguse suurusega plaate.

Vahtplastide mitmesugused omadused olenevad esmajoones materjali mahukaalust, polümeeri keemilisest päritolust, valmistamise tehnoloogiast ja pooride struktuurist.



Joon. 19.



Joon. 20.

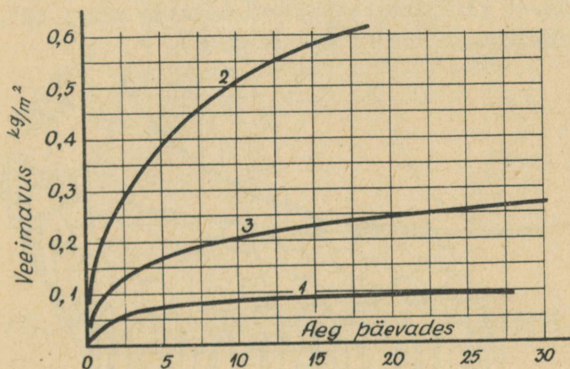
Survemeetodil valmistatud vahtplastidel on ühtlaselt jaotatud väikesed, enamasti kinnised poorid. Nad on tugevamad, niiskuskindlamad ja suurema soojaisolatsiooni võimega kui surveta meetodil valmistatud vahtplastid. Lubatav eksploatatsioonitemperatuur on 60 - 70°C. Kõrgemate temperatuuride juures kasutatakse termoreaktiivseid vahtplaste. Joon. 19 on näidatud vahtpolüstürooli survetugevused olenevalt tema mahukaalust ja

mõjuvast temperatuurist. Vahtpolüvinüülkloriidil on kõrgematel temperatuuridel tugevuse muutused eeltoodust suuremad. Nii näiteks väheneb vahtplasti ПХВ-1 tugevus 60°C juures ligikaudu kaks korda, võrreldes tema tugevusega 20°C juures.

Kestval koormamisel kustuvad vahtplastide deformatsioonid väga aeglaselt. Et hoida konstruktsiooni deformatsioone talutavates piirides, peavad maksimaalsed tööpinged olema küllaltki väikesed (0,2 - 0,25 tugevusest).

Vahtplastide kuumakindlust hinnatakse kaudsel teel lineaarsete mahukahanemise deformatsioonide järgi. Selle meetodi kohaselt hoitakse vahtplastist katsekeha katsetataval temperatuuril, jahutatakse maha ja mõõdetakse katsekeha lühenemine (on tingitud gaasisurve vähenemisest poorides). Tinglikuks kuumakindluseks loetakse temeperatuuri, mille puhul joonmahukahanemine ei ületa 1%. Joon. 20 on esitatud ПС-1 (1) ja ПХВ-1 (2) mahukahanemise deformatsioonid olenevalt temperatuurist.

Vahtplastide veeimavust hinnatakse vette asetatud katsekeha kaalu juurdekasvu järgi protsentides esialgsest kuivkaalust või kaalu juurdekasv väljendatakse katsekeha pinna suhtes (kg/m^2). Vahtplastide veeimavus oleneb katsekeha vees oleku ajast. Joon. 21 on näidatud vahtplastide ПС-1 (1), ПС-4 (2) ja ПХВ-1 (3) veeimavus olenevalt ajast.



Joon. 21.

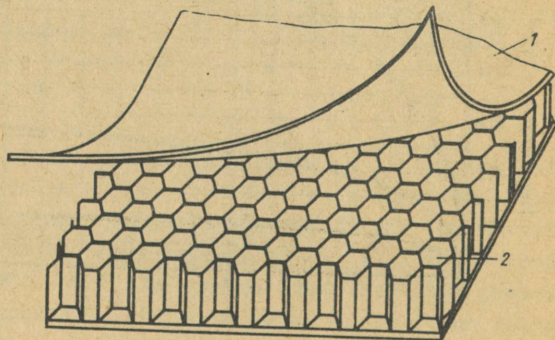
Konstruksioonides, kus vahtplast töötab koos metalliga, tuleb arvestada metalli võimalikku korrosiooniohtu. Nimelt mõningad vahtplastide gaastäited, difuteerudes (eriti kõrgematel temperatuuridel) pooridest, põhjustavad metallide korrosiooni. Vahtplast ПС-1 on neutraalse reaktsiooniga ega põhjusta ei värviliste ega mustade metallide korrosiooni. Vahtplast ПС-4 on agressiivne tsingi suhtes. Vahtplast ПХВ-1 põhjustab alumiiniumi ja terase korrosiooni, kuid plakeeritud duralumiiniumile on ta kahjutu. Korrosiooniohu puhul kaetakse vahtplasti pind lakiga ja metalli pind värviga.

Vahtplastid on suhteliselt tugevad, kuid väikese jäikusega. Vahtplasti jäikust suurendatakse tema armeerimise teel. Näiteks tugevdatakse vahtplaste vertikaalsete plaati läbivate alumiiniumist, klaasplastikust või vineerist leheribadega. Selline armatuur suurendab vahtplasti nihke- ja survejäikust plaadisse liimitavate ribade pinna suundades.

Projekteerimiseks vajalikud suurused on toodud lisan 5.7.

1.10. Kärplastid

Kärplastid (joon. 22) kujutavad endast sünteetilise vaiguga immutatud riidest või jõupaberist valmistatud kärgi (2), mis kahelt poolt on kaetud voodrilehtedega (1).



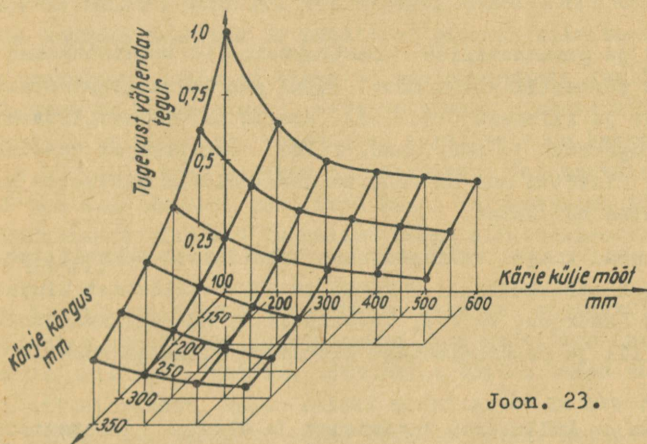
Joon. 22.

Kärgplastide omadused on lähedased vahtplastidele, erinedes neist suurema tugevuse ja kuumusekindluse poolest. Kärgplastis on materjal jaotatud kõige ökonoomsemalt ja minimaalse kaalu juures saavutatud maksimaalne tugevus.

Ehituskonstruksioonide jaoks valmistatakse kärgplaste puuvillriidest ja jõupaberist, mida immutatakse fenool-formaldehüüd- või melamiinvaikudega ja tulekaitsevahenditega. Kärgplastid valmistatakse plaatidena ja plokkidena paksusega kuni 350 mm. Kärje tüüpiliseks mõõtmeks (kuustahuka paralleelsete külgede kaugus) on 12 mm (tähistame A-12).

Kärgplastide valmistamiseks kasutatakse ka puitkiudplaate, mis puhul kärje ristlõige on täisnurk. Joon. 23 on esitatud puitkiudplaatidest kärgplasti tugevused olenevalt kärje ristlõike ja kõrguse mõõtetest.

Projekteerimiseks vajalikud suurused on lisas 5.8.



Joon. 23.

1.11. Muud plastmasskonstruktsioonides kasutatavad materjalid

1. Vineer. Lähemalt vaata: L. Allikas, V. Kulbach, "Puitkonstruktsioonid".

2. Asbesttsement. Ehituskonstruksioonides kasutatakse pressimata tihedast (mahukaal 1700 kg/m^3 ja enam) väikese veeimavusega (mitte rohkem kui 20,5%) ja löögitugevast asbesttsementist lehti paksusega 6 - 10 mm, laiuselga 1500 mm ja pikkusega 5000 mm.

Projekteerimiseks vajalikud suurused on toodud lisa 5.9.

3. Alumiiniumisulamid. Kasutatakse marke AM_u , AM_r , $A\bar{D}31-T$ ja $AB-T$. Turustatakse lehtedena paksusega 0,3 - 10 mm, laiuselga 2000 mm ja pikkusega 7000 mm, aga ka lintidena, torudena ja mitmesuguste profiilidena. Liimitud konstruksioonides kasutatav alumiinium peab olema oksüdeeritud. Projekteerimiseks vajalikud suurused on toodud lisa 5.10.

1.12. Õhutihedad kangad ja kiled

Telgid ja pneumaatilised konstruksioonid valmistatakse tavaliselt sünteetilistest, mõnel juhul aga ka naturaalistest kangastest ja kiledest (fooliod). Kangad on sünteetilistest kiledest tugevamad ja püsivamad. Kiled seevastu on tunduvalt odavamad, mistõttu nad on sobivad kasutamiseks ajutistes ja sesoonsetes ehitustes.

Õhutihedad kangad valmistatakse tehnilisest tekstiilist sünteetilise kautšukkattega. Parimad on sünteetilistest kiududest kangad (kaproon, nailon, lavsaan jt.). Harvem kasutatakse klaastekstiili ja naturaalistest kiududest (lina ja puuvill) kangaid.

Kaproon on küllaldase tugevusega ja elastne (deformatsioonid 6 - 8% ulatuses taastuvad jõu eemaldamisel). Puuduseks on suhteliselt väike atmosfääriline püsivus (eriti Päikese kiirguse suhtes) ja väike elastsusmoodul. Lavsaan on kaproonist suurema mahukaaluga, elastsusmooduliga, kuumuse- ja ilmastikukindlusega. Deformatsioonid 5 - 6% ulatuses on elastsed. Klaastekstiil on sünteetilistest kangastest tugevam ja suurema kuumakindlusega. Tema deformatsioonid on väga väikesed ja ta on keemi-

liste mõjutuste suhtes inertne. Puuduseks on tundlikkus vee suhtes ja haprus. Naturaalsed kangad on sünteetilistest nõrgemad ja ka kallimad.

Kõik kangad on külmakindlad, säilitades painduvuse isegi temperatuuril -60°C . Kaproon ja tselluloossed materjalid (lina ja puuvill) taluvad tugevuse mõninga vähenemisega kuumutamist $100 - 120^{\circ}\text{C}$. Lavsaani kuumakindlus on kuni 200°C ja klaaskiududel 315°C . Eriti tuleohtlikud on sünteetilistest kiududest materjalid.

Sünteetilised kangad on bioloogiliselt püsivad. Neid ei kahjusta bakterid, mikroorganismid ega seened. Naturaalsetest kiududest kangad on aga vähe vastupidavad. Lühiajalisel mürgumisel lavsaani ja klaastekstiili tugevus praktiliselt ei vähene, kaprooni tõmbetugevus väheneb kuni 10%, kuid naturaalse tekstiili tugevus suureneb 10 - 20%. Päikese kiirituse mõjul kõigi kiudainete tugevus väheneb suuremal või vähemal määral. Nii kaotab kaitsmata kaproon tugevuse 30 nädalasel pideval kiiritamisel.

Kanga mitmesugused omadused olenevad lähtematerjali kvaliteedist (tugevus ja homogeensus), niitide arvust pikkuse ühikul, s.o. tekstiili tihedusest, koest jne. Tavaliselt on kangas lõime, s.o. pikisuunas tugevam ja väiksemate deformatsioonidega kui koelõnga suunas. Põhilised kanga deformatsioonid põhjustab kudumisest tingitud lainelise lõnga sirgenemine väliskoormuse mõjul.

Kangaste õhutihedus saavutatakse nende katmisel sünteetilise või naturaalse kautšukiga ja mõningate plastmassidega (eriti polüvinüülkloriidiga). Selline töötlemine tõstab kanga vastupidavust mitmekordselt. Tuleb siiski märkida, et ka kautšuk vananeb, kaotab elastsuse ja temas tekivad praod, millest tingitult suureneb gaasi läbitungivus. Selliselt töödeldud kangaid värvitakse või isegi kaetakse näiteks alumiiniumfoolloga.

Konstruksioonides kasutatakse tekstiili ühe- või kahekihiliseks. Ühekihiline tekstiil kummeeritakse kas ühelt või mõlemalt poolt, kahekihiline aga mõlemalt poolt ja ka kihtide vahelt.

Kahekihilises tekstiilis on kihid kas paralleelselt (dubleeri-

tud) või 45° all kokku liimitud (diagonaalselt dubleeritud). Mitmekihilise dubleeritud kanga tugevus võrdub praktiliselt üksikute kihtide tugevuste summaga. Pealne, diagonaalne kiht suurendab kanga tõmbetugevust ainult 8 - 10%.

Sünteesilised kiled on tugevuse ja atmosfääriliste mõjutuste suhtes kangastest nõrgemad. Kasutatakse madal- ja kõrgrsurve polüetüleen-, kõvasid ja pehmeid polüvinüülkloriid-, polüester- jt. kilesid. Kiled on läbipaistvad ja värvusetu. Kile ilmastikukindlust suurendatakse temale liimitud alumiiniumist fooliotega ja soojapidavust tõstetakse täiendava vahtfoolioga.

Konstruksiooni seisukohalt on huvitavamad klaas- või sünteesiliste kiududega armeeritud kiled.

Projekteerimiseks vajalikud suurused on toodud lisa 5.11.

2. ÜHENDUSED

Plastmasskonstruktsioonide üksikud osad ühendatakse omavahel põhiliselt liimimise teel. Montaaži- ja konstruktiivsete sidemetena kasutatakse polte, kruvisid, neete, klambreid jms. Konstruktsioonide alumiiniumdetailide omavaheliseks ühendamiseks kasutatakse edukalt liim-keevise- ja liim-neetühendusi. Mõningad plastmassdetailid, nende hulgas ka kiled, ühendatakse keevitamise teel. Kangasmaterjalide puhul kasutatakse paralleelselt liimimisega ka õblemist.

2.1. Liimühendused

Liimühenduste eeliseks on võimalus omavahel ühendada erinevaid materjale, vähendada konstruktsiooni kaalu, lihtsustada valmistamise tehnoloogiat jne. Liimühenduste puuduseks on ma-

dal kuumakindlus, väike tugevus mitteühtlaselt jaotatud tõm-
bel risti liimivuugiga (lahtirebimisele) ja raskused liimihen-
duse kvaliteedi kontrollimisel.

Ei ole universaalset, kõikidele materjalidele sobivat liimi
ega ka universaalset tehnoloogiat. Väikesemahulisteks liimi-
mistöödeks on sobivad külmalt kõvastuvad, suuremahulisteks
töödeks (tööstuslikuks tootmiseks) aga kuumalt kõvastuvad lii-
mid. Külmalt kõvastuvad liimid on lihtsate vahenditega kasuta-
tavad enamik plastmasskonstruktsioonides esinevate materja-
lide liimimiseks. Puuduseks on väike tootlikkus, sest liim-
ühendust tuleb küllaltki kaua hoida surve all. Kuumalt kõvas-
tuvate liimide puhul on surve all hoidmise aeg rohkem kui küm-
me korda lühem. Kahjuks ei saa kuumliimimist kõrge temperatuu-
ri tõttu kasutada termoplastiliste vahtplastide liimimiseks.
Kuumliimimise tehnoloogia nõuab ka tunduvalt keerulisemaid ja
kallimaid seadmeid. Tööstusliku masstoodangu puhul on kuumlii-
mimine siiski eelistatavam.

Klaasplastiku, alumiiniumi või asbesttsemendi kuumliimimiseks
kärplastiga on kohased laialt levinud fenoolliimid (vaik
B näiteks puujahu täitega). Liimi eelisteks on väike kõvas-
tumsaeg (5 - 10 min.) ja teistest mõnevõrra väiksem süttimis-
oht. Alumiiniumi liimimisel kärplastiga on ühendus siiski
habras, mille vähendamiseks vaigule B lisatakse 10% epoksüüd-
vaiku (liim ФЭ-10). Külmalt või kuumalt kõvastuvate fenool-
formaldehüüdliimide (vaik B koos kõvastajaga) kasutamisel as-
besttsemendi või alumiiniumi liimimiseks tuleb viimaste pinnad
enne katta kaitsekihiga, sest kõvastaja reageerib nende ainete-
ga. Alumiiniumi pind näiteks kaetakse liimiga БФ-2.

Üheks universaalsemaks liimiks, millega liimitakse eespool
loetletud materjale ja isegi betoone, on kuumalt ja külmalt
kõvastuvad epoksüüdvaigud. Need on fenoolliimidest 1,5 - 2
korda tugevamad, kusjuures kõvastumisel peaaegu puuduvad mahu-
kahanemise deformatsioonid. Kahjuks on epoksüüdvaigud tänapäe-
val veel defitsiitsed, kallid ja suure viskoossuse tõttu teh-
noloogiliselt raskesti kasutatavad. Eriti soovitatakse epok-
süüdvaike kasutada pingestatud alumiinium- ja asbesttsement-
konstruktsioonides.

Asbestsemendi ja vahtplasti liimimiseks on väga sobivad külmalt või kuumalt kõvastuvad difenoolketoonliimid (lähemalt aata: L. Allikas, V. Kulbach, "Puitkonstruktsioonid").

Alumiiniumi ja vahtplasti liimimiseks on perspektiivsed kautšukliimid. Need on epoksüüdvaikudest kättesaadavamad. Eriti perspektiivne on kuiva menetluse kasutamine. Selle meetodi kohaselt kaetakse mõlemad ühendatavad pinnad liimiga ja kuivatatakse kuni lahustaja eemaldumiseni, seejärel surutakse pinnad kokku ja kuumutatakse lühikest aega temperatuuril kuni 100°C . Sel viisil valmistatud liimühenduse tugevus on vahetult pärast jahutamist 80 - 90% lõplikust tugevusest. Lühike kuumutamisaeg liimimisel annab suure tootlikkuse ja võimaldab liimida väikese kuumakindlusega vahtplaste.

Enne liimimist ühendatavad pinnad puhastatakse. Materjalide pindadelt eemaldatakse kaitsekiht (alumiiniumilt paber ja klaasplastikult tsellofaan), pinnad puhastatakse rasvadest, alumiiniumi pinnad oksüdeeritakse jne. Asbestsemendi pindu töödeldakse veel 5 - 7%-lise soolhappega, mis suurendab liimühenduse tugevust. Klaasplastiku pinnad on soovitatav töödelda karedaks.

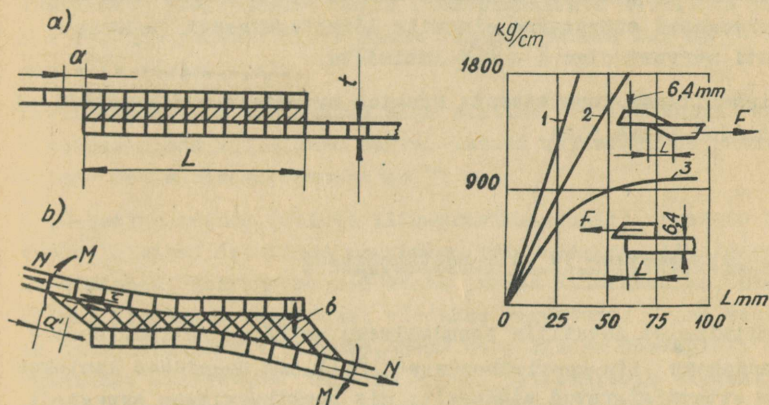
Liim kantakse pindadele valtside, pulverisaatorite jt. seadmete abil. Vajalik surve liimimisel ($0,5 - 1,0 \text{ kg/cm}^2$) saavutatakse pneumaatiliste (ka vaakumeerivate) või hüdrauliliste seadmete abil. Liimvuugi kuumutamisel on kontaktimeetod, võrreldes konvektsioonimeetodiga, eelistatavam (vähendab surve all hoidmise aega 2 - 3 korda), vaatamata sellele, et viimase puhul on tehnoloogia lihtsam.

Plastmasskonstruktsioonides on liimühenduse tugevust mõjutavad tegurid põhimõtteliselt samad mis puidu puhul.

Liimühenduses esineb pingete kontsentratsioon materjalide erinevatest elastsustest, materjalide anisotroopsusest, sümmeetria puudumisest ühenduses, liimi mahukahanemise deformatsioonidest, ühendatavate materjalide ja liimi erinevatest, mitte-lineaarsetest pingete-pikenemiste diagrammidest jne. Toodust selgub, et matemaatiliselt ei ole võimalik kõiki neid nähtusi haarata. Kirjanduses leiduvate valemite tuletamisel tava-

liselt eeldatakse materjalide elastsust ja homogeensust ning vajaduse korral tuakse valemitesse katsetest saadud parandustegurid. Märgime siinkohal, et katseid tuleb teha ka suurte, konstruktsiooni tegelikkudele mõõtmetele vastavate liimpindadega ja seda eriti liimi mahukahanemise deformatsioonide mõju hindamiseks.

Siinkohal lähemalt peatumata liimvuugis pingeolukorda kirjeldavate valemite juures, vaatleme ainult kvalitatiivselt joon. 24a toodud ühenduse tööd. Deformeerunud ühenduse skeemilt (joon. 24b) selgub, et liimvuuk on koormatud nii nihke- kui ka normaalpingetega (see selgub esialgselt ortogonaalse võrgu deformatsioonidest). Joon. 24c on toodud sama tüüpi ühenduse



Joon. 24.

katsetamisel saadud kandevõimed mitmesuguste ülekattepikkuste puhul (3). Sama joonisel on näidatud ka arvutatud kandevõime (1) eeldusel, et pingejaotus liimvuugis on ühtlane. Ühenduse kandevõime suureneb tema paindejäikuse vähendamisel (väheneb pingete kontsentratsioon), nagu see on näidatud katsetulemusi kirjeldava kõvera 2 kõrval oleval skeemil.

Liimühenduste projekteerimiseks vajalikud suurused on lisa 5.12.

2.2. Mehaanilised ühendused

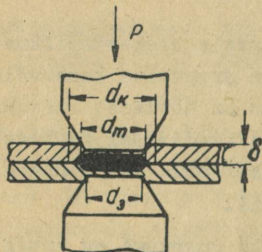
Mehaanilisi ühendusi (poldid, needid ja kruvid) kasutatakse harva ja peamiselt montaažiühendustes. Tuleb silmas pidada, et jäikadel plastmassidel (näit. klaasplastikud) tekitab koormus sidemete avade ümbruses lokaalse ülekoormuse. Toodu põhjustab avadest arenevaid pragusid, needi- või poldipea sissesõmist ja läbitõmbamist plastikust.

