

Kivikonstruktsioonid

Loengukonspekt

V. Voltri

I osa

Sisukord

Kivikonstruktsioonid.....	3
1. Sissejuhatus	3
1.1 Üldiselt	3
1.2 Terminid ja tähised.....	3
2 Ehituskonstruktsioonide arvutamise põhimõtted	11
2.1 Tugevusarvutuse alused	11
2.2 Piirseisundid	12
2.3 Koormused	13
2.3.1 Määratlused	13
2.3.2 Normkoormused.....	13
2.3.3 Muutuvate koormuste esindussuurused	14
2.4 Materjalide omadused	14
2.5 Arvutusmodelid ja skeemid.....	14
2.6 Osavarutegurite meetod.....	15
2.6.1 Üldiselt	15
2.6.2 Piiranguid ja lihtsustusi	15
2.4.3 Arvutussuurused (arvutuslikud suurused).....	15
3 Müüritööde materjalid ja nende omadused	18
3.1 Kivid.....	18
3.2 Mõrdid.....	23
4. Müürituse töötamine, müüri omadused.....	25
4.1 Üldpõhimõtted.....	25
4.2 Müürituse töötamine survele	25
4.3 Müüritise tugevus	31
4.3.1 Müüritise survetugevus	31
4.3.2 Müüritise nihketugevus	32
4.3.3 Armeerimata müüritise normpaindetugevus	33
4.4 Müüritise deformatsiooniomadused	34
4.4.1 Deformatsioonid müüritise koormamisest	34
4.4.2 Muud deformatsioonid	34
4.4.2.1 Roomamine (roome)	34
4.4.2.2 Deformatsioonid müüritise niiskumisest.....	35
4.4.2.3 Müüritise mahukahanemine	36
4.4.2.4 Temperatuuri mõju müüritisele	36

Kivikonstruktsioonid

Loengukonspekt
Lektor PhD V. Voltri

1. Sissejuhatus

1.1 Üldiselt

Kivikonstruktsioonide kursus on ühe semestri pikkune ja lõpeb eksamiga. Semestri jooksul tuleb teha hindeline kursusetöö.

Kursuse jooksul vaadeldakse konstruktsioone ja rajatise, mille põhiosaks on kivimüür Kivist hooned on ajalooliselt ühed vanemad Eriti tuntud on igat liiki sakraalhooned. Kaasajal ehitatakse kivihooneid eriti prežtiisete ansamblite puhul, väikemajadena jne. Kivivooderdist kasutatakse hoonete välisseintes nende suure ilmastikukindluse ja hea väljanägemise tõttu. Üks vanemaid tehiskive on põletatud keraamiline tellis, hiljem on kasutusele võetud tsement- ja siliikaatkivid. Looduskivina on Eestis juba vanast ajast kasutatud paekivi (lubjakivi) Kursuse jooksul vaadeldakse praegusel ajal kasutatavaid kivimaterjale ja nende omadusi. Tutvutakse kivikonstruktsioonide arvutuse ja konstrueerimisega.

1.2 Terminid ja tähised

(1) Juhul, kui vastupidine pole eraldi margitud, kasutatakse rahvusvahelisele standardile ISO 8930 vastavat terminoloogiat.

(2) Kasutatakse kõigile EV projekteerimismõistele (ja kõigile Eurocode'idele) ühiseid termineid, millel on järgmine tähendus:

—**ehitis**: kõik, mida ehitatakse või mis on ehitamise tulemus. See mõiste haarab nii hooneid kui ka rajatise ja viitab nii kande- kui ka mittekandekonstruktsioonile;

—**ehitamine** (ehitus): ehitise valmistamine (ehitamine). See mõiste haarab nii tood ehitusplatsil kui ka konstruktsioonide (detailide) valmistamist väljaspool ehitusplatsi ja nende püstitamist platsil;

—**kandekonstruktsioon**: ühendatud detailidest iseseisev ehitise osa, millel on vajalik tugevus ja jäikus. Selle mõistega osutatakse koonmust kandvale ehitise osale;

—**ehitise liik** näitab tema kasutuse eesmärki, näiteks elumaja, tööstushoone, maantee-sild;

—**konstruktsiooni liik** näitab konstruktsioonielemendi tooskeemi, näiteks tala, post, kaar, jätkuvtala;

—**ehitusmaterjal: materjal**, mida kasutatakse ehitamisel, näiteks betoon, teras, puit, kivi,

—**ehitise (konstruktsiooni) tüüp** näitab ehitise (konstruktsiooni) põhimaterjalile, näiteks raudbetoonkonstruktsioon, teraskonstruktsioon, puitkonstruktsioon, kivehitis,

—**ehitusviis**: näiteks kohapealne betoonivalu, ehitamine tööstuslikest detailidest;

—**konstruktiivne skeem** (arvutuskeem): konstruktsiooni või tema osa lihtsustatud arvutusmudel.

- **konstruktsiooni liik**: määratakse konstruktsioonielemendi asendi, kuju ja töötamisviisi järgi, näiteks tala, post kaar jne.