Neete kasutatakse plastiku ühendamiseks metallist elemendiga, kusjuures töödeldav needipea asetatakse metalli poolele. Soovitatav on neete selliselt kasutada, et nad ei töötaks tõmbele. Poltide ja neetide läbimõõt olgu võrdne või suurem plastiku paksusest ja auk 0,4 mm suurem sideme läbimõõdust. Sidemete vahekaugused määratakse plastiku lõiketugevusest ja kaugus plasti servast olgu 4 - 4,5 läbimõõtu.

Masinaehituses kasutatavate kruvide orienteeruvad kandevõimed on toodud lisas 5.13.

2.3. Liim-keemis- ja liim-neetühendused

Alumiiniumist detailide ühendamiseks on kõige optimaalsemaks lahenduseks liim-keemisühendused. Sellises ühenduses kantakse liim ettevalmistatud pindadele, mis punktkeevituse agregaadid elektroodidega surutakse kokku (joon. 25). Liim surutakse kontakti kohalt liimitavate pindade vahelt välja. Voolu läbilask-



↑ P Joon. 25.

misel elektroodidest sulab liidetavates elementides läätsekujuline materjal, mis jahtudes ja kristalliseerudes kujundab tugeva ühenduse. Keevitamisel kasutatav surve peab olema küllaldane keevituspunktide vahel olevas liimvuugis.

Liim-keevisühenduste moodustamiseks kasutatakse tavalisi keevitusagregaate. Kasutatakse liimi KC-609, mis on eriti sobiv väikese viskoossuse tõttu. Ka teised ehituskonstruksioonides kasutatavad liimid (nende hulgas liim DFK), välja arvatud kautšukliimid, on kõlblikud liim-keevisühendusteks.

Keevitatakse kas "jäiga" (lühikese aja vältel suur voolutugevus) või "pehme" (pikema aja vältel väiksem voolutugevus) režiimi kohaselt. Esimene meetod on tundlikum kontaktipindade vahele jääva liimi suhtes, mis võib põhjustada defekte. Liimi väljapressimiseks soovitatakse enne keevitamist kontakti pinnad kokku suruda kaks korda suurema survega kui keevitamise ajal. Vajalik minimaalne surve külmade detailide kokkusurumiseks $P = 9K\delta^2\delta'_{02}$, kus K - konstruksiooni jäikust ja montaaži kvaliteeti iseloomustav tegur (tasapinnaliste detailide puhul K = 1); δ - paketi oleva õhema detaili paksus mm; δ'_{02} - tingimuslik voolamispiir.

Keevituspunktide vahekaugus olgu selline, et liimvuugi kogu ulatuses oleks küllaldane surve. Katsed näitavad, et punktkeevituse optimaalseks sammuks on 75 mm.

Liim-neetühendused (samuti liim-kruviühendused) tehakse kas varem liimitud detailide neetamise või üheaegse liimimise ja neetimisega. Esimene meetod annab parema liimühenduse, mida siiski hilisemal neetimisel võidakse vigastada. Teine meetod on tehnoloogiliselt lihtsam, sest neetimisega üheaegselt saavutatakse liimvuugis vajalik surve. Optimaalseim elementide kokkusurumine toimub kuni 40-mm needisammu puhul.

Võrdluskatsed näitavad, et liim-keevisühendused on keskmiselt 45 - 50% tugevamad liim-neetühendustest. Samal ajal on selliste kombineeritud ühenduste tugevus keskmiselt 1,5 korda suurem ainult keevitatud või ainult needitud ühenduste tugevusest. Samuti on kombineeritud ühendustega konstruksioonide õhukeste lehtede stabiilsus suurem. Liim-keevisühendus on liim-neet- ja liim-kruviühendustest odavam.

2.4. Keevitühendused

Varem nägime, et termoplastilistel polümeeridel on omadus ka korduval kuumutamisel (allpool destruktsiooni temperatuuri) pehmenedana ning isegi sulada ilma omadusi ja struktuuri muutmata. Termoplastidel ei ole selgesti määratud sulamispunkti ning temperatuuri tõusmisel toimub pidev üleminek tahkest olekust plastilisse ja seejärel püdel-voollavasse olekusse. Plastilises ja püdel-voollavas olekus saab plastmasse surve all ühendada, s.o. kokku keevitada.

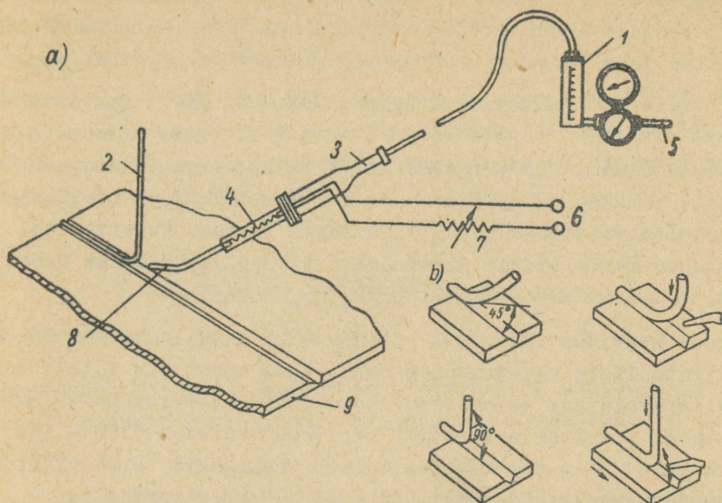
Kasutatakse: 1) keevitamist kuumutatud gaasiga; 2) keevitamist kontaktsoojusega; 3) keevitamist kõrgsagedusvooluga; 4) hõõrdekeevitust; 5) keevitamist ultraheliga.

Keevitamisel kuumutatud gaasiga kuumutatakse keevitatavaid detaile ja lisamaterjali varrast elektri- või gaasipõletis vajaliku temperatuurini viidud suruõhuga (soojuskandja).

Kuumutatud gaasiga keevitamine on laialdaselt levinud tänu seadmete ja tehnoloogilise protsessi suhtelisele lihtsusele ning igasuguste mõõtetega ja konfiguratsiooniga toodete ühendamise võimalikkusele.

Plastmasside keevitühendused sarnanevad metallkonstruktsioonides kasutatavatega. Ühendatavate materjalide servad töödeldakse kaldu. Lehtede paksuse juures kuni 5 mm on renni avanurk 60° ja suurema paksuse juures 70° . Üle 6-mm paksusega lehtede jätkühendustes on otstarbekas kasutada kahepoolset servatõõtlust. Keevitusprotsessi skeem on näidatud joon. 26 a. Surveõhk (5) juhatakse läbi regulaatori (1) keevitusaparaati (3), kust ta elektri kuumutusseadmes (4) vajaliku temperatuurini soojendatult (võrguvoolu (6) reguleeritakse seadmes (7)) satub lisamaterjali pulgale (2) ja renni (8). Joon. 26 b on näidatud lisamaterjali pulga asetus polüetüleeni (üleval) ja polüvinüülkloriidi (all) keevitamisel keevitamise algul (I) ja keevitamise ajal (II).

Keevituskoha ja lisamaterjali varda õige kuumutamise tunnuseks on niiske läike tekkimine materjali pinnal. Sel momendil toimub õhukese pinnakihi pehmenemine kuni püdel-voollava olekuni.



Joon. 26.

Plastmassidel on suur temperatuuri joonpaisumise tegur, millest tingitult esinevad keemisõmbluses sisepinged. Keevitata-
vate detailide kaardumise vähendamiseks peab gaasijoa läbimõõt
olema väike (3 - 5 mm).

Keevitamisel kontaktsoojusega asetatakse elektrivooluga kuumu-
tatav element keevitataivate pindade vahele. Pärast pindade kuu-
menemist pehmenemiseni eemaldatakse kiiresti kuumutuselement
ja pehmenenud pinnad surutakse rullikutega kokku.

Kilematerjali keevitamiseks kasutatakse rullikukujulist kuumu-
tuselementi. Kiled ühendatakse ülekattega ja keevitataivad pin-
nad kuumutatakse soojaülekandega kuumutuselemendilt läbi mater-
jali ülemise kihi alumisele. Kirjeldatud meetodi puhul esineb
kile kuumutuselemendi külge kleepumise oht. Kleepuvust vä-
hendab kuumutuselemendi pinna määrimine rasvainega (näit. si-
likoonidega), mis püsib kuumutamisel ja jahtumisel. Keevitami-
sel kile ei muutu kleepuvaks, kui kuumutuselemendina kasutada
õhukest metall-linti. Viimast kuumutatakse sekundi murdosa väl-
tel tugevate vooluimpulssidega. Kui lindis saavutatakse vaja-

lik temperatuur, siis vool katkeb ja keevisõmblus jahtub kiiresti soojust hästi juhtiva metall-lindi kaudu. Sellisel juhul ei esine juba jahtunud plastmassi ja lindi kleepumist.

Keevitamisel kõrgsagedusvooluga (50 - 70 MHz) kuumutatakse ühendatavaid elemente kõrgsagedus-elektriväljas. Kõrgsagedusvooludega keevitamise protsess on kõige ökonoomsem materjali paksuse puhul 0,5 - 2,5 mm. Tootlikkus, võrreldes teiste keevitusviisidega, on 5 - 10 korda suurem. Keevitamisel kasutatakse kahte viisi: pidev-järjestikune ja üheaegne keevitusviis.

Esimese keevitusviisi korral nihutatakse detaile katkestamatult rullikutaoliste elektroodide vahel, kusjuures üks rullik surub keevitatavaid osi teineteise vastu (näit. keevitusmasin JFC-02). Üheaegsel keevitamisel toimub protsess väikeses (100 - 150 mm) piirkonnas. Siin keevitamine toimub üheaegselt terve piirkonna ulatuses (kasutatakse näit. torujätkude keevitamisel).

Hõõrdekeevitusel (friktsioonkeevitus) pehmendatakse keevitatavad pinnad kahe ühendatava pinna teineteise vastu hõõrdumisel eralduva soojusega. Hõõrdekeevitust kasutatakse telgsümmeetrilise pinnaga kehade (torud, silindrid jne.) ühendamiseks.

Keevitamine ultraheliga on termoplastide keevitamise kõige noorem meetod. Ta sarnaneb kõrgsagedus-keevitusega, erinedes viimasest selle poolest, et materjalid kuumenevad spetsiaalsest generaatoritest saadava ultraheli mõjul. Tänapäeval on see meetod veel väljatöötamise staadiumis.

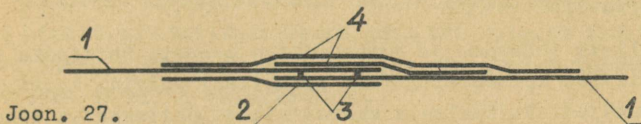
Korralikult keevitatud keevisõmbluse tugevus on lähedane põhimaterjali tugevusele. Konstruktsioonides, välja arvatud kilekonstruktsioonid, plastmasse ei keevitata. Puuduvad plastmassi keevisõmbluste arvutuseeskirjad.

2.5. Kangaste jätkud

Kangaste jätkudelt nõutakse vähemalt sama tugevust ja gaasitihedust, kui on põhimaterjalil. Jätku konstruktsioonides kasu-

tatakse liimimist ja liimimist koos õmblemisega. Viimane ühendustüüp on rohkem levinud ja kõige tugevam. Kangad algul liimitakse ja seejärel õmmeldakse.

Näide kanga jätku konstruktsioonist on toodud joon. 27. Vahelehti asetatud kangad (1) on kokku liimitud ja õmmeldud (3). Jätk on täiendavalt kaetud väljastpoolt ühe (2) ja seestpoolt kahe (4) liimitud hermetiseeriva lindiga.



Kasutatakse külmalt kõvastuvaid sünteetilisi kautšukliime. Et kangal puudub paindejäikus, siis ühendus arvutatakse ainult lõikele.

Brandjuhul ühendatakse plastmasskiledega kaetud kangaid ka keevitamise teel, sest jätkamine on tehnoloogiliselt raske.

3. PLASTMASSKONSTRUKTSIOONID

3.1. Üldisi märkusi

Plastmasskonstruktsioone kasutatakse elamute, tööstus- ja ühiskondlike hoonete konstruktsioonides. Arvestades plastmasskonstruktsioonide väikest omakaalu, tuleks neid kasutada peamiselt monteeritavate ja monteeritavate-demonteeritavate ehituste püstitamiseks. Eriti on nad sobivad vähe asustatud ja raskesti juurdepääsetavate rajoonide (näit. polaarrajoon) ehitusteks. Edukalt võib neid rakendada maavärisemisohtlikes rajoonides, sest konstruktsiooni väikesest omakaalust tingitult on ka inertsjõud väikesed.

Plastmasskonstruktsioonidest on eriti perspektiivsed kolmekihilised paneelid, missuguseid kasutatakse hoonete piirdekonst-

ruksioonides (katused ja seinad). Valgust läbilaskvaid plaate ja paneele kasutatakse seinä- ja katusekonstruktsioonides akna-
plokide asemel. Katuse laternakonstruktsioonid kujundatakse
ühest orgaanilise klaasi või vinülasti (viimast mitte kasuta-
da temperatuuri juures alla -10°C) plaadist vormitud kuplitena.

Tugevasti agressiivses keskkonnas olevate ehituste postid, ta-
lad, sõrestikud, raamid ja eriti kaared on mõeldav konstrueeri-
da klaasplastikutest.

Suureavaliste tööstus- ja ühiskondlike hoonete katmiseks on
perspektiivsed kolmekihilistest plokkidest võlvid, koorikud
ja tahkkandjad. Unikaalsete suureavaliste ehituste katteks sobi-
vad kerged rippkonstruktsioonid terasest või klaasplastikust
trossidel kolmekihilistest paneelidest kattega.

Telgid, aerokarkass- ja pneumaatilised konstruktsioonid sobi-
vad ajutistele monteeritavatele-demonteeritavatele ehitustele.
Samal otstarbel kasutatakse laialdaselt lihtsaid kile-karkass-
ehitusi. Viimasel juhul kerged metallist või isegi puidust kar-
kassid kaetakse läbipaistva või värvitud killega, mis kujundab
piirde.

Suure perspektiiviga on klaaspingebetoon, kus pingevardad val-
mistatakse klaasplastikutest. Tugevalt agressiivses keskkonnas
kasutatakse polümeer- ja plastbetooni. Esimeses neist kasuta-
takse mineraalset sideainet koos polümeeriga ja teises ainult
polümeerset sideainet.

3.2. Kolmekihilised paneelid

Kolmekihilised paneelid moodustatakse kahest voodrilehest ja
nende vahel olevast kergest, kuid jäigast täitest. Väliskoor-
muse vastuvõtmisel töötavad kõik paneeli kihid koos ja täida-
vad ühtlasi isolatsiooni ülesandeid (sisemine kiht - soojaiso-
latsioon ja välimised kihid auru- ja hüdroisolatsioon).

Kolmekihilise paneeli välimised kihid (nimetame ka voodriks)
on konstruktsiooni rohkem koormatud osad. Hoone välisküljel

olgu voodrikiht nägusa väljanägemisega, küllalt tugev juhusslikkude lõhkide ja püsiv ilmastiku mõju vastu. Vastavalt nendele nõuetele kasutatakse praktikas peamiselt kas asbestsementi või alumiiniumi ning erandjuhtudel ka vineeri, puitkiudplaate, kihilisi ja klaasplastikuid. Puitkiud- ja puitlaastplaate kasutatakse kas sisemise voodrilehena või viimistluskihina, veekindlat vineeri kasutatakse peamiselt vähekorroselistes elamutes. Klaasplastikute defitsiitsuse tõttu kasutatakse neid ainult agressiivses keskkonnas või valgust läbilaskvates paneelides. Sisemiselt voodrikihilt nõutakse suuremat auruisolatsiooni ja eriti tulekindlust.

Sisekihi (nimetatakse ka südamik) staatiline ülesanne on siduda ja koos tööle rakendada voodrilehti. Seoses sellega ei nõuta sisekihilt eriti suurt tugevust; ta peab vastu võtma paindenihkejõu ja kindlustama tema külge kinnitatud (liimitud) surutud voodrilehe stabiilsuse. Et südamik moodustab paneeli peamise mahu, siis olgu ta võimalikult kerge.

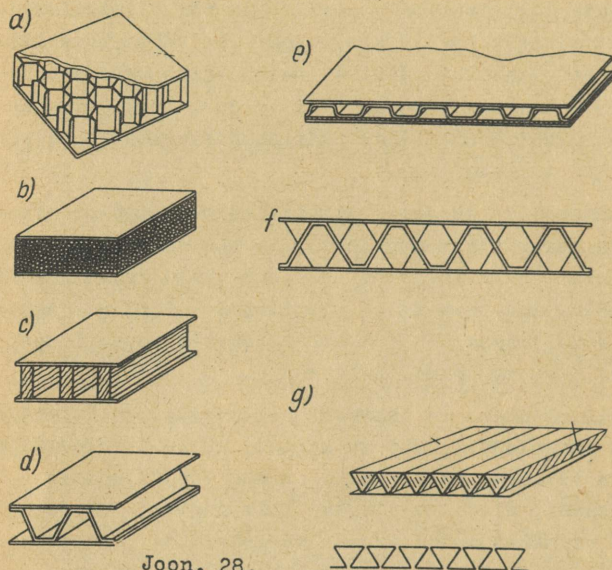
Vastavalt nendele nõuetele on sisekihi optimaalseteks materjalideks vaht- ja kärgplastid. Nad on kerged, küllalt tugevad ja suure isoleeriva võimega. Peale selle on nad voodrilehtede suunas deformeeruvad, mistõttu pinged liimvuugis muutuvad temperatuuri ja niiskuse mõjul vähe. Kärgplastide kasutamisel nõutav soojaisolatsioon tagatakse kärgede täitmisega mingi soojaisolatsioonimaterjaliga.

Joon. 28 a ja b on näidatud kärg- ja vahtplastidest südamikudega kolmekihiliste paneelide konstruktsioon.

Pideva sisekihi kõrval kasutatakse ka ribilisi südamikke. Ribid on asetatud kas tihedalt või ainult äärestavad (raamivad) paneeli. Ka siin saavutatakse vajalik soojaisolatsioon, nagu kärgplastide puhul, täiendava isolatsioonimaterjaliga. Ribid kujundatakse lint-, leht- jt. materjalidest. Joon. 28 c, d ja e on näidatud mõningate ribidega kolmekihiliste paneelide konstruktsioon (c - tavaline ribi, d ja e - lehtmaterjalist moodustatud ribid).

Praktikas kasutatakse sageli ristlevatest ribadest moodustatud kahesuunalisi ribisid, taolist süsteemi nimetatakse tinglikult

kärgplastiks. Puitkiudplaadist ribadele lõigatakse nende ristumiskohas poole riba kõrgune pilu, millega saadakse täisnurga all ristuvate ribade võrk. Võrgu külje pikkus (100 - 600mm) määratakse painde-nihke, surutud voodrilehe stabiilsuse ja kärgplasti seina surve arvutustest.



Joon. 28.

Tuleb veel kord märkida, et kahe erineva materjali liimühendus on siis usaldatav, kui nõrgema ühendatava materjali (südamik) elastsusmoodul liimvuugi suunas on nii väike, et ta küllalt vabalt suudab jälgida jäigema materjali (voodrilehe) deformatsiooni. Selliselt

töötavad praktikas sagedamini kasutatavad vaht- ja paber-kärgplastist südamekega kolmekihilised paneelid. Vastandina nendele on puitkiudplaat tunduvalt suurema jäikusega, mistõttu ta näiteks alumiiniumiga kokkuliimitult sageli põhjustab temperatuuri ja niiskuse muutumisel ühenduse purunemist. Toodud põhjusel lubatakse alumiiniumist voodriga ja puitkiudplaatidest südamekega kolmekihilisi paneele liimida ainult elastsete kautšukliimidega ja kasutada neid ehituse vähem koormatud osades (näit. riputatud seinapaneelidena). Asbesttsemendist voodri ja puitkiudplaatidest südameke ühendamine (tänu asbesttsemendi küllaltki suurele elastsusele) on lubatav.

Kärgplastist ja ribiliste südamikkuude puhul on paneeli kõige nõrgemaks kohaks voodrilehtede ja südamiku liimühendus. Et liimühenduse pinda suurendada, kasutatakse mõnel juhul ka tüvipüramiiditaolisi kärgplaste (joon. 28 f) ja oomegakujulise ristlõikega lehtmaterjalist ribisid (joon. 28 g).

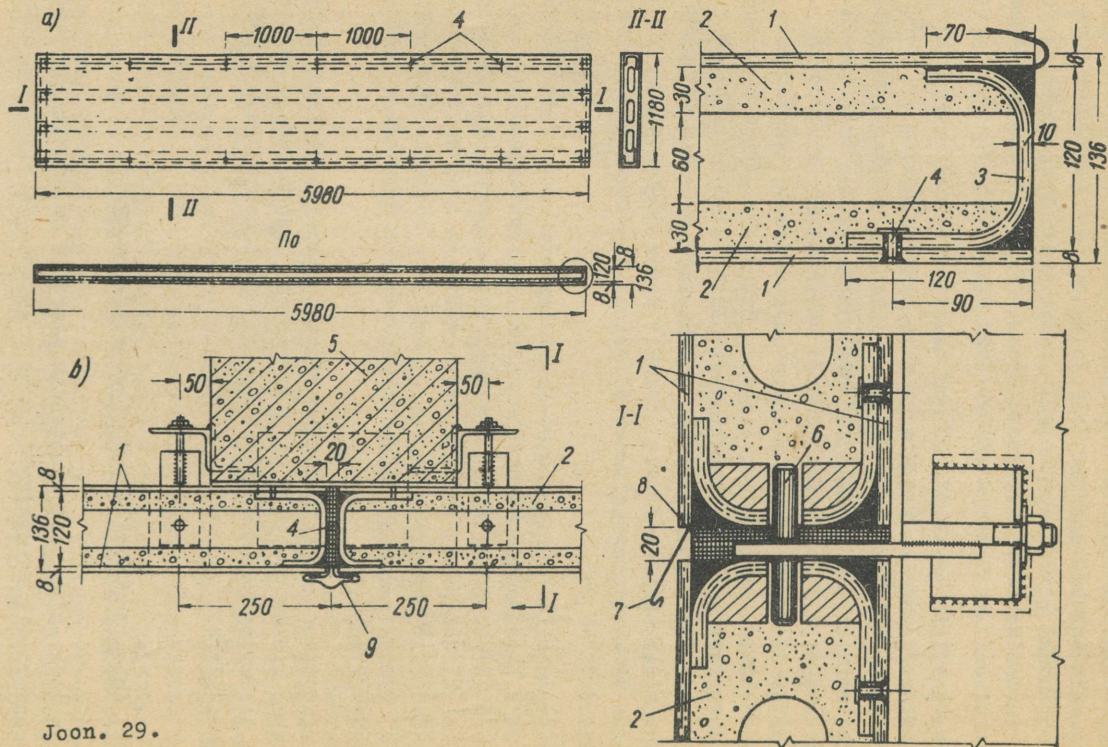
Kolmekihiliste paneelide küljed tavaliselt raamitakse. Ääris (raami) ülesanne on kaitsta paneeli tema valmistamisel, transportimisel ja montaažil. Paljudel juhtudel pikiääris kujundatakse staatilises skeemis töötavateks ribideks. Sellisel juhul tehakse nad tavaliselt samast materjalist, millest on voodrilehed (sellega on temperatuuri-niiskuse muutustest liimühenduses minimaalsed pinged). Erandjuhul, pideva ja tugeva südamikumaterjali kasutamisel (näit. vahtplast ПС-4), võib ääris ära jääda ja paneeli vahtplastist vabad küljed kaetakse ainult kaitsevõõbaga. Paneeli ääris moodustatakse ka tugevast ja süttimiskindlamast polüvinüülkloriid-vahtplastist ribidest.

Katusepaneelid alumiiniumist ja klaasplastikust voodrilehega ei vaja täiendavat hüdroisolatsiooni. Asbesttsemendist voodrilehega katusepaneelid aga kaetakse väljastpoolt hüdroisolatsiooni- ja seestpoolt aurisolatsioonikihiga ning seinapaneelid väljastpoolt hüdrofobiseeriva ainega ning seestpoolt aurutõkkega. Klaasplastikuga kaetud asbesttsement täiendavat isolatsiooni ei vaja.

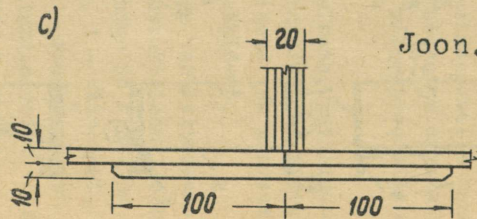
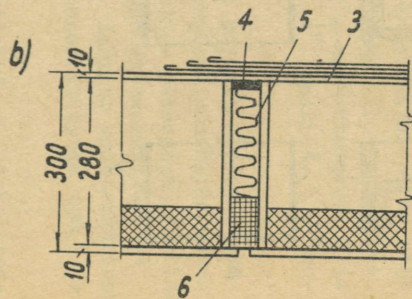
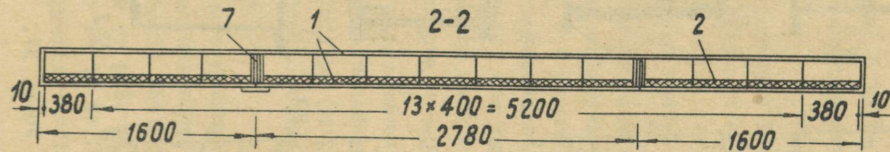
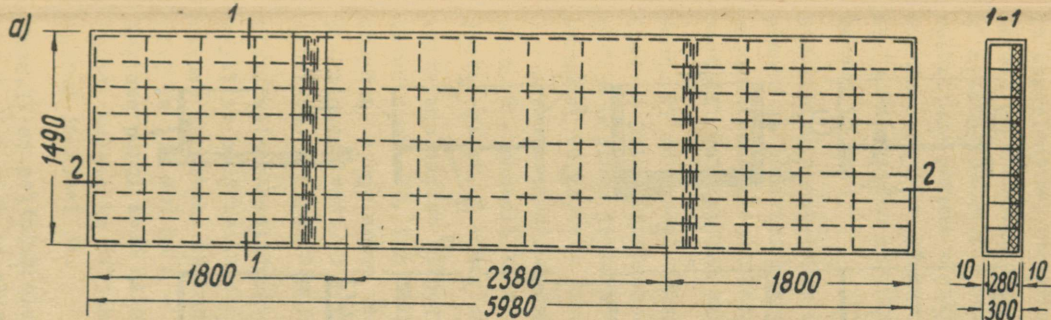
Valmistatakse ka valgust läbilaskvaid paneele, milleks kasutatakse klaasplastikuid ja alumiiniumi. Paneeli soojaisolatsioon saavutatakse läbipaistvatest kiledest moodustatud kinniste õhuruumidega.

3.21. Asbesttsemendist voodrilehtedega paneelid

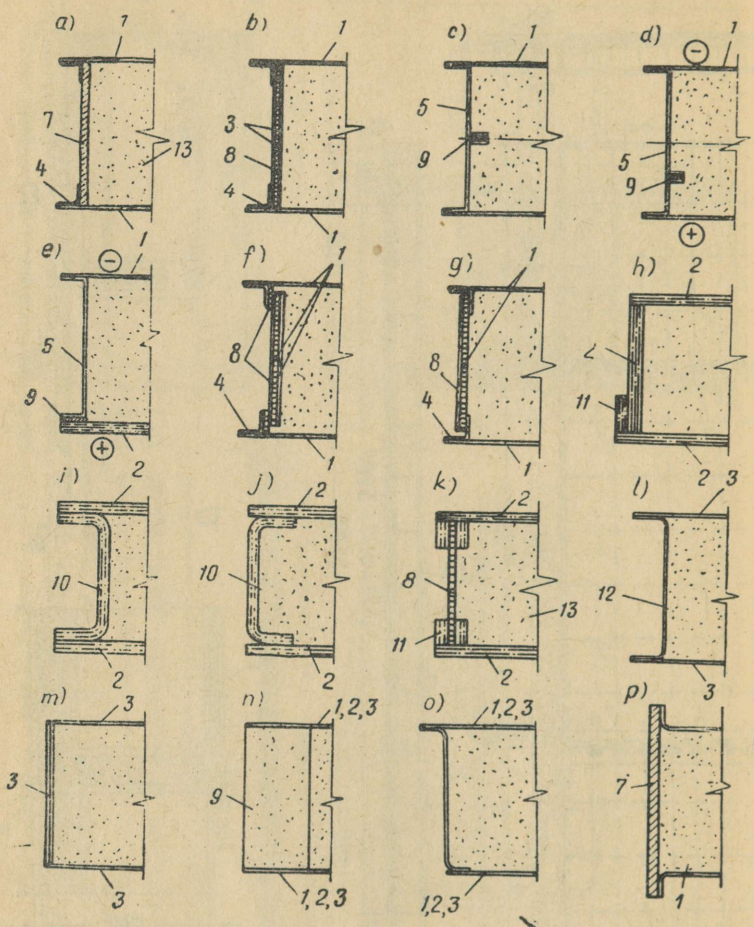
Asbesttsemendist voodrilehtedega paneelid on odavad ja seetõttu massiliselt kasutatavad hoonete katuse- ja riputatud seinapaneelidena.



Joon. 29.



Joon. 30.



Joon. 31.

Elamute riputatud seinapaneelid valmistatakse ühe ja kahe toa suurustena (kandvate pöikseinte vahekaugus 3,2 ja 5,2 m) vaht- ja kärgplastist südamikuga. Tööstushoonete seinapaneelide pik-kuseks on kandekonstruksioonide vahekaugus (6 m) ja kõrgus 1,2 m; katusepaneelide soovitatav laius 1,5 m. Asbesttsemendist voodrilehe paksus võetakse elamu riputatud seinapaneelis konstruktiiivselt (ava juures 3 m) 6 mm ja tööstushoonetes arvutatakse (tavaliselt 8 mm). Katusepaneelides olgu mõlema voodrilehe paksus 10 mm.

Sisekihina kasutatakse seinapaneelides vahtplaste, puitkiudplaatte ja paberist kärgplaste. Tavaliselt vahtplastist sisekiht kujundatakse plaatidest liimitud karpristolõikena või surveta meetodil valmistatud aukudega vahtplasti plokkidest.

Joon. 29 on toodud vahtplastist sisekihiga ja asbesttsemendist voodriga tööstushoone seinapaneeli konstruktsioon. Joonisel: a - plaan ja lõiked, b - paneelide ühendus ja kinnitus karkassi külge, 1 - asbesttsemendist vooder, 2 - vahtplast, 3 - asbesttsemendist profiil, 4 - kruvi, 5 - raudbetoonist post, 6 - paneeli kinnitamise detail, 7 - alumiiniumist veeärajooksu-plekk, 8 - isolatsioon, 9 - alumiiniumist profiil.

Puitkiudplaadist kärjega katusepaneeli konstruktsioon on näidatud joon. 30, kus: a - pealtvaade ja lõiked, b - paneelide ühendus, c - alumise voodrilehe jätk, 1 - asbesttsement, 2 ja 5 - mineraalvatt, 3 - hüdroisolatsioon, 4 - mastiks, 6 - isolatsioon, 7 - puitkiudplaadid.

Elamu seinapaneelide paksuse määramisel kujuneb mõõduandvaks vajaliku soojaisolatsiooni tagamine. Ühukeste paneelide puhul esineb ääristes külmasildade oht. Tavalise paksusega paneelide (112 ja 136 mm) ja 8 - 10 mm paksuste asbesttsementplaadist ääriste puhul seda siiski karta ei ole. Ääriste konstruktsioone (nende hulgas ka hiljem käsitletavate paneelitüüpide omi) on toodud joonisel 31.

Joon. 31 on esitatud: alumiiniumist voodrilehed: a - bakeliseeritud vineerist ja alumiiniumprofiilidest sein, b - klaasriidega KACT kaetud kihilisest puitplastikust sein; c, d ja e - soojaisolatsiooni vahekihiga painutatud alumiiniumprofiilist

sein, f - mõlemalt poolt alumiiniumlehtedega kaetud kihilisest puitplastikust ja alumiiniumprofiilidest sein, g - sama, kuid alumiiniumlehega ühelt poolt kaetud;

asbesttsemendist voodrilehed: h - asbesttsemendist sein, i ja j - asbesttsementprofiilist sein, k - asbesttsemendiga kaetud kihilisest puitplastikust sein;

klaasplastikust voodrilehed: l - profileeritud klaasplastikust sein, m - plaat-klaasplastikust sein;

voodrilehed vabalt valitavast materjalist: n - tugevast ja viisalt põlevast vahtplastist sein, o - z-kujulisest profiilist kujudatud sein, p - plaadist moodustatud sein.

Skeemidel tähendavad: 1 - alumiinium, 2 - asbesttsement, 3 - klaasplastik, 4 - alumiiniumist nurk, 5 - alumiiniumist z-kujuline profiil, 6 - alumiiniumist karpraud, 7 - bakeliseeritud vineer, 8 - puitkiudplaat, 9 - vahtplast, 10 - asbesttsemendist karpraud, 11 - asbesttsemendist latt, 12 - klaasplastikust karpraud, 13 - vahtplast või mingi muu sisekihi materjal.

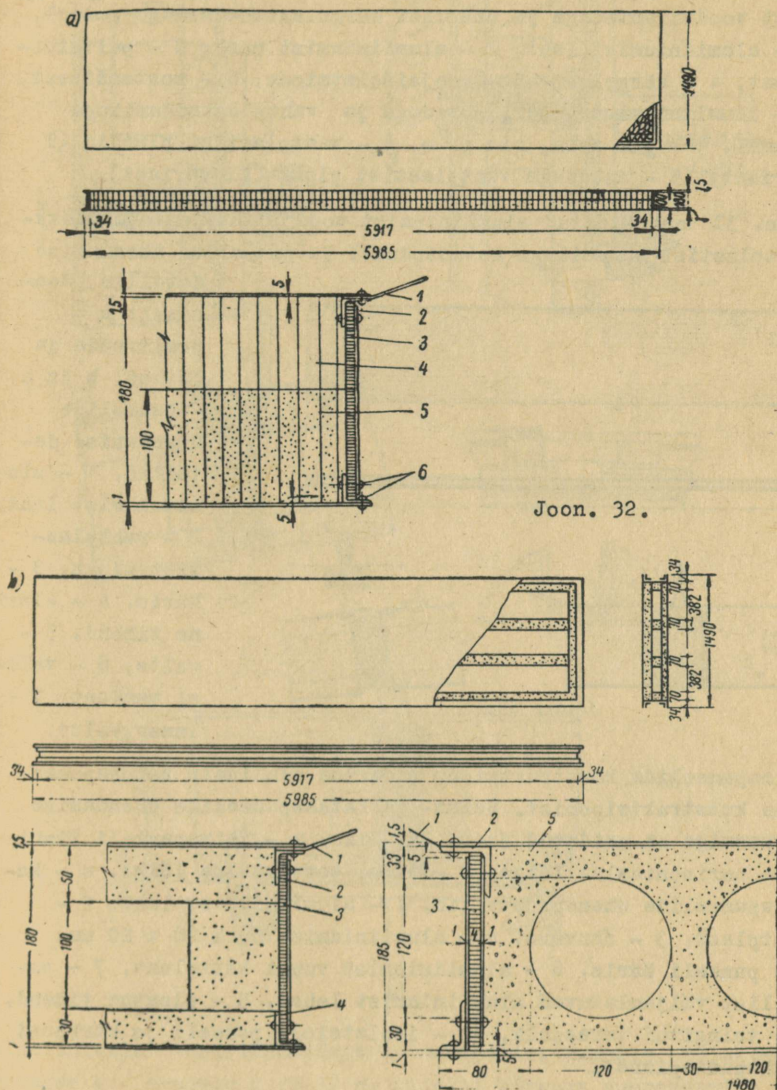
Asbesttsemendist voodrilehtede jätkud kaetakse seestpoolt voodrilehepakuste asbesttsementplaatidega. Jätkud asetatakse ava veerandi kohale selliselt, et ühes ristlõikes oleks üks, kas surutud või tõmmatud voodrilehe jätk. Jätku ülekate olgu 10-mm voodrilehe paksuse juures 180 - 200 mm.

Eluhoonetes paneelid kinnitatakse vahelagede ja tööstushoonetes karkassipostide külge (joon. 29 b). Rippuvad seinapaneelid toetatakse tema alumisel serval, kusjuures sidemed võimaldagu paneeli deformatsioone ja paigutusi tema pinna kõikides suundades. Paneelidevaheliste vuukide avanemine, peamiselt temperatuuri muutustest, ulatub kuni 5 mm-ni. Tavaliselt täidetakse vuugi keskmised osad mineraalvatiga, seest- ja väljastpoolt aga mingist elastomeerist profiilvardaga. Kasutatakse ka teisi viise.

3.22. Alumiiniumist voodrilehtedega paneelid

Alumiiniumist voodrilehtedega paneeli konstruktsioon printsiipsaalselt ei erine eelnevas punktis vaadeldud paneelide konst-

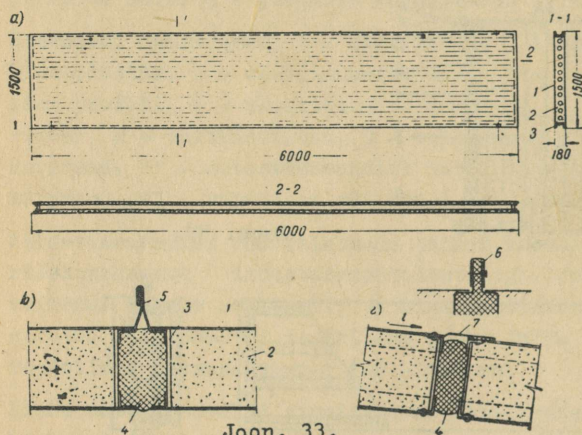
ruksioonidest, mispärast siinkohal vaatleme ainult üksikuid näiteid.



Joon. 32.

Katusepaneelide voodrilehed on paksusega 1 - 1,5 mm. Siseki-hina kasutatakse vaht- ja kargplaste. Näiteid katusepaneeli konstruktsioonidest on toodud joon. 32. Siin: a - alumiiniumist voodrilehtedega ja paberist kargplastsüdamikuga paneel, 1 - alumiiniumist leht, 2 - alumiiniumist nurk, 3 - puitkiud-plaat, 4 - kargplast, 5 - soojaisolatsioon, 6 - montaažineet, b - alumiiniumist voodrilehtedega ja vahtplastisüdamikuga paneel, 1 - 3 - sama, mis p. a, 4 - vahtplastist plaadid (I variant), 5 - aukudega vahtplastist plokk (II variant).

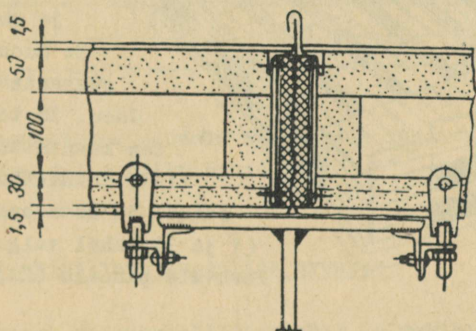
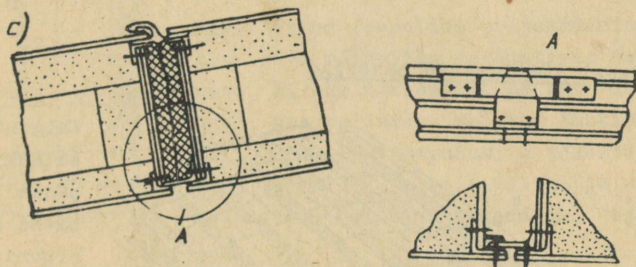
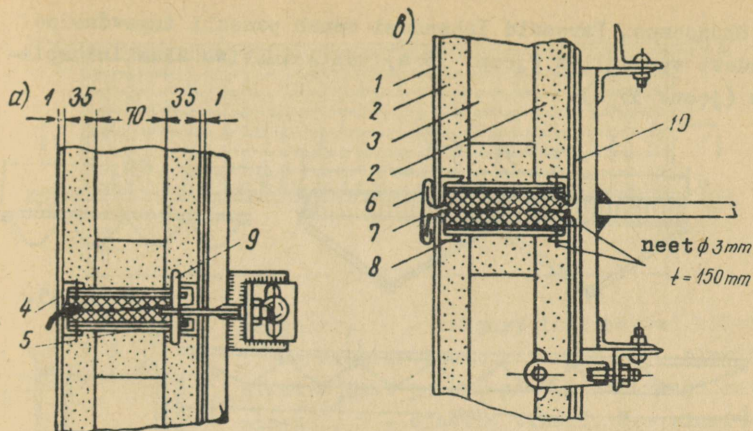
Joon. 33 on näidatud alumiiniumist voodrilehtedega ja plokk-vahtplastist südamikuga katusepaneel ja paneelide ühendamise detailid. Joonisel: a -



Joon. 33.

pealtvaade ja lõiked, b ja c - paneelide ühendamise detailid, 1 - alumiiniumist leht, 2 - vahtplastist plokk, 3 - ääris, 4 - elastne tihend, 5 - valts, 6 - valtsi variant, 7 - lamav valts.

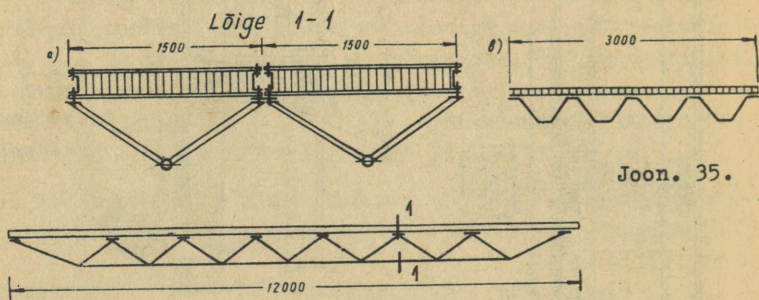
Seinapaneelide konstruktsioon ei erine oluliselt katusepaneelide konstruktsioonist. Sein- ja katusepaneelide ühendamine karkassiga on näidatud joon. 34. Siin: a - seinapaneeli kinnituse horisontaalne lõige, b - sama, vertikaalne lõige, c - katusepaneelide ühendusdetailid, 1 - alumiiniumist leht, 2 - vahtplast, 3 - õhuvahe, 4 - alumiiniumist nurk 20 x 20 mm, 5 - paneeli ääris, 6 - alumiiniumist vuugi kattelend, 7 - paneelist väljaulatuvad alumiiniumist lehed, 8 - elastne tihend, 9 - tsiingitud teraspulk, 10 - isolatsioon paneeli ja karkassi kokkupuutepinnal.



Joon. 34.

Alumiiniumist voodrilehtedega kolmekihilisi paneele projekteeritakse ka avadele 9 ja 12 m. Paneeli kõrguse suurendamine ei

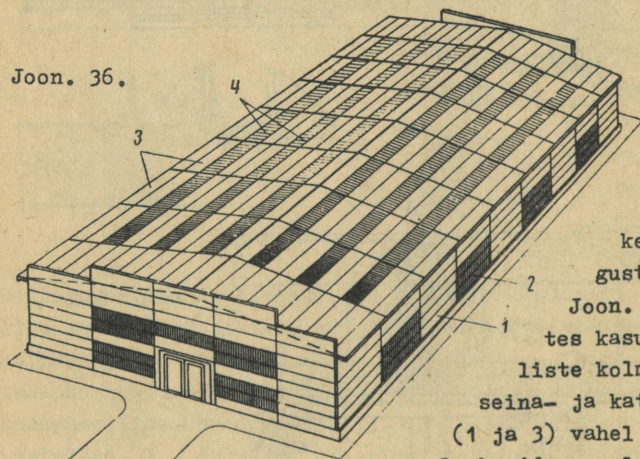
ole ökonoomne. Paremaid lahendusi annab paneeli tugevdamine torudest sprengliga (joon. 35 a) või lainelise alumiiniumplekiga (joon. 35 b).



Joon. 35.

3.23. Valgust läbilaskvad paneelid

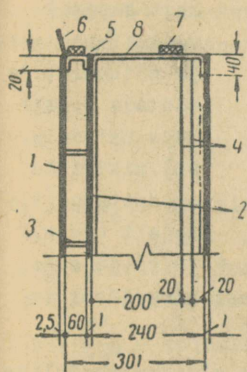
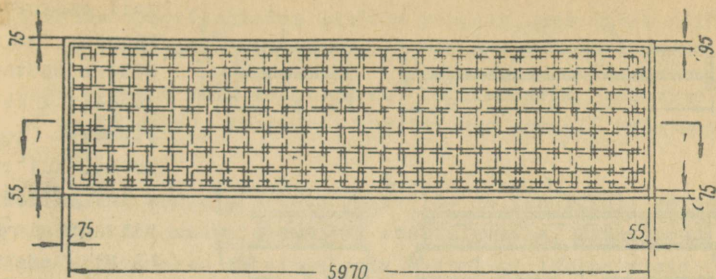
Joon. 36.



Valgust läbilaskvad paneelid lubavad hästi organiseerida tööstus- ja ühiskondlike hoonete valgustamist.

Joon. 36 toodud näites kasutatakse tavalist kolmekihilist sein- ja katusepaneelide (1 ja 3) vahel valgust läbilaskvaid paneele (2 ja 4).

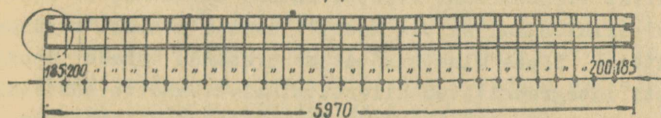
Näide valgust läbilaskvast katusepaneelist on toodud joon. 37, kus: 1 - valgust läbilaskev klaasplastik paksusega 2,5 mm, 2 - sama, paksusega 1 mm, 3 - klaasplastikust või alumiiniumist



kärgplast, 4 - valgust läbilaskvad kiled, 5 - klaasplastikust karpraud, 6 - alumiiniumist leht paksusega 0,5 mm (vuugi katmiseks), 7 - elastne tihend, 8 - alumiiniumist (6 mm) raam.

Kirjeldatud paneelide projekteerimisel nähtagu ette võimaliku kondentsvee ärajuhtimine. Kilede ülesandeks on suurendada paneeli soojapidavust suletud õhukihtide abil. Paneeli läbipuhumist tõkestatakse alumiiniumist äärisele välja- ja sissepoole asetatud elastse tihendiga. Vajaduse

1-1

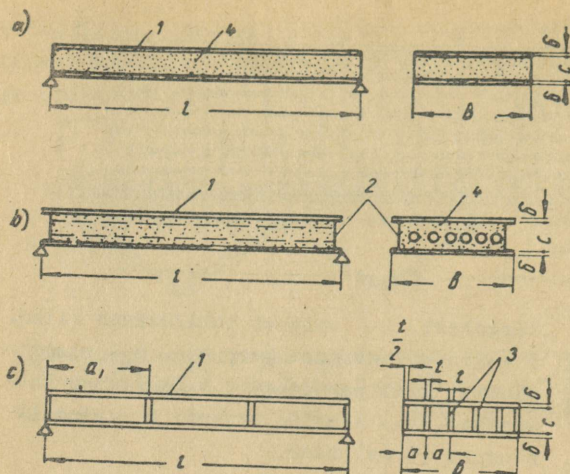


Joon. 37.

korral kasutatakse paneeli kandvatele ääristele (raamile) toetatud täiendavaid pöikribisid.

3.24. Kolmekihiliste paneelide arvutus

Arvutuskeemi seisukohalt jagatakse kolmekihilised paneelid kahte gruppi: 1) nihkejõud võetakse vastu paneeli pideva vaht- või kärgplastist sisekihiga (joon. 38 a) ja 2) nihkejõud võetakse vastu pikiribidega. Viimasena nimetatud skeem jagatakse



Joon. 38.

veel omakorda kaheks: 2a) ribidena töötavad paneeli kaks pikikärist (joon. 38 b). Kui suhe $a : l \geq 0,05$, siis on sisekihi ülesandeks hoida vaid õhukest surutud voodrilehte välja nõtkumast ja töötada kohaliku paindele, 2b) pikiribid on asetatud tihedalt (joon. 38 c) ja suhe

on $a : l < 0,05$. Seda esineb puitkiudplaatidest kõrgplasti kasutamisel.

Pideva sisekihi ja voodrilehtede materjalide elastsusmoodulite suhe on piires 1:20000 kuni 1:2000. Katsed näitavad, et sellise nõrga sisekihi puhul ei ole Hooke'i seadus paneeli arvutamisel kasutatav. Täpne elastsusõpetuse ülesande seade annab aga raskesti integreeritavad diferentsiaalvõrrandite süsteemid, mispärast arvutusvalemite tuletamisel kasutatakse lihtsustavaid oletusi. Järgnevas esitatavate arvutusvalemite tuletamisel (A. J.Brussilovski) kasutatakse nn. kahe sirge hüpoteesi, mille kohaselt sisekiht deformeerub ühe ja voodrileht teise, esimesele nurga all oleva sirge järgi. Eeldatakse ka, et sisekihil puuduvad vertikaalsuunalised paigutused.

Ribidega paneelide voodrilehtedes on pinge ebaühtlane. Ülesande lahendamisel kasutatakse (A. J.Brussilovski) paneeli ribist ja voodrilehtede ribadest koosnevat elementi, millega elastsusõpetuse ruumiline ülesanne lahutati tasapinnaliseks kontakt-ülesandeks. Lahendusest selgub, et tihedaribilises paneelis on

pingejaotus voodrilehtedes küllalt rahulik, mis lubab neid arvutada tugevusõpetuse valemi järgi.

Ribidega paneele võib arvutada ka ligikaudsete valemite järgi (A. B. Gubenko), kusjuures kasutatakse paneeli redutseeritud laiust.

Kolmekihilisi paneele arvutatakse üld- ja kohalikule paindele (tugevus ja deformatsioonid) ja stabiilsusele. Painutatud paneelidele lubatakse maksimaalseid suhtelisi läbipaindeid $f:l$: a) alumiiniumist ja klaasplastikust voodrilehtedega paneelides - 1:350, b) asbesttsemendist voodrilehtedega katusepaneelides - 1:800 ja seinapaneelides - 1:350.

Kasutatavad tähistused

E, E_1, E_0 - voodrilehe, ribi ja sisekihi elastsusmoodulid kg/cm^2 ;

μ - voodrilehe Poissoni tegur;

G, G_0 - voodrilehe ja sisekihi nihkemoodulid kg/cm^2 ;

$D = \frac{E_0 \delta^3}{1 - \mu^2}$ - voodrilehe paindejäikus laiuse ühikule kg/cm ;

$B = \frac{E \delta}{1 - \mu^2}$ - voodrilehe survejäikus laiuse ühikule kg/cm ;

R_{ck} - sisekihi või liimvuugi arvutuslik nihketugevus kg/cm^2 ;

R - voodrilehe arvutuslik surve- või tõmbetugevus kg/cm^2 ;

N - voodrilehtedele sümmeetriliselt asetatud survejõud kg/cm ;

N_{kp} - sama, kuid kriitiline jõud kg/cm ;

e - koondatud jõu kaugus paneeli vasakust toest cm .

Ülejäänud tähistused selguvad joon. 38.

Järgnevas toodud arvutusvalemid kehtivad, kui

$$0,01 \leq \frac{2\delta}{c} \leq 0,25 \text{ ja } 0,00001 \leq \frac{G_0}{E} \leq 0,1.$$

I. Kolmekihilised pideva sisekihiga paneelid (joon. 38 a).

a. Paine ühtlaselt jaotatud koormusel.

Voodrilehe tugevuskontroll:

$$\sigma = \frac{q_p l^2}{8 \delta (c + \delta)} \leq R. \quad (1)$$

Sisekihi tugevuskontroll:

$$\tau = \frac{q_p l}{2(c + \delta)} \leq R_{ck}. \quad (2)$$

Deformatsioonide kontroll:

$$f = \frac{q_H l^2}{153D} \left[\frac{\pi^2}{\beta} + \frac{\delta^2 l^2}{3(c + \delta)^2} \right] \leq [f], \quad (3)$$

$$\text{kus } \beta = \frac{G_0}{E} \frac{6(c + \delta)^2 (1 - \mu^2)}{c \delta^3}.$$

b. Paine koondatud koormusel.

Voodrilehe tugevuskontroll:

$$\sigma = 0,405 \frac{Pl}{\delta b} \left[\frac{3\pi^2}{\beta l^2 \delta} + \frac{c + 2\delta}{(c + \delta)^2} \right] \sin \alpha \leq R, \quad (4)$$

$$\text{kus } \alpha = \frac{\pi}{l}.$$

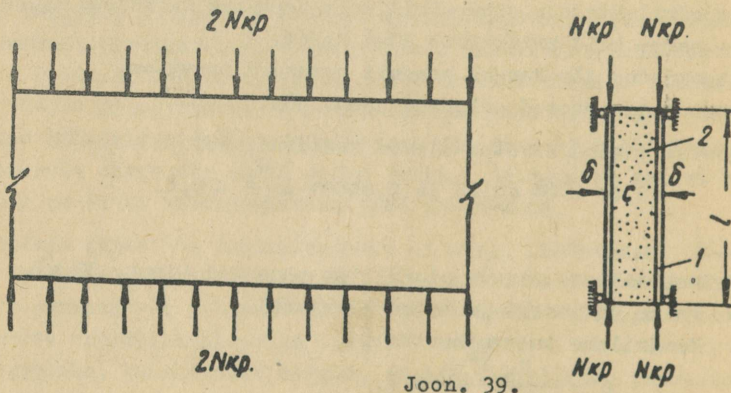
Sisekihi tugevuskontroll:

$$\tau = 1,27 \frac{P}{b} \frac{1 + \mu}{c + \delta} \sin \alpha \leq R_{ck}. \quad (5)$$

Deformatsioonide kontroll:

$$f = 0,02 \frac{Pl}{D_b} \left[\frac{\pi^2}{\beta} + \frac{\delta^2 l^2}{3(c + \delta)^2} \right] \sin \alpha \leq [f]. \quad (6)$$

Stabiilsus ühtlaselt jaotatud survel (joon. 39).



$$N_{kp} = \frac{\pi^2 B (c + \delta)^2}{4(1 + k)l^2} > N', \quad (7)$$

$$\text{kus } k = \frac{\pi^2 B c}{21^2 G_0}.$$

II. Kolmekihilised konstruktiivse äärisega paneelid (joon. 38 b).

a. Paine ühtlaselt jaotatud koormusel.

Voodrilehe tugevuskontroll:

$$\max \sigma = \frac{2q_p a}{\pi t} \frac{\psi_2 (\psi_1 - 2 \operatorname{ch} \alpha_1)}{\frac{E_1}{E} \psi_1 \psi_2 + 4\kappa_1 \operatorname{sh} \alpha_1 \operatorname{sh} \alpha_2} \leq R, \quad (8)$$

$$\text{kus } \kappa_1 = \frac{2\delta}{t}; \quad \psi_1 = \operatorname{ch} \alpha_1 - \frac{\alpha_1}{\operatorname{sh} \alpha_1}; \quad \psi_2 = 3 \operatorname{ch} \alpha_2 - \frac{\alpha_2}{\operatorname{sh} \alpha_2};$$

$$\alpha_1 = \frac{\pi(c + \delta)}{2l}; \quad \alpha_2 = \frac{\pi a}{2 \cdot l}.$$

Sisekihi tugevuskontroll:

$$\max \tau = \frac{2q_p a}{\pi t} \left[\frac{1}{\operatorname{sh} \alpha_1} + \Delta (1 - \alpha_1 \operatorname{cth} \alpha_1) \right] \leq R_{ck}, \quad (9)$$

$$\text{kus } \Delta = \frac{\frac{E_1}{E} \psi_2 \operatorname{cth} \alpha_1 + 2\kappa_1 \operatorname{sh} \alpha_2}{\frac{E_1}{E} \psi_1 \psi_2 + 4\kappa_1 \operatorname{sh} \alpha_1 \operatorname{sh} \alpha_2}$$

Nihkepinged äärmistes ribides korrutame teguriga $k = 0,5$.

Deformatsioonide kontroll:

$$f = \frac{2q_p a l}{\pi^2 t E_1} \left[\frac{1}{\operatorname{sh} \alpha_1} + \Delta (1 + \alpha_1 \operatorname{cth} \alpha_1) \right] \leq [f]. \quad (10)$$

b. Paine koondatud koormusel.

Voodrilehe tugevuskontroll:

$$\max \sigma = \frac{Pa}{lbt} \frac{E}{E_1} [1 - 2\Delta \operatorname{sh} \alpha_1] \sin \alpha e \leq R. \quad (11)$$

Sisekihi tugevuskontroll:

$$\max \tau = \frac{Pa}{lb t} \operatorname{cth} \alpha_1 \sin \alpha e \leq R_{ck}. \quad (12)$$

Deformatsioonide kontroll:

$$f = \frac{Pa}{\pi E_1 b t} \left[\frac{l}{\operatorname{sh} \alpha_1} + \Delta (1 + \alpha_1 \operatorname{cth} \alpha_1) \right] \sin \alpha e \leq [f]. \quad (13)$$

Mitme koondatud jõu mõjumisel asendada suuruse $P \sin \alpha e$ suurusega ($P_1 \sin \alpha e_1 + P_2 \sin \alpha e_2 + \dots$).

III. Kolmekihilised tihedaribilise sisekihiga paneelid (joon. 38 c).

a. Paine ühtlaselt jaotatud koormusel.

Voodrilehe tugevuskontroll:

$$\sigma = \frac{q_p l^2}{8 \delta (c + \delta)} \leq R. \quad (14)$$

Sisekihi tugevuskontroll:

$$\tau = \frac{4 q_p a l}{\pi^2 t (c + \delta)} \leq R_{ck}. \quad (15)$$

Nihkepingeid äärmistes ribides korrutame teguriga $k = 0,5$.

Deformatsioonide kontroll:

$$f = 0,13 \frac{q_p l^2}{E_1 t} \frac{a}{c + \delta} \left[2 + 0,202 \frac{E_1}{E} \frac{l^2 t}{b \delta (c + \delta)} \right] \leq [f]. \quad (16)$$

b. Paine koondatud koormusel.

Voodrilehe tugevuskontroll:

$$\sigma = 0,202 \frac{P l}{t \delta (c + \delta)} \sin \alpha e \leq R. \quad (17)$$

Sisekihi tugevuskontroll:

$$\tau = 0,64 \frac{Pa}{b t (c + \delta)} \sin \alpha e \leq R_{ck}. \quad (18)$$

Deformatsioonide kontroll:

$$f = 0,406 \frac{P l a}{E_1 (c + \delta) b t} \left(1 + \frac{E_1}{E} \frac{l^2 t}{\pi^2 \delta a (c + \delta)} \right) \sin \alpha e \leq [f] \quad (19)$$

Ribidega paneele lubatakse arvutada ka tavaliste tugevusõpetuse valemite abil, milleks kasutatakse tegeliku paneeli laiuse b asemel arvutuslikku laiust b_{np} . Paneeli arvutuslik laius b_{np} määratakse tingimusest, et pinged on voodrilehes konstantsed, võrdues maksimaalse pingega, ja et mõlemal skeemil on summaarsed jõud voodrilehes võrdsed.

Isotroopse voodrilehega (alumiinium ja asbesttsement) paneelide puhul

$$b_{np} = \frac{1}{\pi} \frac{\operatorname{sh} \frac{\pi b}{l} + \frac{\pi b}{l}}{2 \operatorname{ch}^2 \frac{\pi b}{2l}} \quad (20)$$

ja ortotroopse voodrilehega (klaasplastik ja vineer) paneelide puhul

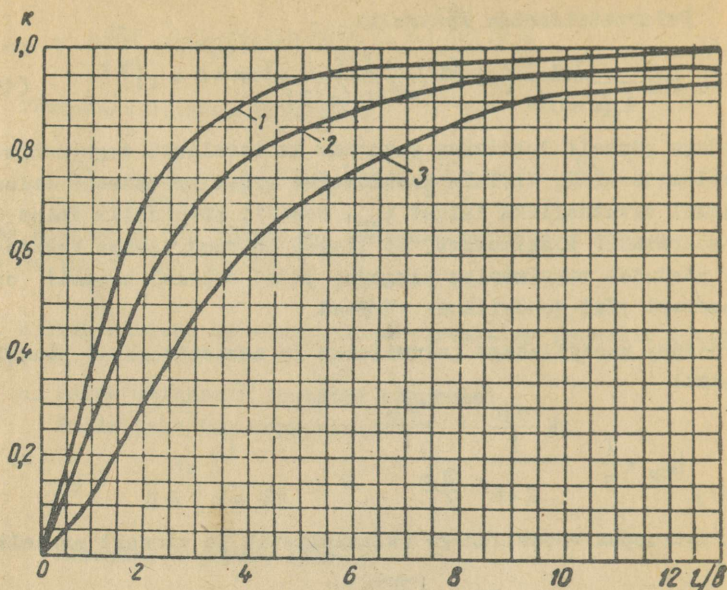
$$b_{np} = \frac{4}{\pi} l \frac{\operatorname{th} \frac{\pi b}{4l} \sqrt{\frac{E}{G}}}{\sqrt{\frac{E}{G}}}, \quad (21)$$

kus E ja G - elastsus- ja nihkemoodul paneeli ava suunas.

Paneeli arvutuslikku laiust võib arvutada ka valemiga $b_{np} = kb$, kus k on joonisel 40 toodud graafikust määratav tegur. Kõverad joonisel tähendavad: 1 - isotroopne materjal (asbesttsement, alumiinium jt.), 2 - anisotroopne materjal (klaasplastik), 3 - vineer.

Vahtplastil külge liimimata surutud voodrilehti tuleb ribide vahel kontrollida kohalikule stabiilsusele

$$\sigma_{kp} = - \kappa_2 \frac{\pi^2 D}{a^2 \delta} > R. \quad (22)$$



Joon. 40.

Teguri k_2 väärtused on toodud alljärgnevas:

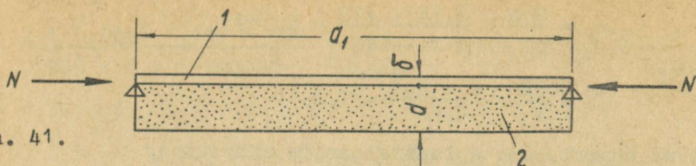
a_1/a	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,7	1,8	2,0	2,5	3,0
k_2	13,38	8,73	6,74	5,84	5,45	5,34	5,33	5,18	4,85	4,32	4,08

Vahtplasti kontrollitakse tugevusele voodrilehe (mis on vahtplastiga kokku liimitud ja kahest küljest toetatud) kohaliku painde tingimusest valemi järgi

$$\sigma_{\text{pact}} = \frac{2M}{bd(\delta+d)} \leq R_{\text{pact}}, \quad (23)$$

kusjuures voodrilehe survepinged arvutatakse valemiga

$$\sigma_{\text{cm}} = \frac{2M}{b\bar{d}(\delta+d)} \leq R_{\text{cm}}. \quad (24)$$



Joon. 41.

Vahtplastiga pidevalt liimitud surutud voodrilehe (joon. 41) stabiilsust kontrollitakse valemiga

$$N_{kp} = D\delta^2 + E_0 \frac{A_1 e^{2\delta d} + A_2 e^{-2\delta d} + c_1}{\delta \Gamma_1 e^{2\delta d} - \delta \Gamma_2 e^{-2\delta d} + c_2} > N, \quad (25)$$

$$\text{KUS } A_{1,2} = \frac{E_0}{B} - \delta^2 \delta \pm 2\delta \left(1 \pm \frac{\delta \delta}{2}\right)^2;$$

$$\delta = \frac{n\pi}{a_1}; \quad \Gamma_{1,2} = 2 \frac{E_0}{B} \pm 3\delta;$$

$$c_1 = -2 \left(\frac{E_0}{B} + \delta^2 \delta \right) - 2\delta^2 d (4 - \delta^2 \delta^2) - 4\delta^2 d^2 \left(\frac{E_0}{B} - \delta^2 \delta \right);$$

$$c_2 = 10\delta^2 + 8\delta^2 \frac{E_0 d}{B} - 4\delta^4 d^2.$$

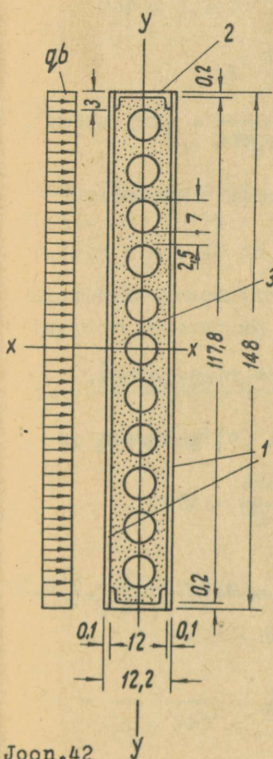
Väärtused $n = 1, 2, 3, \dots$ määratakse N_{kp} miinimumtingimusest.

Arvutusnäide

Kontrollida joonisel 42 toodud alumiiniumist voodrilehtedega ja vahtplastist südamikuga riputatud seinapaneeli tugevust ja jäikust. Voodrilehed on alumiiniumist mark AMΓ ja südamik aukudega vahtplastplokist mahukaaluga 100 kg/m^3 . Paneeli omakaal $g^H = 20 \text{ kg/m}^2$ ja $g = 1,2 \cdot 20 = 24 \text{ kg/m}^2$. Tuulekoormus $p_b^H = 0,8 \cdot 55 = 44 \text{ kg/m}^2$ ja $p_b = 1,2 \cdot 44 = 53 \text{ kg/m}^2$.

Suhe $a:l = 118:600 = 0,197 > 0,05$, mistõttu kasutame III grupi valemiteid. Arvutame valemites (8) kuni (10) esinevad geomeetriselised suurused:

$$\alpha_1 = \frac{\pi(c + \delta)}{2l} = \frac{3,14(12 + 0,1)}{2 \cdot 600} = 0,032;$$



Joon. 42

$$\alpha_2 = \frac{\pi a}{2l} = \frac{3,14 \cdot 118}{2 \cdot 600} = 0,309;$$

$$k = \frac{2\delta}{t} = \frac{2 \cdot 0,1}{0,2} = 1,0.$$

Vastavad hüperboolsete funktsioonide väärtused:

$$\operatorname{sh} \alpha_1 = \operatorname{sh} 0,032 = 0,032; \quad \operatorname{sh} \alpha_2 = \operatorname{sh} 0,309 = 0,314;$$

$$\operatorname{ch} \alpha_1 = \operatorname{ch} 0,032 = 1,0; \quad \operatorname{ch} \alpha_2 = \operatorname{ch} 0,308 = 1,048;$$

$$\psi_1 = \operatorname{ch} \alpha_1 - \frac{\alpha_1}{\operatorname{sh} \alpha_1} = 1 - \frac{0,032}{0,032} = 0;$$

$$\psi_2 = 3 \operatorname{ch} \alpha_2 - \frac{\alpha_2}{\operatorname{sh} \alpha_2} = 3 \cdot 1,048 - \frac{0,309}{0,314} = 2,154;$$

$$\frac{E_1}{E} = 1,0.$$

Valemi (8) kohaselt on voodrilehes pinged

$$\sigma = \frac{2 \cdot 0,0053 \cdot 118}{3,141 \cdot 0,2} \cdot \frac{2,154(0 - 2 \cdot 1)}{4,1 \cdot 0,032 \cdot 0,314} = -215 \text{ kg/cm}^2,$$

millele tuleb lisada paindepinged seinapaneeli omakaalust

$$\sigma = \frac{M_x}{W} = \frac{10700}{870} = 12,3 \text{ kg/cm}^2.$$

Seega maksimaalsed pinged

$$\max \sigma = -215 - 12,3 = -227,3 \text{ kg/cm}^2 < 1400 \text{ kg/cm}^2.$$

Nihkepinged alumiiniumist karprauas valemi (9) kohaselt on

$$\Delta = \frac{1 \cdot 2,154 \frac{1}{0,032} + 2 \cdot 1 \cdot 0,314}{4 \cdot 1 \cdot 0,032 \cdot 0,314} = 1730;$$

$$\begin{aligned} \max \tau &= \frac{2 \cdot 0,0053 \cdot 118}{3,141 \cdot 0,2} \left[\frac{1}{0,032} + 1730(1 - 0,032 \frac{1}{0,032}) \right] 0,5 = \\ &= 31,5 \text{ kg/cm}^2 < 800 \text{ kg/cm}^2. \end{aligned}$$

Paneeli läbipaine valemi (10) kohaselt on

$$f = \frac{2 \cdot 0,0044 \cdot 118 \cdot 600}{9,869 \cdot 0,2 \cdot 710000} \left[\frac{1}{0,032} + 1730(1 + 0,032 \frac{1}{0,032}) \right] =$$

$$= 1,54 \text{ cm};$$

$$f:1 = 1,54 : 600 = 1 : 388 \approx 1 : 350.$$

Toodud näitest selgub, et dimensioneerimisel kujuneb mõõduandvaks läbipainete tingimus ja kandvate elementide tugevust ei saa täielikult ära kasutada.

Järgnevas kasutame sama näite puhul ligikaudset arvutusmeetodit. Arvutame valemis (20) esinevad suurused:

$$\frac{\pi b}{1} = \frac{3,141 \cdot 118}{600} = 0,618; \quad \text{sh } \frac{\pi b}{1} = \text{sh } 0,618 = 0,658;$$

$$\frac{\pi b}{21} = 0,309; \quad \text{ch } \frac{\pi b}{21} = \text{ch } 0,309 = 1,048;$$

$$\text{ch}^2 \frac{\pi b}{21} = 1,048^2 = 1,098;$$

$$b_{np} = \frac{600}{3,141} \cdot \frac{0,658 + 0,618}{2 \cdot 1,098} = 111 \text{ cm}.$$

Sama võib arvutada joonisel 40 toodud graafiku abil. Suhte $l:b = 600 : 118 = 5,1$ kohaselt saame isotroopse materjali kõveralt $k = 0,94$ ja $b_{np} = 0,94 \cdot 118 = 111 \text{ cm}$.

Ristlõike (voodrilehed + karprauad) arvutuslik inerts ja vastupidavusmoment on

$$J_y = \frac{111 (12,2^3 - 12^3)}{12} + \frac{0,2 \cdot 12^3}{12} \cdot 2 + 2,8 \cdot 0,2 \cdot 5,9^2 \cdot 4 =$$

$$= 875,6 \text{ cm}^4;$$

$$W_y = \frac{J_y}{(c + 2\delta)^2} = \frac{875,6}{6,1} = 143 \text{ cm}^3;$$

$$J_x = \frac{(12,2 - 12) 111^3}{12} + (12 \cdot 0,2 \cdot 55,4^2 \cdot 2 +$$

$$+ 2,8 \cdot 0,2 \cdot 53,9^2 \cdot 4) = 44000 \text{ cm}^4;$$

$$W_x = \frac{J_x}{(c + 2\delta)^2} = \frac{44000}{55,5} = 795 \text{ cm}^3;$$

$$M_y = \frac{63,5 \cdot 6^2}{8} = 386 \text{ kgm}; \quad M_x = 107 \text{ kgm}.$$

Maksimaalsed pinged voodrilehes on

$$\max \delta = \frac{10700}{795} + \frac{38600}{143} = 213,5 \text{ kg/cm}^2 < 1400 \text{ kg/cm}^2.$$

Sisekihi kontroll nihkele

$$Q = \frac{63,5 \cdot 6}{2} = 190 \text{ kg};$$

$$S = 111 \cdot 0,1 \cdot 6,05 = 66,6 \text{ cm}^3.$$

Nihkepinged karpraua neutraalteljel on

$$\tau = \frac{Q \cdot S}{J_y \cdot b} = \frac{190 \cdot 66,6}{875,6 \cdot 0,4} = 36 \text{ kg/cm}^2 < 800 \text{ kg/cm}^2,$$

$$\text{kus } b = 2 \cdot 0,2 = 0,4 \text{ cm}.$$

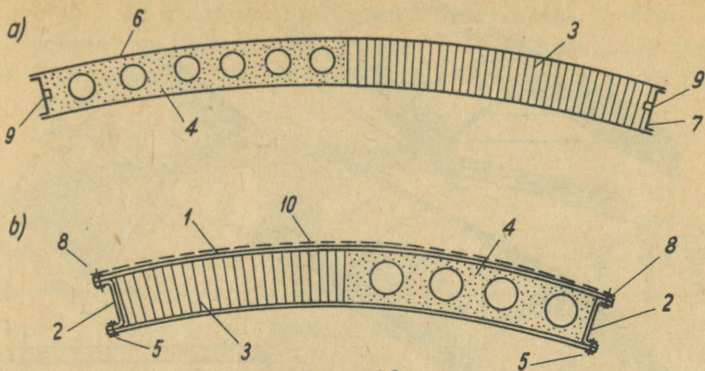
Paneeli läbipaine on

$$f = \frac{5}{384} \frac{q H^4}{E J_y} = \frac{5}{384} \frac{0,53 \cdot 600^4}{710000 \cdot 875,6} = 1,45 \text{ cm}.$$

Näitest selgub, et ligikaudne arvutusmeetod annab tulemusi, mis erinevad täpsest ligikaudu 6%.

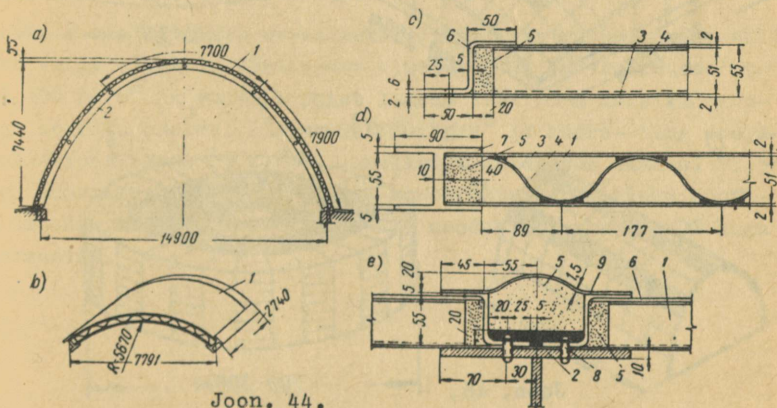
3.3. Kolmekihilistest plokkidest ruumilised konstruktsioonid

Ruumilised pindkandjad võimaldavad ökonoomselt katta suuri avasid. Sellised plastmasskonstruktsioonid moodustatakse monteeritavatest kõverpinnalistest kolmekihilistest plokkidest, mille skeemid on esitatud joonisel 43, kus: a - alumiiniumist ja plastmassist plokk, b - asbesttsemendist ja plastmassist plokk, 1 - asbesttsemendist leht, 2 - asbesttsemendist karpraud, 3 - tekstiilist või jõupaberist kargplast, 4 - vahtplastist plokk, 5 - metallist sidemed, 6 - alumiiniumist leht, 7 - alumiiniumist profiilid, 8 - liimühendus, 9 - puitkiudplaat või vahtplast, 10 - klaasplastik.

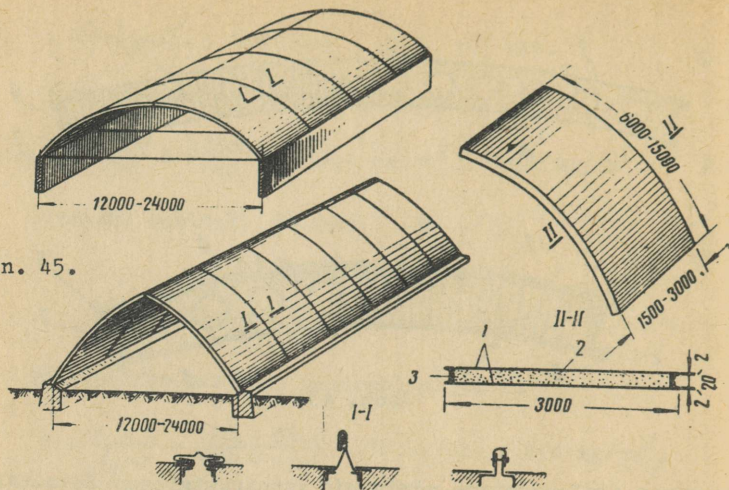


Joon. 43.

Järgnevas iseloomustame mõningaid konstruktsioone. Joonisel 44 on näidatud alumiiniumist kaartele toetatud valgust läbilaskvatest plokkidest katusekate, kus: a - lõige, b - keskelt võetud plokk, c - ploki ääris, d - vólvi moodustaja suunaline jätk, e - vólvi puutuja suunaline jätk, 1 - valgust läbilaskev plokk, 2 - alumiiniumist I-ristlõikega kaar, 3 - klaasplastikust lehed, 4 - laineline klaasplastik, 5 - vahtplast, 6 - klaasplastikust ääris, 7 - klaasplastikust jätkuprofiil, 8 - kruvid paneelide kinnitamiseks, 9 - klaasplastikust jätkukate.

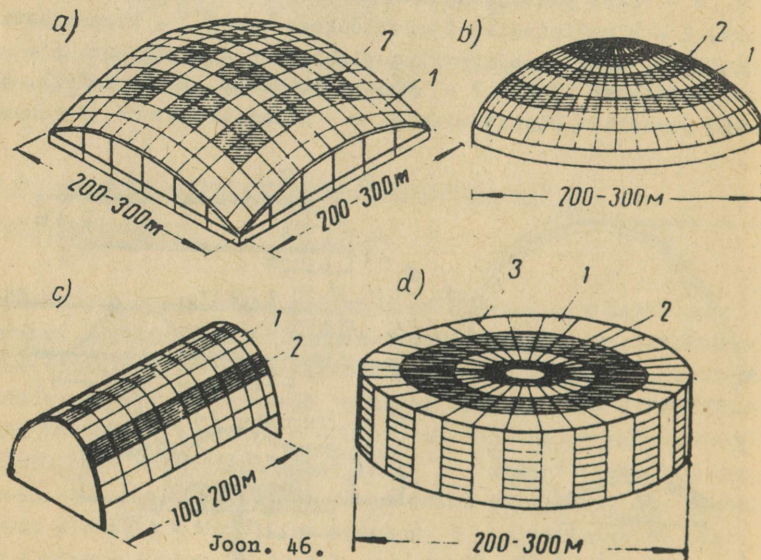


Joon. 44.



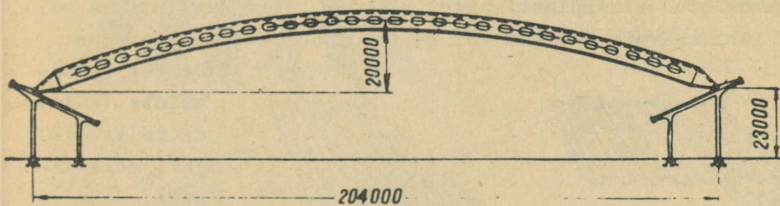
Joon. 45.

Joonisel 45 on toodud alumiiniumist voodrilehtedega (1) ja ääri-
sega (3) ning vahtplastist sisekihiga (2) plokkidest moodusta-
tud võlvid.

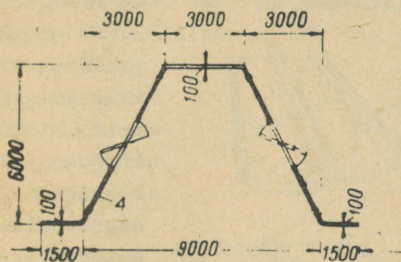


Joon. 46.

Briti suurte avade katmiseks sobivad monteeritavad koorikud. Joonisel 46 a on esitatud lameda kaksikkõverusega kooriku skeem. Samal joonisel on toodud veel kuppel (b), silindriline koorik (c) ja klaasplastik- või terastrossidel rippkatuse skeem (d).



Joon. 47.



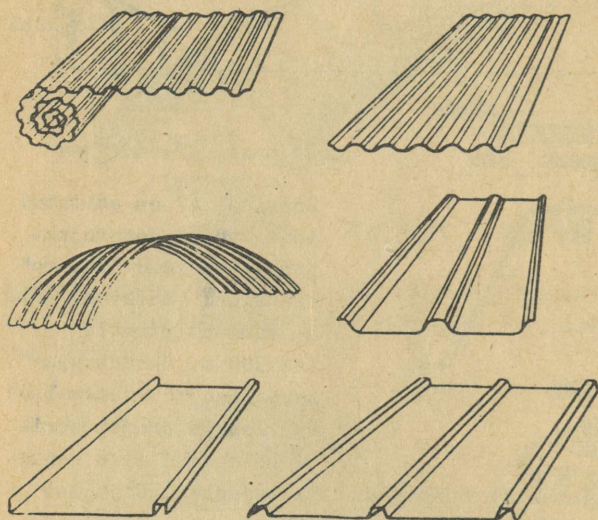
Joonisel 47 on esitatud instituudis Mosprojekt projekteeritud "Dünamo" staadioni (Moskvas) katte variant pinnale 204x300 m. Moodustajasuunaline kõverpinnaline tahkkandja projekteeriti kolmekihilises konst-

ruktsioonis (alumiiniumist voodrilehed ja samast materjalist kärgplastid) paksusega 100 mm.

Suurte avade katmisel on kolmekihiliste konstruktsioonide eeliseks väike omakaal. Võrdluseks nimetame, et lumekoormuse puhul 100 kg/m^2 on raudbetoonist lameda $100 \times 100 \text{ m}$ kaksikkõverusega kooriku omakaal ligikaudu 250 kg/m^2 ja hüdro- ning soojaisolatsiooni kaal 25 kg/m^2 . Järelikult moodustab omakaal 73,5% kogu koormusest. Kolmekihilises konstruktsioonis oleks kooriku omakaal ligikaudu 50 kg/m^2 , mis moodustaks ainult 30% kogu koormusest.

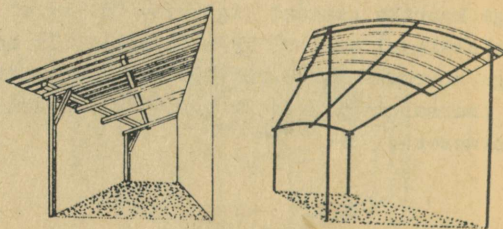
3.4. Muud konstruktsioonid

Siin anname lühikese ülevaate veel mõningatest piirde- ja kandekonstruktsioonidest. Tänapäeval on levinud lainelised ja profileeritud klaasplastikutest plaadid. Neid kasutatakse val-
gust läbilaskvate katuste või katuseosade, katuselaternate,



Joon. 48.

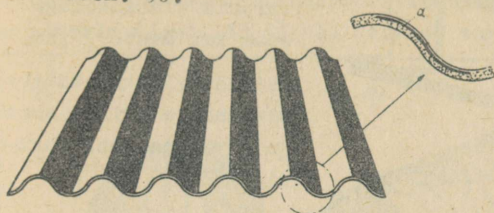
Sellised plastikud on eriti sobivad kergete ja sesoonsete ehituste, nagu autode kaetud parkimiskohtade, suvekohvikute, mitmesuguste paviljonide jne. piirdekonstruktsioonideks (joon.49).



Joon. 49.

kergete vahe-
seinte, külma-
de välisseinte
jne. ehitami-
seks. Joonisel
48 on toodud
mõned näited
profileeritud
klaasplastiku-
test. Ribide
kõrguse ja va-
hekaugustega
reguleeritakse
materjali ri-
bidesuunalist
jäikust. Tihe-
daribilised
õhukesed klaas-
plastikud tu-
rustatakse rul-
lides.

Joon. 50.



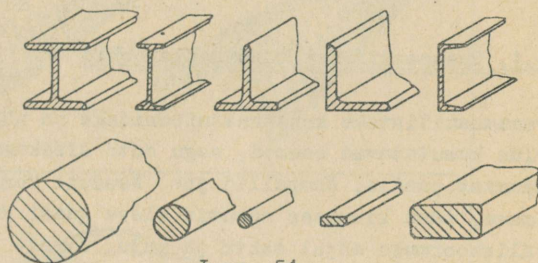
Mitmesuguse lainesu-
rusega plaate kasuta-
takse nii katuse- kui
ka seinakonstruktsi-
oonides. Joonisel 50
on kujutatud laineli-
ne klaasplastik, mil-
les valguse paremaks
jaotamiseks osa pin-
da ei lase valgust läbi (a - plaadi valmistamisel on sellesse
asetatud õhukene alumiiniumfoolio).

da ei lase valgust läbi (a - plaadi valmistamisel on sellesse
asetatud õhukene alumiiniumfoolio).

Klaasplastikutest valmistatakse mitmesuguse ristlõikega profiile (joon. 51), millest on mõeldav projekteerida varraskonstrukt-

sioone (analoogi-
liselt näit. me-
tallkonstruktsi-
oonidega). Vaata-
mata sellele, et

üksikuid selli-
seid konstruktsi-
oone on ehitat-
ud (peamiselt
kaared), ei ole
nad siiski öko-

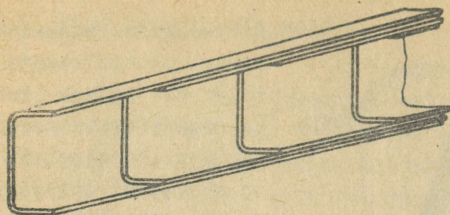


Joon. 51.

noomsed. Nagu selgus juba paneeli arvutusnäitest, on dimensio-
neerimisel mõõduandvad deformatsioonid, mis üksnes plastmas-
side kasutamise korral nõuavad liialt suuri ristlõikeid. Nii-
suguste varraskonstruktsioonide kasutamine õigustaks end ai-
nult väga niiskes või keemiliselt agressiivses keskkonnas.

Edukalt kasutatakse klaasplastikutest varraselemente võrkvõl-
vide konstruktsioonis. Vajaduse korral kasutatakse paindele
tõttavaid talasid, sel juhul tuleks nad kujundada küllalt kõr-
getena. Näide muutuva jäikusega talakonstruktsioonist on too-
dud joonisel 52. Kihilistes konstruktsioonides muutugu varda
jäikus võimalikult pidevalt.

Klaasplastikutest valmistatakse täisnurkse ja ümara plaanilise
lahendusega mahuteid (on ehitatud mahuvusega kuni 33000 l),



Joon. 52.

mitmesuguseks otstarbeks torusid (läbimõõduga enam kui meeter) jne.

Laialdaselt kasutatakse plastmasse väikeelamute ja suvilate konstruktsioonides.

4. KANGASKONSTRUKTSIOONID

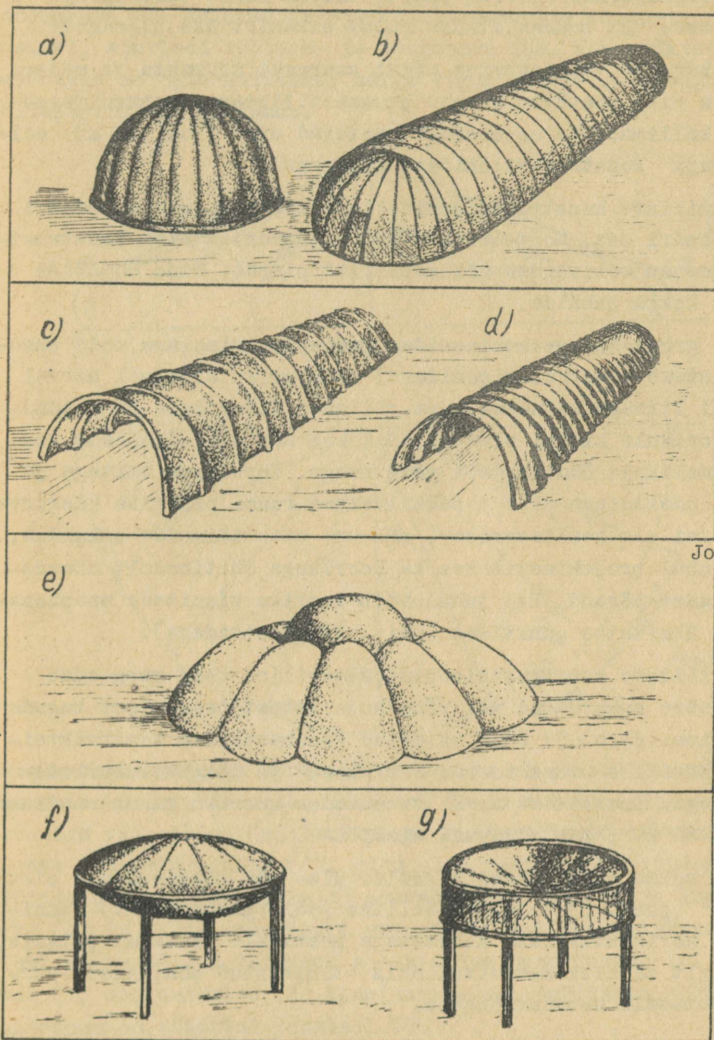
4.1. Pneumaatilised konstruktsioonid

Pneumaatilisteks konstruktsioonideks on näiteks igapäevases elus kasutatavad esemed, nagu auto sisekummid, täispuhutavad kummist paadid, õhupallid jne. Nendele konstruktsioonidele on omane, tänu kinnises mahutis oleva gaasi survele, säilitada väliskoormuse mõjul mahtu ja kuju. Gaasi- (õhu-) surve tekitab konstruktsioonis, s.o. õhutihedas kangas või kiles, eelpinge, mistõttu konstruktsioon on võimeline töötama väliskoormusele.

4.11. Konstruktsioon

Pneumaatiline konstruktsioon koosneb kooriku pinda moodustavast kangast, õhusurve tekitajast (näit. ventilaator) ja vajaduse korral spetsiaalsest avakonstruktsioonist (lüüsisist). Pneumaatilised konstruktsioonid jagatakse kahte gruppi. Esimese grupi (joon. 53 a ja b) moodustavad konstruktsioonid, kus koorikut koos väliskoormusega kannab ruumi sees oleva õhu ülesurve (20 kuni 40 mm veesammast). Teise grupi moodustavate konstruktsioonide kandvateks elementideks on 0,5 kuni 1,5 atü

(mõnel juhul isegi kuni 7 atü) sisesurvega "voolikud" - aero-karkassid. Karkassi elemendid asetatakse kas vahetult teineteise kõrvale (joon. 53 d) või harvade vahedega (joon. 53 c).



Joon. 53.

Teise grupi konstruktsioonides puudub ruumisine õhu ülesurve. Kasutatakse ka kombineeritud konstruktsioone, kus paralleel-

selt aerokarkassiga kasutatakse ruumi sisemist ülesurvet. Kombineeritud konstruktsioonid projekteeritakse nii, et suurendatud väliskoormuse korral (näit. talvel lumi) täiendavalt tekitatakse või suurendatakse ruumi sisemist õhu ülesurvet.

Aerokarkasside valmistamine nõuab suuremat töömahtu ja materjalikulu ning seetõttu on nad pneumaatilistest konstruktsioonidest kallimad. Ka on nendega kaetavad avad (kuni 20 m) eelmise grupi konstruktsioonidest väiksemad.

Pneumaatiliste konstruktsioonide tavaliseks kujuks on sfääri või silindri osa. Monteeritavates-demonteeritavates konstruktsioonides on sobivaimad silindrilised pinnad, mida on kõige lihtsam kokku pakkida.

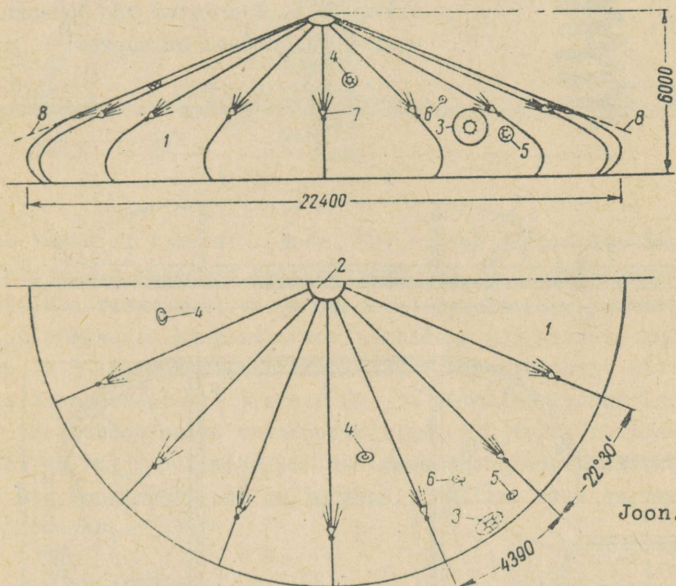
Esimese grupi konstruktsioonides (edaspidi nimetame neid pneumaatilisteks konstruktsioonideks) on kooriku alumisel serval vee või liivaga täidetud toru. Viimase ülesandeks on moodustada koorikule kindel alus ja jäik kontuur ning ühendada koorik võimalikult õhutihedalt maapinnaga. Toru koos täitega ja kooriku omakaaluga peab tasakaalustama ruumi sisemise ülesurve. Kui see ei ole realiseeritav, nähakse ette täiendav ankurdus. Mõnel juhul projekteeritakse ka koorikuga õhutihedalt ühendatud kangast põrand. Sel juhul võib kooriku kinnitada maapinnale vaid üksikutes punktides (näit. liivakottidega).

Pneumaatiliste konstruktsioonide staatilist tööd kergendab maapinnasse ankurdatud või rõngakujulistest trossidest tugede kasutamine. Joon. 53 e on näidatud pneumaatilise konstruktsiooni sfäärilise pinna toetus meridiaan- ja rõngassuunaliste trossidega. Trossidest toed, vähendades kooriku pinna raadiust, vähendavad ka temas mõjuvaid sisejõude.

Omaette rühma moodustavad sisemise üle- või alasurve all olevad "padjad" (joon. 53 f ja g). Selline padi (pneumoplaat) kinnitatakse horisontaalsete sidemetega postidele toetatud jäigale, tavaliselt metallkonstruktsioonis valmistatud põhiliselt survele töötavale kontuurrõngale.

Pneumaatilised ja aerokonstruktsioonid on väga kerged ja kokkupakitult lihtsad transportida. Nende monteerimine ja de-

monteerimine nõuab suhteliselt vähe tööjõudu ja aega. Nad on suure vastupidavusega seismilistele jõududele. Eriti sobivad on nad ajutisteks ehitusteks, nagu näitusepaviljonid, põllumajandussaaduste hoidlad, soojakud mitmesuguste ehituste püstitamisel, ajutised tööstus- ja laohooned jne. Konstruksioonide puuduseks on tuleohtlikkus, kerge vigastatavus ja praegu veel küllaltki kõrge maksumus.



Joon. 54.

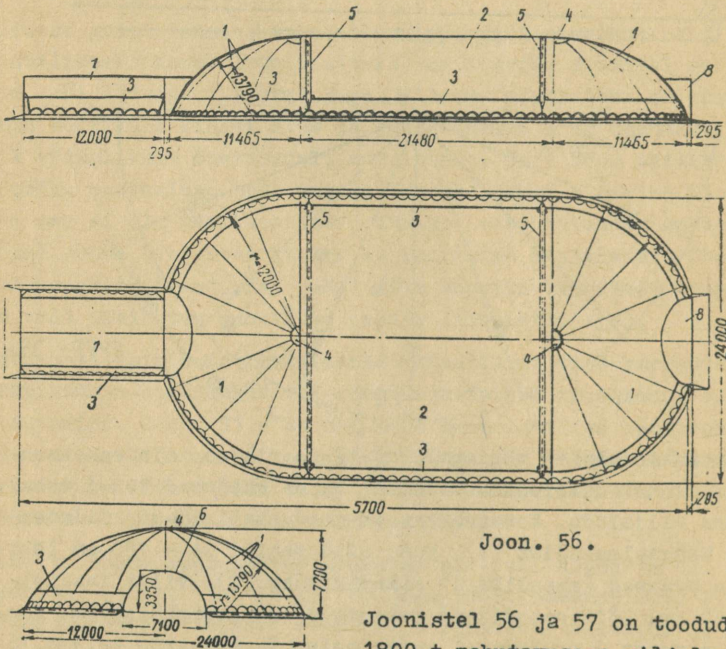
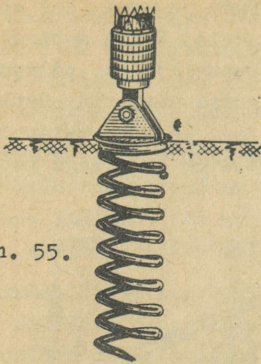
Järgnevas kirjeldame mõningaid ajutiste viljahoidlatena kasutatavaid konstruksioone. Joonisel 54 on näidatud 500-t mahutavusega viljaladu. Konstruksioon moodustati 16-st kiilutao-
 lisest kangaelemendist (1), kuhu olid tehtud 14 - 120-cm läbi-
 mõõduga avauseid (apendiksid) sissekäiguks (3), vilja laadimi-
 seks (4) jm. Kõik appendiksid varustati sulgemiskäistega. Koo-
 rikul on maast 3 m kõrgusel spetsiaalse tugevdusvöö küljes 16
 aasa (7) ankrunõõride (8) kinnitamiseks. Tõmbitsate ankru konst-
 ruksioon on näidatud joonisel 55.

Kanga ühendused algul liimiti, siis õmmeldi ja lõpuks kaeti
 veel liimitud lindiga. Koorik monteeriti 7 t-ga ja demonteeriti

ti 2 t-ga. Vajalik õhusurve saavutati tööstusliku ventilaatoriga (võimsus 200 m³ tunnis).

Konstruksiooni katsetamisel selgus, et pinna paigutuste kasv muutub intensiivsemaks hetkest, mil sisesurve suurus läheneb väliskoormuse intensiivsusele. Koondatud jõu rakenduspunkti paigutused on suured.

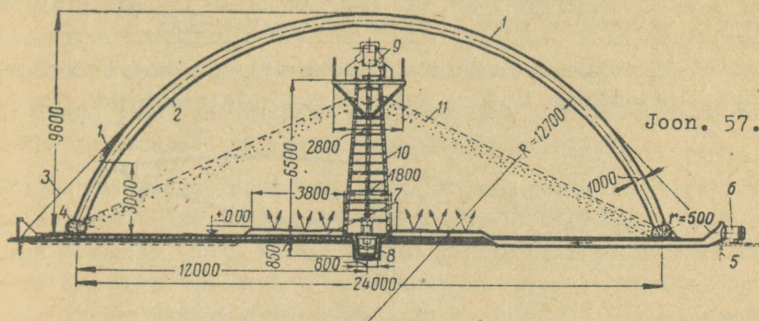
Joon. 55.



Joon. 56.

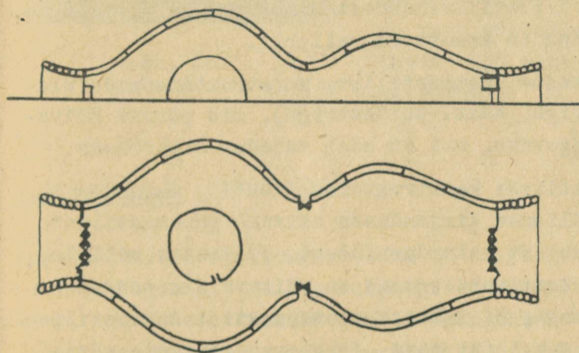
Joonistel 56 ja 57 on toodud 1800-t mahutavusega viljalao konstruktsiooni kaks varianti. Esimese variandi (joon. 56) kohaselt projekteeriti viljaladu pneumaatilise konstruktsioonina sisemise ülesurvega 0,005 atü. Silindriline (2) osa lõpetatakse poolsfääridega (1), kus asuvad ka sisenemislüüas (8) ja

vilja transportimise lüüs (7). Kooriku alumises osas on kangas vööna tugevdatud (3). Silindriline osa ja sfäärilised osad on omavahel ühendatud montaažijätkuga (5).



Joon. 57.

Teise variandi kohaselt (joon. 57) projekteeriti lao konstruksioon 3-m vahedega aerokaartest (2). 0,4 atü sisesurvega aerokaarred toetatakse veega täidetud torule (4). Kaartel lamav piirdekangas pingestatakse tõmbidega (3) ankrute külge. Vilja (11) läbipuhumiseks kasutatakse ventilaatorit (5) ning vilja transportitakse alumise (8) ja metallkonstruksioonile (10) toetatud ülemise transportööriga (9). Teise variandi kohaselt on vilja hoidmise ja laadimise tehnoloogia lihtsam, kuid lao konstruksioon on tunduvalt kallim esimese variandiga võrreldes.

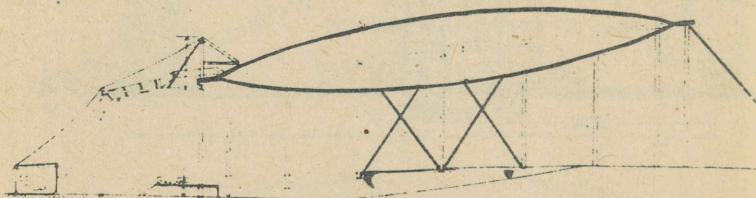


Joon. 58.

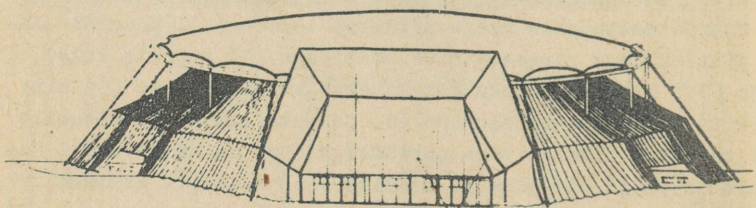
Joonisel 58 on näidatud monteeritava-demonteeritava näitusepaviljoni piki lõige ja plaan. Paviljon kujutab endast kahte ühendatud kuplit üldpikkusega 67 m, suurima laiusega 36,6 m ja

suurima kõrgusega 15,2 m. Kooriku pind moodustati kahest kangast, mis on ribidega osadeks jaotatud. Kahe kanga vaheline ülesurve on 0,0038 atü ja ruumi sisemine ülesurve 0,0046 atü. Sissekäigud mõlemas paviljoni otsas on moodustatud vahetult teineteise kõrvale asetatud aerokaartest.

Joonisel 59 esitatud pneumoplaati kasutati suveteatri katteks. Ehitus, läbimõõduga 43,5 m, mahutab 2000 pealtvaataajat. Pneu-



Joon. 59.



moplaat, maksimaalse paksusega 6,1 m, on kinnitatud metallist torudele toetatud I-profiilraudadest hulknurksele tugirõngale. Katte materjalina on kasutatud nailonit.

Kasutatakse ka väikeste pneumaatiliste konstruktsioonide ülepriitumist polümeeriga (näit. polüestriga), mis pärast kuivamist muudab kile tugevaks, nii et kaob vajadus siserõhuks.

Seoses uue, perspektiivse konstruktsioonitüübi kasutuselevõtmisega leidub välismaa kirjanduses näiteid pneumaatiliste konstruktsioonide uutest rakendusalaadest. Vaatamata sellele, et paljud sellised konstruktsioonid on väikese ökonoomsusega ja reklaami iseloomuga või kaasaja vaatepunktist fantastilised, pakuvad nad siiski tehnilist huvi. Järgnevas vaatleme mõningaid üksikuid näiteid.

Katselisi aerokonstruktsioone ehitatakse üksikutest väikestest elementidest - pneumotellistest, mis kujutavad endast valgust läbilaskvaid või värvilisi kolmnurga kujuga pneumoplaate (küljepikkusega 90 cm ja paksusega 10 cm). Sellised plaadid on sisesurve korral üle 1,4 atm küllalt jäigad. Neid soovitatakse kasutada kuplite, võlvide jt. konstruktsioonides.

Mõningal juhul kasutatakse pneumaatilisi konstruktsioone metall- ja raudbetoonkonstruktsioonide raketistena.

Lõpuks kirjeldame mõnevõrra fantastilist projekti. Nimelt kavatakse katta 1970. aastaks Fort Worth'i 70 000 m²-se pinnaga kesklinn (USA, Texas) kilest kupliga. Linna kupliga kaetava osa ümber asuksid autogaraažid ja seal toimuks ka ringliiklus (kupli alla eraautosid ei lubata). Kuplialuse ruumi õhutamiseks jäetakse katte servad maast kõrgemale ja üles katte keskele tehakse auk. Kupli välispinda puhastaks vihm, kuna kupli sisepind kaetakse spetsiaalse läbipaistva ainega, mis pannakse õusel maa pealt suunatavate elektromagnetiliste lainetega helendama (joon. 60). Kupli pinda kannaksid heeliumiga täidetud balloonid.



Joon. 60.

Märgime veel, et pneumaatilistes konstruktsioonides kasutatav ruumi sisemine ülesurve ei kahjusta inimeste tervist ja seda tavaliselt ei märkagi. Võimalikud vigastused (augud) kooriku pinnas, tänu tema vähesele kaalule, põhjustavad väga aeglaselt arenevaid paigutusi.

4.12. Arvutus

Pneumaatilised konstruktsioonid on eelpingestatud pinnaga konstruktsioonid, milles eelpinge suurus oleneb sisemise ülesurve suurusest. Kooriku naha eelpingekadu põhjustab konstruktsiooni kuju muutumist ja kandevõime vähenemist.

Pneumaatilised konstruktsioonid arvutatakse kahe arvutusliku piir-olukorra järgi: 1) kandevõime ja 2) deformatsioonide piir-olukorra järgi. Peale tavaliste koormuste (omakaal, lumi ja tuul) tuleb arvestada veel ruumi sisemise üle- või alaturvega. Veel on soovitatav arvestada vabalt võetud kooriku punktis rakendatud koondatud jõuks 100 kg (inimene koos tööriistadega).

Kooriku tugevusarvutustega kontrollime koormuste kõige ebasoodsamal kombinatsioonil kanga (kile) maksimaalseid tõmbepingeid δ , mis ei tohi ületada kanga tõmbetugevust nii lõime (R_0) kui ka koe (R_y) suunas, s.o.

$$\delta \leq R_0 (R_y). \quad (26)$$

Pneumaatilise konstruktsiooni üldstabiilsus tagatakse, kui tema pinna üheski punktis ei esine survet või nullpinget, s.o.

$$\delta > 0. \quad (27)$$

Arvutustel koondatud jõule ei tarvitse üldstabiilsust kontrollida.

Teise piirolukorra kohaste arvutuste eesmärgiks on määrata kõige ebasoodsamast normatiivsete koormuste kombinatsioonist maksimaalne läbipaine, mis peab olema selline, et ta ei takistaks kaetava ruumi normaalset eksploateerimist. Arvestades, et koormuse vähenemisel vähenevad ka läbipainded (deformatsioonid on elastsed) ja et antud juhul suured läbipainded (eriti koondatud jõududest) ei iseloomusta lähenevat konstruktsiooni purunemist, siis lubatakse siin teiste ehituskonstruktsioonidega võrreldes tunduvalt suuremaid paigutusi.

Ühtlaselt jaotatud koormusega pneumaatilistes konstruktsioonides lubatakse pingete¹ arvutamisel kasutada klassikalise tugevusõpetuse valemeid (eeldades mittedeformeeruvat ristlõike kontuuri). Pinged silindrilise kooriku moodustajatega risti olevates pindades ja sfäärilise kooriku vabalt võetud pindades on

$$\delta = 0,5 q r \leq R_0 (R_y) \quad (28)$$

¹ Siin mõistame pingete all jõudu kanga ristlõike pikkuse ühikule (dimensiooniga kg/cm).

ja silindrilise kooriku moodustajatega paralleelsetes ristlõigetes

$$\delta = qr \leq R_0 (R_y), \quad (29)$$

kus q - ühtlaselt jaotatud koormus sisemisest ülesurve, tuulekoormusest ja omakaalust. Lumekoormusega ei arvestata, sest see vähendab kanga tõmbepingeid,

r - pinna kõverusraadius.

Kooriku üldstabiilsus tagatakse, kui

$$f \geq q_{\max}, \quad (30)$$

kus ρ - sisemine ülesurve,

q_{\max} - suurim ühtlaselt jaotatud koormus lumest, omakaalust ja tuule surve.

Koondatud koormusest läbipainete orienteeruvaks arvutamiseks võib kasutada valemit:

$$f = \frac{3P}{5\rho r}, \quad (31)$$

kus P - koondatud jõud kg,

ρ - sisemine ülesurve kg/m^2 ,

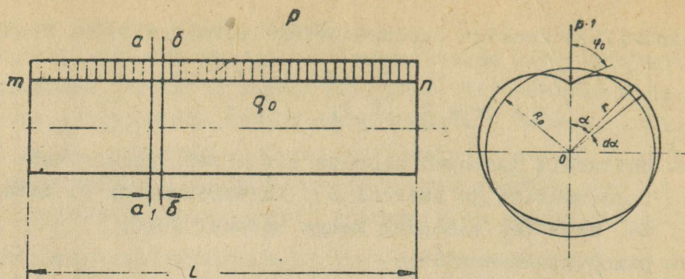
f - läbipaine m,

r - konstruktsiooni pinna kõverusraadius.

Koondatud koormustega koormatud koorikute paigutuste arvutamiseks esitame G. A. Genjevi valemid, kus eeldatakse, et koormamisel on konstruktsiooni mahumuutused tühised, et võib loobuda sisesurve muutuste arvestamisest ja et konstruktsioonimaterjal ei veni.

Aerotala ristlõike kontuuri deformatsioonid joonkoormusest p (joon. 61) määratakse eeldusel, et joonel mn painde-survepinged δ_p ei ületa samas sisesurvest põhjustatud tõmmet δ_0 .

$$|\delta_p| < \delta_0. \quad (32)$$



Joon. 61.

Peatumata diferentsiaalvõrrandi tuletamisel ja lahendamisel, esitame projekteerijat enam huvitava suuruse R_0 -r kohal $\alpha = 0$ (tähistused vaata joon. 61), s.o.

$$W(0) = \frac{P}{\pi q_0} \quad (33)$$

Kui $L = 500$ cm, $R_0 = 50$ cm, $t = 0,5$ cm, $q_0 = 1$ kg/cm² ja $p = 500$ kg/m, siis valemi (28) kohaselt

$$\delta_0 = \frac{q_0 R_0}{2t} = \frac{1 \cdot 50}{2 \cdot 0,5} = 50 \text{ kg/cm}^2;$$

$$|\delta_p| = \frac{pL^2}{8\pi R_0^2 t} = \frac{5 \cdot 500^2}{8 \cdot 3,14 \cdot 50^2 \cdot 0,5} = 40 \text{ kg/cm}^2,$$

millega on rahuldatud tingimus (32). Valemi (33) järgi

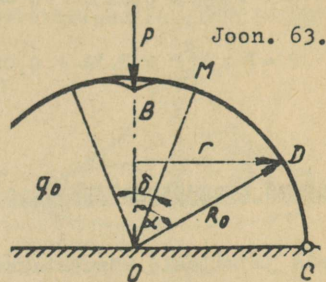
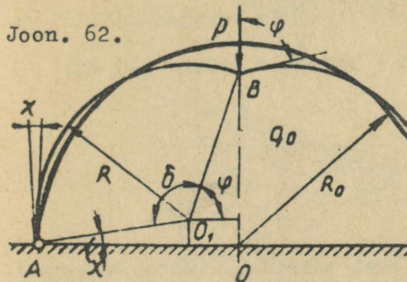
$$W(0) = \frac{5}{3,14 \cdot 1} = 1,6 \text{ cm}.$$

Kui arvestada ka konstruktsioonimaterjali deformatsioone, siis koosneb aerotala üldine paigutus valemiga (33) antud paigutusest ja tugevusõpetuse valemitega arvutatavatest paigutustest (eeldusel, kui ristlõike kontuur ei deformeeru). Aerotalade juures on tavaliselt rahuldatud tingimus $t \ll D$, mispuhul $F = \pi D t$, $I = (\pi D^3 t) : 8 \approx 0,3926 D^3 t$, $W = (\pi D^2 t) : 4 \approx 0,7853 D^2 t$. Meie näites, kui $E = 10^4$ kg/cm² ja $I = 1,9 \cdot 10^5$ cm⁴, on

$$f_1 = \frac{5}{384} \frac{5 \cdot 500^4}{1,9 \cdot 10^5 \cdot 10^4} = 4 \text{ cm};$$

$$f = W(0) + f_1 = 5,6 \text{ cm.}$$

Silindrilise kooriku korral (joon. 62) suurusi $\rho = R : R_0$,



φ ja x määravad valemid:

$$\rho \cos \varphi = \frac{\pi}{2} \psi; \quad (34)$$

$$\rho \cos x = 1 - \frac{\pi}{2} \psi; \quad (35)$$

$$\rho(\pi - \varphi + x) = \frac{\pi}{2}. \quad (36)$$

Maksimaalne radikaalne paigutus kooriku harjas arvutatakse valemiga (eeldusel, et $\psi \ll 1$)

$$W = R_0 \frac{\pi}{2} \psi, \quad (37)$$

kus
$$\psi = \frac{p}{\pi q_0 R_0}.$$

Suuruste $q_0 = 0,01 \text{ kg/cm}^2$, $p = 100 \text{ kg/m}$ ja $R = 10 \text{ m}$ puhul on

$$\psi = \frac{1}{3,14 \cdot 0,01 \cdot 1000} = 0,032;$$

$$W = 1000 \frac{3,14}{2} \cdot 0,032 = 50 \text{ cm.}$$

Telgsümmeetriliselt koormatud poolsfääri (joon. 63) puhul on koondatud jõu rakenduspunkti paigutus

$$W \approx 1,865 R_0 F, \quad (38)$$

kus
$$F = \frac{P}{\pi q_0 R_0^2}.$$

Kui $R = 20$ m ja $q_0 = 0,002$ kg/cm², siis näiteks põhjustaks 50 cm paigutuse jõud

$$\frac{W}{R_0} = \frac{50}{2000} = 0,025; \quad \psi = \frac{0,025}{1,865} = 0,0134;$$

$$P = \pi q_0 R_0^2 \psi = 3,14 \cdot 0,002 \cdot 2000^2 \cdot 0,0134 = 340 \text{ kg.}$$

4.2. Muud kangaskonstruksioonid

Kangaid ja kilesid kasutatakse veel telkide, elastsete mahutite jne. konstruksioonides.

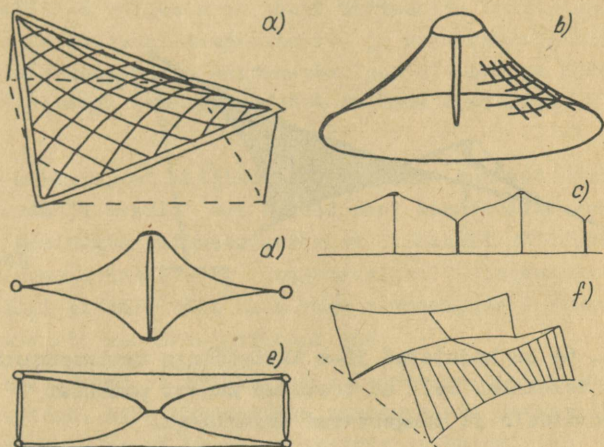
Tänapäeval kasutatavates konstruksioonides, erinevalt traditsioonilistest, on telgi pind (kangas) eelpingestatud. Materjalina kasutatakse tavalisi või võrkudega tugevdatud läbipaistvaid või värvuseta kilesid ja naturaalseid või sünteetilisi kangaid. Sageli moodustatakse telgi kandev pind naturaals-, sünteetilisest või mineraalkiudainetest valmistatud võrgust (tavaliselt võrgu silma mõõtmed kuni 200 mm). Kasutatakse ka 0,5 - 5-mm terastraadist võrke. Terase korrosioonikindlus tagatakse kas tsinkimisega või plastmassidega (eelkõige polüvinüülkloriid) katmisega. Pärast võrgu kohalemonteerimist kaetakse ta näiteks plastmassiga, mispuhul saadakse pidev kattematerjal. Telgi pinda on võimalik katta ka soojaisolatsiooni materjaliga.

Suurte avade katmiseks tuleks kasutada kandvas pinnakonstruksioonis jämedat võrku (võrgu ruudustiku küljepikkus 200 - 2000 mm). Võrk valmistatakse naturaals-, sünteetilisest või mineraalkiududest punutud nõõridest ($\varnothing 6 - 20$ mm), mis ristumiskohtadel sõlmitakse või liimitakse. Terastraadist võrgu valmistamisel kinnitatakse traatide ristumiskohad klambritega. Samuti ühendatakse üksikud montaažiüksused omavahel klambritega. Võrgust moodustatud telgi kandev pind kaetakse vajaduse korral peenema võrguga ja see omakorda kanga või kilega.

Üksikult paigaldatavate trosside kasutamine (üksiku trossi

väiksema kaalu tõttu on montaaž lihtsam) viib juba tüüpilise rippkonstruktsiooni juurde.

Telgi eelpingestatud kandvat pinda kujundatakse väga mitmeti. Joon. 64 on näidatud mõningad konstruktsioonide põhielemendid.

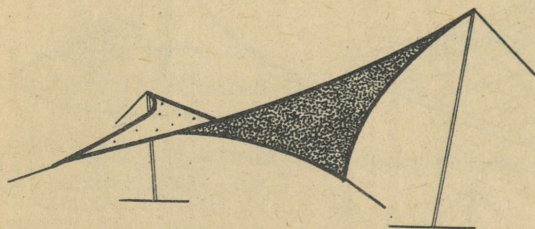


Joon. 64.

Ilmselt on tasapinnalisel membraanil temale risti mõjuvate koormuste korral suuri paigutusi. Kui aga membraari (telgi pind) pingestada mittetasapinnalises kontuurraamis (joon. 64 a), on tema pinna paigutused ükskõik mis suunas mõjuval koormusel tunduvalt väiksemad. Selliste sadulpindade (nad on lähedased hüperboolsetele paraboloididele) kahes risti olevas suunas paiknevad kõverusraadiused on sihitud pinna erinevatele pooltele ja koormamisel töötab pind nõrgas suunas tõmbele ning kumeras suunas eeltõmbe ulatuses ka survele.

Traditsiooniline posttoetusega telgi kuju on esitatud joon. 64 b. Kujutatud pinda eelpingestatakse postide vahele asetatud tõmbidega (joon. 64 c on toodud lõige), mida kasutatakse samal ajal vihmavee ärajuhtimiseks. Telgi pinda pingestatakse ka kahe kontuurile kinnitatud membraani laialisurumisega (joon. 64d) või kokkutõmbamisega (joon. 64 e). Näide laineliselt pingestatud telgipinnast on toodud joon. 64 f. Nõrgus tross on telgiriide all ja kumer telgiriide peal.

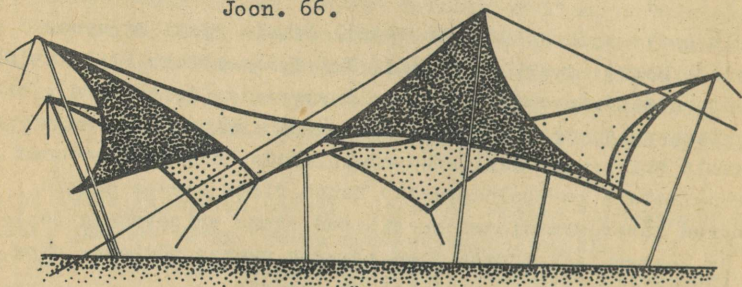
Laialdaselt kasutatavad sadulpindadega telgid toetatakse kahest nurgast kergetele postidele ja pingestatakse neljast nurgast tõmbidega (joon. 65), kusjuures telgi pinna sümmeetriliselt asetsevad nurgad võivad olla erinevatel kõrgustel. Selliseid konstruktsioone kasutatakse avadele kuni 20 m.



Joon. 65.

Joon. 66 on kujutatud 32-m läbimõõduga tantsupõranda tähekuju-line telkkate. Telk on toetatud kuuest punktist 11 m kõrgustele postidele ja pingestatud trossidega.

Joon. 66.



Viimase näitena kirjeldame joon. 64 d toodud skeemi kohaselt Uus-Dehliis ehitatud tööstusnäituse paviljoni konstruktsiooni. Ehituse karkassina kasutati 10-m vahedega terastorudest (\varnothing 120 mm) poste, mis olid omavahel kahes ristiolevas suunas ühendatud samast materjalist riividega. Postidevahelised tuulisedemad konstrueeriti ristuvatest tõmbidest. Ülemiste riivi-

de vahele kinnitati kaks kontuuril kokkuõmmeldud kangast, mis suruti keskelt teleskoop-postidega üksteisest eemale. Telgipinda tugevdati postide vahele diagonaalselt tõmmatud trossidega. Nii moodustasid telgi pinna kaks püramiidi. Püramiidide tihemik annab kaetavale ruumile teatud soojaisolatsiooni ja temasse asetatud valgusallikad valgustavad ruumi ühtlaselt. Telgipinna konstantse pinge muutuval temperatuuri- ja niiskuseražiimil garanteerib teleskoop-post. Näitusepaviljon üldpinnaga 2500 m² monteeriti 18 päevaga (sellest vajati telkide montaažiks 9 päeva).

Lõpuks tuleb märkida, et eelpingestatud telgid lubavad katta tunduvalt suuremaid avasid kui teised seni kasutatavad konstruktsioonid. Mõningate autorite uurimuste kohaselt võidakse telkidega katta avasid kuni 10 km (majanduslikult põhjendatud kuni 4 km). Telgi pinnale võib anda väga mitmesuguseid omadusi, nagu läbipaistvust, soojaisolatsiooni jne.

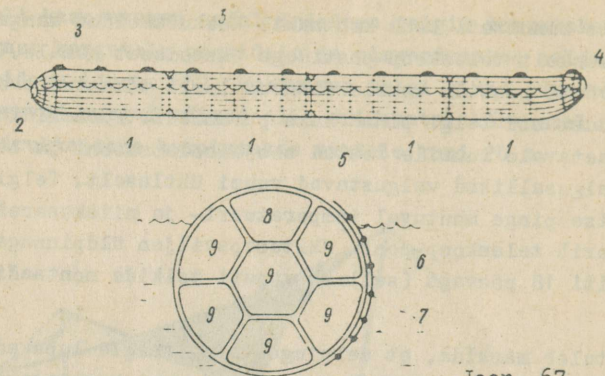
Kummeeritud kangastest ja armeeritud kiledest valmistatakse ka elastseid mahuteid, mida kasutatakse mitmesuguste materjalide (peamiselt naftasaadused) transportimiseks ja hoidmiseks nii vees kui ka kuival.

Vaatamata sellele, et ujuvad elastsed mahutid ei ole veel väljunud eksperimentide staadiumist, leidub kirjanduses väga suurte konstruktsioonide (mahutavusega kuni 20 000 t) projekte. Suurimad teada olevad eksperimentaalsed konstruktsioonid on siiski ainult mahutavusega kuni 200 m³.

Ujuv mahuti kujutab endast pikka toru, mille mõlemas otsas on spetsiaalne pea, seadmed mahuti pukseerimiseks ning täis- ja tühjakslaadimiseks. Et mahuti ujuks, peab täitematerjal olema veest kergem. Olenevalt täitematerjalist on mahuti veepealne maht 8 - 30% kogumahust.

Paljudest ettepanekutest esitame näitena joon. 67 toodud konstruktsiooni, kus: 1 - pikiasetatud kangad, 2 - otsalapp, 3 - laadimiseseadmed, 4 - mahuti nina, 5 - välimine koorik, 6 ja 7 - trossidest võrk, 8 - õhuruum, 9 - täide.

Teatud kriitilise kiiruse ületamisel hakkavad ujuvad mahutid horisontaalses pinnas looklema. Kriitilist kiirust tõstetakse



Joon. 67.

täiendavate takistuste - stabilisaatorite abil (näit. voolikud ümber mahuti).

Projekteerimisel täiendavalt tavalistele koormustele tuleb arvestada ka võnkuva täitematerjaliga.

Veealused elastsed mahutid on kas ümardatud otstega silindri- või padjakujulised, mis kinnitatakse mere põhja kas ankrutega või spetsiaalsete metallkonstruktsioonidega. Mahutite suurus kuni 200 m^3 . Voolik mahuti tühjendamiseks on trossi abil ühendatud veepinnal oleva boileriga. Mahuti tühjakslaadimine toimub välisvee suurema surve toimel. Maapinnal hoidmiseks või transportimiseks määratud elastsed mahutid kujundatakse kas ühes suunas väljavenitatud padja- või lõõtsataolistena mahutavusega kuni 50 m^3 .

Elastsete mahutite eeliseks on vähene kaal, kokkupakitult väike maht, lihtne konstruktsioon ja suhteliselt odav hind.

Kangaskonstruktsioone kasutatakse ka hüdrotehnilistes ehitustes. Näiteks kasutati ajutise jõetamina Los Angelesis (USA) jõe põhja kinnitatud ja suruõhu all olevat suure läbimõõduga nailontoru. Õhu väljalaskmisel torust taastatakse jõe normaalne säng.

Lisas toodud tabelite lahtris "a" antakse väikeste katsekehadega lühiajalisel koormusel määratud materjalide normatiivne tugevus. Tabelite lahtris "b" antakse normatiivne tugevus kestval koormusel. Kuumuse ja niiskuse eest kaitstud materjalide arvutuslik tugevus (põhiline) saadakse normatiivset tugevust vastava materjali ühtlusteguriga korrutades.

Elastsus- ja nihkemoodulid tabelite lahtris "a" kehtivad lühiajalisel koormamisel ja tabelite lahtris "b" kestval koormamisel.

Kõrgel temperatuuril või suures niiskuses töötava materjali arvutuslikud tugevused saadakse põhilise arvutusliku tugevuse korrutamisel vastavate teguritega. Kõrge temperatuuri ja niiskuse mõjuga arvestatakse ainult siis, kui nad mõjuvad pikema aja vältel. Materjali tugevust vähendava mitme tingimuse üheaegsel esinemisel tuleb põhiline arvutuslik tugevus korrutada kõikide vastavate teguritega. Toodu kehtib ka elastsus- ja nihkemooduli määramise kohta.

5.1. Klaasplastikud

Mahukaal võetakse: 1) I grupi klaasplastikud - 1900 kg/m^3 ;
 2) II grupi klaasplastikud - 1400 kg/m^3 ; 3) III grupi klaasplastikud - 1400 kg/m^3 ; 4) klaastekstoliit - 1850 kg/m^3 .

Tabel

Klaasplastikute normatiivsed ja arvutuslikud tugevused kg/cm²

Pingeolukord	Tä- his- tus	Klaasplastik								Klaastekstoliit			
		I grupp				II grupp				KACT-B ja KACT $\delta \leq 1,5$ mm		KACT-B $s \geq \delta \geq 2$ mm	
		CBAM		AT-4C		a		b		a		b	
		a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b
Tõmme	R_p^4	4500	2700	2000	1200	600	250	450	230	2700	1700	2350	1500
Paine	R_u^H	7000	4200	2000	1200	1300	250	450	230	1400	900	1200	750
Surve	R_c^H	4000	2400	1300	800	900	250	450	230	1100	700	950	600
Nihe	R_{cp}^H	1500	950	750	400	450	150	300	150	800	500	700	450
Tõmme	R_p		1600		900		150		140		1300		1100
Paine	R_u		2500		900		150		140		700		550
Surve	R_c		1400		600		150		140		550		450
Nihe	R_{cp}		550		300		90		90		350		300

M ä r k u s e d . 1. Klaasplastikute arvutuslik ja normatiivne tugevus vastab p. 1.3 kirjeldatud materjali koostisele. Siin II grupi klaasplastikute klaasihulk võeti 20% ja CBAM-il 65%.

2. Arvutuslikud tugevused vastavad: a) I grupi klaasplastikutel - piki- ja põiksuunaliste kiudude suhtele 1:1 (jõu mõjumisel kiudude suunas); b) III grupi klaasplastikutel - jõu mõjumisel kiudude enamuse suunas; klaastekstoliitidel - jõu mõjumisel lõime suunas.

3. Leelisklaasi kasutamisel arvutuslikke tugevusi vähendatakse teguri 0,8 võrra.

Tabel 2

Klaasplastikute ühtlustegurid

Pingeolukord	Klaasplastikud	
	АГ-4С; KACT-B; KACT	II ja III grupp; CBAM
Tõmme, paine, surve, nihe	0,75	0,6

Tabel 3

Klaasplastikute elastsusmoodul E, Poissoni tegur ja temperatuuri joonpaisumise tegur C

Füüsika- line suurus	Klaasplastikud								Klaasteksto- liit KACT; KACT-B		
	I grupp		II grupp		III grupp		a	b	a	b	
		a	b	a	b	a					b
E kg/cm ²	CBAM	2,85·10 ⁵	2,4·10 ⁵								
	АГ-4С	1,8·10 ⁵	1,5·10 ⁵	0,6·10 ⁵	0,3·10 ⁵	0,7·10 ⁵	0,35·10 ⁵	2,4·10 ⁵	1,9·10 ⁵		
μ		0,13		0,40		0,40		0,15			
C 1/kraa- di		0,000005		0,000015		0,000015		0,000006			

Tabel 4

Klaasplastiku arvutusliku tugevuse ja elastsusmoo-
duli väärtusi määrav tegur, olenevalt klaaskiudude hulgast

II grupi klaasplastik	Klaaskiudude mahu %					
	20	30	40	45	50	55
Teguri väärtused	1	1,6	2	2,3	2,5	2,6

M ä r k u s . Teguri väärtused vahepealsete klaaskiudude hulga puhul määratakse interpoleerimise teel.

Tabel 5

Kuumas keskkonnas töötavate konstruktsioonide klaasplastiku arvutusliku tugevuse ja elastsusmooduli vähendamise tegurid

Konstruktsiooni ekspluateerimise tingimus	Side- aine	Tõmme			Paine, surve, nihe		
		Temperatuur °C					
		25	40	80	25	40	80
Kestvalt mõjuv temperatuur	Polüefiir	1	0,6	-	1	0,4	-
	Fenool- formaldehyd.	1	0,9	0,7	1	0,8	0,6

Tabel 6

Niiskes keskkonnas töötavate konstruktsioonide klaasplastiku arvutusliku tugevuse ja elastsusmooduli vähendamise tegurid

Konstruktsiooni ekspluateerimise tingimus	Side- aine	Tõmme, paine		Surve, nihe	
		I grupp kl.- tekstol	II ja III grupp	I grupp kl.- tekstol	II ja III grupp
		Lühiajaline märgu- mine sellele järg- neva loomuliku kuivamisega	Polüefiir	0,8	0,8
Fenool- formaldehyd.	0,9		0,8	0,9	0,7
Kestev märgumine	sama	0,6	0,6	0,5	0,5
		0,7	0,6	0,6	0,5

M ä r k u s. Klaasplastikust konstruktsioon välitingimustes loetakse lühiajaliselt märguvaks.

5.2. Orgaaniline klaas

Orgaanilise klaasi mahukaal 1200 kg/m^3 .

Tabel 7

Orgaanilise klaasi normatiivsed ja arvutuslikud tugevused kg/cm^2 ning ühtlustegurid k

Pinge- olukord	Tähis- tus	Normat. tugevus		Tähis- tus	Arvutusl. tugevus	k
		a	b			
Tõmme	R_p^H	550	200	R_p	150	0,75
Paine	R_u^H	1000	330	R_u	250	0,75
Surve	R_c^H	800	250	R_c	200	0,8
Nihe	R_{cp}^H	600	200	R_{cp}	140	0,7

Lühiajalisel koormamisel väikeste katsekehadega määramisel on orgaanilise klaasi $E = 28\ 000 \text{ kg/cm}^2$, normaalse temperatuuriniiskuse korral kestval koormamisel $E = 14\ 000 \text{ kg/cm}^2$.

Tabel 8

Kuumas keskkonnas töötavate konstruktsioonide orgaanilise klaasi arvutusliku tugevuse ja elastsusmoduli vähendamise tegurid

Temperatuur $^{\circ}\text{C}$	Arvut. tugevus pingeolukorral			Elastsus- modul
	tõmme	paine, nihe	surve	
-60	1,45	1,65	2,6	1,8
-40	1,35	1,55	2,2	1,6
-30				1,5
-20	1,3	1,4	1,8	1,4
-10				1,3
0	1,2	1,2	1,4	1,2
+10				1,15
+20	1	1	1	1
+30				0,85
+40	0,7	0,85	0,7	0,75
+50				0,7
+60	0,4	0,55	0,4	

Tabel 9

Niiskes keskkonnas töötavate konstruktsioonide orgaanilise klaasi arvutusliku tugevuse vähendamise tegurid

Pingeolukord	Tegur
Tõmme	0,8
Paine	0,9
Surve	0,75
Nihe	0,75

5.3. Vinüplastid (jäigad)

Vinüplasti mahukaal 1400 kg/m^3 .

Tabel 10

Vinüplasti normatiivsed ja arvutuslikud tugevused kg/cm^2 ja ühtlustegurid k

Pingeolukord	Tähis-	Normat. tugevus		Tähis-	Arvut. tugevus	k
		a	b			
Tõmme	R_p^H	550	200	R_p	130	0,65
Paine	R_u^H	850	240	R_u	180	0,75
Surve	R_c^H	750	200	R_c	140	0,7
Nihe	R_{cp}^H	400	120	R_{cp}	85	0,7

Tabel 11

Kuumas keskkonnas töötavate konstruktsioonide vinüplasti arvutusliku tugevuse ja elastsusmooduli vähendamise tegurid

Temperatuur $^{\circ}\text{C}$	Arvut. tugevus			Elastsusmoodul		
	tõmme, surve	aine, nihe	nihe	tõmme, surve	aine, nihe	nihe
+20	1	1	1	1	1	1
+40	0,5	0,55	0,55	0,55	0,65	0,6
+60	0,25	0,3	0,45	0,45	0,55	0,45

Tabel 12

Niiskes keskkonnas kestvalt töötavate konstruktsioonide vinüplasti arvutusliku tugevuse vähendamise tegurid

Pingeolukord	Tegur
Tõmme, surve, nihe	0,9
Paine	0,95

Lühiajalisel koormamisel väikeste katsekehadega määratud vintiplasti $E = 28\ 000\ \text{kg/cm}^2$, normaalse temperatuuri-niiskuse korral kestval koormamisel aga $E = 16\ 000\ \text{kg/cm}^2$.

5.4. Kihilised puitplastid (ДСП)

Kihiliste puitplastide mahukaal markidel ДСП-Б ja ДСП-В plaadi paksuse korral 15 - 60 mm on $1300\ \text{kg/m}^3$ ja margil ДСП-В plaadi paksuse korral 3 - 12 mm - $1250\ \text{kg/m}^3$. Materjali ühtlustegur on 0,75.

Tabel 13

Kihiliste puitplastide normatiivsed tugevused
 kg/cm^2

Pingeolukord	Tähistus	Mark ДСП					
		ДСП-Б $\delta = 15-60\ \text{mm}$		ДСП-В $\delta = 15-60\ \text{mm}$		ДСП-В $\delta = 3-12\ \text{mm}$	
		a	b	a	b	a	b
Tõmme piki kiude	R_p^H	2200	1460	1100	600	1400	750
Paine	R_u^H	2600	1750	1500	800	1900	1020
Surve piki kiude	R_c^H	1550	1070	1200	630	1500	800
Nihe piki kiude	R_{cp}^H	140	95	130	90	165	110

Tabel 14

Kihiliste puitplastide arvutuslikud tugevused kg/cm^2

Pinge- olukord	Tähis- tus	Mark ДСП		
		ДСП-Б	ДСП-В	ДСП-В
		$\delta = 15 - 60 \text{ mm}$		$\delta = 3 - 12 \text{ mm}$
Tõmme piki kiude	R_p	1090	450	560
Paine	R_u	1300	600	760
Surve piki kiude	R_c	800	470	600
Nihe piki kiude	R_{cp}	70	70	80

Lühiajalisel koormamisel väikeste katsekehadega määratud elastsusmoodul margil ДСП-Б on $300\,000 \text{ kg/cm}^2$ ja margil ДСП-В - $180\,000 \text{ kg/cm}^2$. Elastsusmooduli väärtused kestval koormamisel normaalse temperatuuri-niiskuse korral margil ДСП-Б on $150\,000 \text{ kg/cm}^2$ ja margil ДСП-В - $70\,000 \text{ kg/cm}^2$.

Tabel 15

Kuumas keskkonnas töötavate konstruktsioonide kihilise
puitplasti arvutusliku tugevuse ja elastsusmooduli
vähendamise tegurid

Temperatuur $^{\circ}\text{C}$	Arvut. tugevus		Elastsusmoodul	
	tõmme, paine, surve		ДСП-Б	ДСП-В
	ДСП-Б	ДСП-В		
+ 20	1	1	1	1
+ 50	0,74	0,94	0,67	0,65
+ 100	0,66	0,88	0,48	0,42

5.5. Puitkiudplaadid

Ülikõvade plaatide mahukaal peab olema vähemalt 950 kg/m^3 ja kõvade plaatide mahukaal vähemalt 850 kg/m^3 . Materjali ühtlus-
tegur 0,6.

Tabel 16

Puitkiudplaatide normatiivsed ja arvutuslikud tugevused
kg/cm²

Pinge- olu- kord	Tä- his- tus	Plaadi tüüp				Tä- his- tus	Plaadi tüüp	
		ülikõva		kõva			üli- kõva	kõva
		a	b	a	b			
Tõmme	R _p ^H	250	100	200	80	R _p	60	50
Paine	R _u ^H	500	175	400	160	R _u	100	100
Surve	R _c ^H	250	100	200	80	R _c	60	50
Nihe	R _{cp} ^H	200	80	150	60	R _{cp}	50	35

Tabel 17

Puitkiudplaatide elastsus- ja nihkemoodul kg/cm²

Nimetus	Tä- his- tus	Plaadi mark			
		ülikõva		kõva	
		a	b	a	b
Elastsusmoodul	E	50 000	12 500	30 000	7 500
Nihkemoodul	G	20 000	5 000	14 000	3 500

Pidevalt niiskes õhus (suhteline niiskuskus 90%) töötavate konstruktsioonide puitkiudplaatide arvutuslikku tugevust ja elastsus- ning nihkemoodulit vähendatakse teguriga : 1) ülikõva plaat - 0,5 ja 2) kõva plaat - 0,4.

5.6. Puitlaastplaadid

Konstruktsioonides kasutatavate puitlaastplaatide mahukaal on 650 - 850 kg/m³ ja ühtlustegur 0,6.

Tabel 18

Puitlaastplaatide normatiivsed tugevused kg/cm²

Pinge- olukord	Tähis- tus	δ = 650		δ = 750		δ = 850	
		a	b	a	b	a	b
Tõmme	R _p ^H	80	30	96	36	104	39
		88	33	104	39	120	45
Paine	R _u ^H	100	30	120	36	130	39
		110	33	130	39	150	45
Surve	R _c ^H	100	40	120	48	130	52
		110	44	130	52	150	60

M ä r k u s . Joone peal olevad suurused vastavad voorderdamata ja joone all olevad suurused voorderdatud plaatidele.

Tabel 19

Puitlaastplaatide arvutuslikud tugevused kg/cm^2

Pinge- olukord	Tä- his- tus	Plaadi tüüp					
		voorderdamata			voorderdatud		
		$\delta = 650$	$\delta = 750$	$\delta = 850$	$\delta = 650$	$\delta = 750$	$\delta = 850$
Tõmme	R_p	18	22	23	20	23	27
Paine	R_u	18	22	23	20	23	27
Surve	R_c	30	36	39	33	39	45

Lühiajalisel koormamisel väikeste katsekehadega määratud elastsusmoodul on $20\,000\text{ kg/cm}^2$, kestval koormamisel normaalse temperatuuri-niiskuse korral paindel 4000 kg/cm^2 ja tõmbel ning survel 8000 kg/cm^2 .

Pidevalt niiskes õhus (suhteline niiskus 90%) töötavate konstruktsioonide puitlaastplaatide arvutuslikku tugevust ja elastsusmooduli väärtust vähendatakse teguriga 0,7.

5.7. Vahtplastid

Vahtplastide (mahukaaluga 40 kuni 100 kg/m^3) ühtlustegur on 0,7.

Tabel 20

Vahtplastide normatiivsed ja arvutuslikud tugevused kg/cm^2

Pinge- olukord	Tä- his- tus	Normatiivne tugevus						Tä- his- tus	Arvut. tugevus		
		mahukaal $\delta\text{ kg/m}^3$							mahukaal		
		40		60		100			$\delta\text{ kg/m}^3$		
		a	b	a	b	a	b		40	60-80	100
Surve	R_c^H	2	0,7	5	1,5	9	2,5	R_c	0,5	1	1,7
Nihe	R_{cp}^H	2	0,7	4	1,3	7	2	R_{cp}	0,5	0,9	1,4
Tõmme	R_p^H	4	1,2	10	3	15	4,5	R_p	0,8	2	2,2

Tabel 21

Vahtplastide elastsus- ja nihkemoodulid kg/cm^2

Pinge- olukord	Tä- his- tus	Mahukaal kg/m^3					
		40		60 - 80		100	
		a	b	a	b	a	b
Surve, tõmme	E	120	40	300	100	600	200
Nihe	G	80	40	150	75	220	110

M ä r k u s . Surveta meetodil valmistatud vahtpolüstürooli puhul vähendada elastsus- ja nihkemoodulit teguriga 0,6.

Tabel 22

Kuumas keskkonnas töötavate konstruktsioonide vaht-
plasti arvutusliku tugevuse ja elastsus- ning nihkemoo-
duli vähendamise tegurid

Temperatuur $^{\circ}\text{C}$	Surve, nihe, tõmme	Elastsus- ja nihke- moodul
+ 20	1	1
+ 40	0,75	0,8
+ 60	0,5	0,6

5.8. Kärgeplastid

Puitkiudplaatidest kärgeplastidega paneelide arvutamisel kohalikule koormusele vähendatakse tabelis 16 toodud arvutuslikke survetugevusi tabelis 23 toodud teguritega.

Paberist ja riidest kärgeplastide ühtlustegur on 0,7.

Tabel 23

Puitkiudplaatidest kargplasti arvutusliku survetugevuse vähendamise tegurid

Kõrgus mm	K ä r j e m õ õ t m e d m m										
	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600
100	0,5	0,385	0,32	0,265	0,245	0,235	0,23	0,22	0,215	0,212	0,21
150	0,355	0,29	0,245	0,215	0,2	0,19	0,185	0,175	0,172	0,17	0,165
200	0,25	0,215	0,195	0,17	0,155	0,145	0,14	0,135	0,13	0,125	0,115
250	0,205	0,155	0,13	0,117	0,11	0,107	0,105	-	-	-	-
300	0,16	0,125	0,106	0,08	0,075	0,072	0,07	-	-	-	-
350	0,12	0,105	0,095	0,078	0,072	0,07	0,067	-	-	-	-

102

Tabel 24

Kargplastide normatiivsed ja arvutuslikud tugevused kg/cm²

Pingeolukord	Tg- his- tus	Normatiivne tugevus kg/cm ²						Tg- his- tus	Arvut. tugevus		
		kargplasti materjal							kargplasti materjal		
		puuvillriie		jõupaber		isoleerpaber			puuvill- riie	jõu- paber	isoleer- paber
		a	b	a	b	a	b				
Surve kargplasti suunas	R _c ^H	40	10	10	2,5	3	0,7	R _c	7	1,7	0,5
Nihe risti kargplastiga	R _{cp} ^H	18	4,5	6	1,5	0,7	0,57	R _{cp}	3,1	1	0,12

Tabel 25

Kärgplastide elastsus- ja nihkemoodul kg/cm^2

Pingeolukord	Tähistus	Kärgplasti materjal					
		puuvillriie		jõupaber		isoleerpaber	
		a	b	a	b	a	b
Surve kärgplasti suunas	E	1000	800	450	360	160	130
Nihe risti kärgplastiga	G	450	360	140	110	110	90

M ä r k u s . Tabelis toodud suurused kehtivad juhul, kui kärgplasti mahukaalud ei ole väiksemad järgnevas toodud suurustest.

Kärgplastide mahukaal võetakse: 1) puuvillriidest kärgplastid - 140 kg/m^3 ; 2) jõupaberist kärgplastid - 90 kg/m^3 ; 3) isoleerpaberist kärgplastid - 30 kg/m^3 .

Kestvalt niiskes õhus (niiskuse 90%) töötavate konstruktsioonide jõu- ja isoleerpaberist kärgplastide arvutuslikke tugevusi vähendatakse teguriga 0,5 ja elastsus- ning nihkemooduleid (lahter "b") teguriga 0,6.

5.9. Asbesttsement

Asbesttsemendi mahukaal peab olema vähemalt 1700 kg/m^3 .

Tabel 26

Asbesttsemendi arvutuslikud tugevused kg/cm^2

Pingeolukord	Tähistus	Arvut. tugevus
Tõmme piki lehte	R_p	32
Paine piki lehte	R_u	75
Surve	R_c	80
Nihe piki nihestuste pinda	R_{ep}	20
Nihe risti nihestuste pinnaga	R_{cp}	60

M ä r k u s . Asbesttsemendi arvutuslik tõmbe- ja paindetugevus risti lehega saadakse tabelist 26 vastavate suuruste korrutamisel teguriga 0,8.

Asbesttsemendi arvutuslik elastsusmoodul $E = 100000 \text{ kg/cm}^2$, nihkemoodul $G = 40000 \text{ kg/cm}^2$, Poissoni tegur $\mu = 0,14$.

5.10. Alumiinium

Alumiiniumist konstruktsioonielemente arvutatakse ja konstrueeritakse kooskõlas normidega "Alumiiniumisulamitest konstruktsioonide projekteerimise tehnilised tingimused" (CH 113-60).

Tabel 27

Deformeeruvate alumiiniumisulamite arvutuslikud tugevused kg/cm^2

Pinge- olukord	Tä- his- tus	Sulami mark ja töötlus							
		Termiliselt tugevdatud						Termil. tugevdamata	
		AM_{II}		AM_{T}		AM_{T6}	AM_{T6I}		
		AM_{II-M}	AM_{II-T}	AM_{T-M}	AM_{T-T}	AM_{T6-M}	AM_{T6I-M}	$AB-T$	AM_{3I-T}
Tõmme, surve, paine	R	500	1000	700	1400	1400	1800	1100	850
Nihe	R_{cp}	300	600	400	800	800	1050	650	500

M ä r k u s . Tabelis toodud arvutuslikud tugevused vastavad konstruktsiooni tööle temperatuuril -50 kuni $+50^{\circ}\text{C}$; temperatuuril $+50$ kuni $+100^{\circ}\text{C}$ arvutuslikke tugevusi korrutatakse teguriga: sulamid AM_{II} - 0,8; sulamid AM_{T} , AM_{T6} ja AB - 0,85.

Alumiiniumi mahukaal võetakse 2700 kg/m^3 , arvutuslik elastsusmoodul $E = 710\,000 \text{ kg/cm}^2$, nihkemoodul $G = 270\,000 \text{ kg/cm}^2$ ja Poissoni tegur $\mu = 0,31$.

5.11. Kangad

Pneumaatilistes konstruktsioonides soovitatakse kasutada tabelis 28 loetletud kangaid.

Tabel 28

Põhilised andmed kangaste kohta

Kanga nimetus	TV, ПOCT	Paksus mm	Laius cm	Kaal ₂ kg/m ²
Kaproom, ühekihiline No 24	BTY RH -130-59	0,9	90	1,2
Linane, ühekihiline No 533	TY 1205-54	1,2	85	1,5
Puuvill, kahekihiline No 500		0,47	85	0,38
Sama, No 565		-	85	0,48

Tabel 29

Kangaste normatiivsed ja arvutuslikud tugevused ning elastsusmoodulite väärtused kg/m

Kanga mark	Tõmbe- suund	Normatiivne tugevus		Arvu- tuslik tugevus	Elastsusmoodul	
		a	b		a	b
No 24	lõim kude	3600	1800	1440	8000	6000
		2600	1300			
No 533	lõim kude	1500	750	600	6000	3000
		1300	500	350		
No 500	lõim kude	530	265	210	5000	2500
		500	250	175		
No 565	lõim kude	800	400	320	5000	2500
		750	375	260		

Kangaste ühtlustegur lõime suunas 0,8 ja koe suunas 0,7. Pikemat aega niiskes keskkonnas (suhteline niiskus 90%) töötavate konstruktsioonide kaproomkangaste arvutuslikke tugevusi korrutatakse teguriga 0,9. Pikemat aega kuumas keskkonnas (40 - 60°C) töötavate konstruktsioonide kaproomkangaste arvutuslikke tugevusi ja elastsusmooduli väärtusi korrutatakse teguriga 0,7 ning linase ja puuvillriide omasid teguriga 0,8.

5.12. Liimid

Liimühenduse ühtlustegur alumiiniumi liimimisel alumiiniumiga või puitkiudplaatidega võetakse 0,4 ja ülejäänud juhtudel 0,5.

Asbesttsemendi või klaasplastiku liimimisel puitkiudplaatidega korrutatakse arvutuslikku tugevust teguriga 1,5. Tegurit 1,5 kasutatakse ka liim-keemisühenduste puhul.

Liimühenduse tugevuse asbesttsemendi, alumiiniumi või klaasplastiku liimimisel vahtplastiga määrab viimase tugevus.

Tabel 30

Liimühenduse arvutuslik ja normatiivne nihketugevus
 kg/cm^2

Liimi nimetus	Liimitavad materjalid	Normat. tug.		Arvut. tug.
		a	b	
Külmalt või kuumalt kõvastuvad epoksüüdlimid, mark ЭПД	Asbesttsement asbesttsemendiga, alumiinium alumiiniumiga	40	20	10
		60	30	12 ^x
Kuumalt kõvastuv fenool-formaldehüüdlim, mark Б	Asbesttsement asbesttsemendiga, klaasplastik	32	16	8
	klaasplastikuga	32	16	8
Sama, külmalt kõvastuv, mark КБ-3	Klaasplastik klaasplastikuga	32	16	8
Kuumalt kõvastuv fenool-epoksüüdlim, mark ФЭ-10	Alumiinium alumiiniumiga	20	10	4 ^x
Külmalt kõvastuv polüefiirliim, mark ПН-1	Klaasplastik klaasplastikuga	80	40	20
Kautšukliim, margid 88-Н või КС-1	Alumiinium puitkiudplaadiga	50	25	10

^x Vt. sissejuhatavad märkused.

5.13. Kruvid

Tabelis 31 antakse masinaehituses kasutatavate kruvide orienteeruvad tugevused klaasplastikus tõmbele ja lõikele. Klaas-tekstiiliga armeeritud plastikutes on klaasihulk 66,5% ja matidega armeeritud plastikutes 37%.

Kruvide orienteeruvad tõmbe- ja lõiketugevused klaasplastikutes

Kruvi		Keerme- käike tollil	Plastiku armatuur	Tugevus väljatõmbamisel				Lõiketugevus			
tollil	mm			kg		Kruvi pikkuse juures mm		kg		Kruvi pikkuse juures mm	
				min	max	min	max	min	max	min	max
1/4	4,83	20	Klaastekstiil matt	145 ... 1225	3,2 ... 12,7	453 ... 816	3,2 ... 6,4				
				136 ... 1043	4,8 ... 15,9	589 ... 861	4,8 ... 7,9				
5/16	7,93	18	Klaastekstiil matt	236 ... 1814	4,8 ... 15,9	612 ... 807	3,2 ... 9,5				
				181 ... 1633	4,8 ... 19,0	725 ... 1315	4,8 ... 11,1				
3/8	9,52	16	Klaastekstiil matt	281 ... 2200	4,8 ... 20,6	1179 ... 1497	4,8 ... 11,1				
				240 ... 2268	6,4 ... 22,2	1179 ... 1814	6,4 ... 15,9				
7/16	11,11	14	Klaastekstiil matt	431 ... 3084	6,4 ... 20,7	1361 ... 2014	4,8 ... 14,3				
				263 ... 2948	6,4 ... 25,4	1724 ... 2268	7,9 ... 19,0				
1/2	12,68	13	Klaastekstiil matt	498 ... 3495	6,4 ... 23,8	2041 ... 2722	6,4 ... 15,9				
				281 ... 3765	6,4 ... 28,6	2495 ... 2722	9,5 ... 22,2				
3/4	19,09	10	Klaastekstiil matt	1134 ... 10868	9,5 ... 35,0	3629 ... 6804	9,5 ... 25,4				
				318 ... 6122	6,4 ... 38,2	3175 ... 7711	11,1 ... 27,0				

1. Александров А. Я., Бородин М. Я., Павлов В.В. Конструкции с заполнителями из пенопластов, 1962.
2. Архангельский Б. А. Пластические массы, 1961.
3. Гениев Г. А. Некоторые задачи расчета пневмоконструкций из мягких материалов. Тр. ЦНИИСК, вып. V, 1962.
4. Голод Б. И., Кошевой А. Л. Эластичные емкости для транспортировки и хранения жидких грузов, 1963.
5. Губенко А. Б. и др. Пневматические строительные конструкции, 1963.
6. Исследования конструктивных пластмасс и строительных конструкций на их основе. Тр. ЦНИИСК, вып. II, 1962.
7. Новые материалы в технике, под. ред. Тростянской Е. Б., Когачева Б. А., Сильвестровича С. И., 1962.
8. Otto, F., Trostel R. Zugbeanspruchte Konstruktionen.
9. Перри Г. А. Склеивание армированных пластиков, 1962.
10. Проектстальконструкция. Облегченные несущие металлические конструкции, 1963.
11. Schwarz H., Schlegel H. Metallkleben und Glasfaserverstärkte Kunststoffe in der Technik, 1961.
12. Технология изготовления клеенных панелей из пластмасс, алюминия, асбестоцемента и бетона. Тр. ЦНИИСК, вып. 24, 1963.
13. Wende, A., Moebes, W., Martin, H. Glasfaserverstärkte Plaste, 1963.
14. Указания по проектированию и расчету строительных конструкций с применением пластмасс, 1963.

S i s u k o r d

	Lk.
SISSEJUHATUS	3
1. MATERJALID	4
1.1. Polümeeride ehitusest ja põhilistest omadustest	4
1.2. Plastmassid	8
1.21. Plastmasside tehnilisi omadusi	8
1.22. Täitematerjalid	10
1.3. Klaasplastikud	16
1.4. Orgaaniline klaas	21
1.5. Vinüplastid (jäigad)	22
1.6. Kihilised puitplastid (ДСП)	22
1.7. Puitkiudplaadid	23
1.8. Puitlaastplaadid	24
1.9. Vahtplastid	25
1.10 Kõrgplastid	30
1.11 Muud plastmasskonstruktsioonides kasutatavad materjalid	31
1.12 Õhutihedad kangad ja kiled	32
2. ÜHENDUSED	34
2.1. Liiühendused	34
2.2. Mehaanilised ühendused	38
2.3. Liiim-keemis- ja liim-needühendused	38
2.4. Keevisühendused	40
2.5. Kangaste jätkud	42
3. PLASTMASSKONSTRUKTSIOONID	43
3.1. Üldisi märkusi	43

3.2.	Kolmekihilised paneelid	44
3.21.	Asbesttsemendist voodrilehtedega paneelid	47
3.22.	Alumiiniumist voodrilehtedega paneelid	52
3.23.	Valgust läbilaskvad paneelid	56
3.24.	Kolmekihiliste paneelide arvutus	57
3.3.	Kolmekihilistest plokkidest ruumilised konstruktsioonid	68
3.4.	Muud konstruktsioonid	72
4.	KANGASKONSTRUKTSIOONID	74
4.1.	Pneumaatilised konstruktsioonid	74
4.11.	Konstruktsioon	74
4.12.	Arvutus	81
4.2.	Muud kangaskonstruktsioonid	86
5.	LISAD	91
5.1.	Klaasplastikud	91
5.2.	Orgaaniline klaas	95
5.3.	Vinüplastid (jäigad)	96
5.4.	Kihilised puitplastid (ДСП)	97
5.5.	Puitkiudplaadid	98
5.6.	Puitlaastplaadid	99
5.7.	Vahtplastid	100
5.8.	Kärgplastid	101
5.9.	Asbesttsement	103
5.10	Alumiinium	104
5.11	Kangad	104
5.12	Liimid	106
5.13	Kruvid	106
KIRJANDUS	108

Hind 23 kop.

A

26666

TÜ RAAMATUKOGU



1 0300 01021860 2