- **konstruktsiooni (ehitise) tüüp**: viide konstruktsioonide (ehitise) põhimaterjalile - näiteks teraskonstruktsioon, raudbetonehitis jne,

(3) Projekteerimisel kasutatavad tähtsamad terminid:

- **ajutine arvutusolukord**: olukord, mille kestus on lühike võrreldes konstruktsiooni projekteeritud kasutusega ja milline võib teatud tõenäosusega esineda näiteks ehitamise või remondi ajal;

- **alaline arvutusolukord**: olukord, mille kestus on sama suurusjärku konstruktsiooni projekteeritud kasutusega. See vastab enamasti tavalistele kasutustingimustele;

- **arvutuskriteeriumid**: iga piirseisundi tingimuste täitmist kirjeldavad kvantitatiivsed suurused:

- **arvutusolukord:** teatud ajavahemikus esinevad füüsilised tingimused, millest lähtutakse konstruktsiooni arvutamisel,
- **avariifaktor:** erandlik ja tugeva mõjuga sündmus, mis võib esile kutsuda avariolukorra - näit. mingi erandlik koormus või ülemäärane kõrvalekalle projekteeritud mõõtmetest,
- **avariiolukord:** olukord, millega kaasnevad erandlikud tingimused konstruktsioonidele, näiteks tulekahju, plahvatus kokkupõrge või kohalik vigastus,
- **hooldamine:** tegevuste kogum konstruktsiooni kasutusea kestel konstruktsiooni kasutusomaduste ja toimivuse säilitamiseks,
- **kandepiir seisund:** seisund, mille ületamisega kaasnevad konstruktsiooni kahjustused või purunemine. Selle määrab tavaliselt konstruktsiooni või selle osa suurim kandevõime,
- **kandevõime:** elemendi, ristlõike või konstruktsiooni mehhaaniline omadus, mida mõõdetakse enamasti jõu või momendiühikutes, näiteks paindekandevõime, nõtkekandevõime jne,
- **kasutuspiir seisund:** seisund, mille ületamisel konstruktsioon või tema osa ei ole enam suuteline täitma talle esitatud ekspluatatsiooninõudeid. See vastab normaalse kasutatavuse kriteeriumidele,
- **koormusjuhtum** (ingl k *load case*): kokkusobivad koormusvariandid, deformatsioonid ja vaadeldaval juhul arvutustes arvesse võetavad ebatäpsused,
- **koormuskombinatsioon** (ingl k *combination of actions*): - vt koormustega seotud terminid - p.(4),
- **koormusvariant** (ingl k *load arrangement*): liikuva koormuse asendi, suuruse ja suuna fikseering:
- **piir seisund:** seisund, mille ületamisel konstruktsioon enam ei täida talle ettenähtud funktsioone,
- **projekteeritud kasutusiga:** ajavahemik, mille kestel konstruktsiooni kavatsetakse kasutada etteantud hooldamise tingimustes, kuid ilma olulise vältimatu remondita;
- **tugevus:** materjali mehhaaniline omadus mida mõõdetakse tavaliselt pingehikutes.

(4) Koormustega seotud terminid:

- **alaline koormus** (G): koormus, mis mõjub tõenäoliselt konstruktsiooni kogu arvutusolukorra vältel ja mille suuruse muutumine ajas on tühine või toimub kogu aeg kindlas suunas, kuni koormus saavutab teatud piirväärtuse;
- **arvutuskõormus** (F_d): suurus, mis on saadud normkoormuse korrutamisel osavaruteguriga γ_F ,
- **avariikoormus** (A): reeglina kestuselt lühiajaline koormus, mille esinemise tõenäosus projekteeritud kasutusea vältel on väike. Avariikoormus võib põhjustada raskeid tagajärgi, kui ei võeta kasutusele eriabinõusid:
- **dünaamiline koormus:** koormus, mis annab konstruktsioonile või tema osadele märgatava kiirenduse,
- **kinniskoormus:** kindla suuruse ja suunaga koormus, mille paiknemine konstruktsiooni ulatuses on püsiv:
- **koormus:** konstruktsioonile mõjuv jõud (otsene koormus) või välistingimustest põhjustatud deformatsioon (kaudne koormus). Kaudseks koormuseks on näiteks temperatuuri muutus, niiskuse mõju, vajumine jne.,
- **koormuse esindusväärtus:** üksikkoormuse suurus koormuskombinatsioonis, mis võtab arvesse üksteisest sõltumatute koormuste ebasoodsaimate väärtuste samaaegse esinemise väikese tõenäosuse;
- **koormuskombinatsioon:** arvutuskõormuste kogum, mida kasutatakse konstruktsiooni arvutamisel mitme koormuse üheaegsel mõjumisel;
- **koormustelem:** koormuste mõju konstruktsioonelementidele, näit sisejõud, pinged, deformatsioonid jne;
- **liikuv koormus:** koormus, mille paiknemine ja suurus võivad suvaliselt muutuda konstruktsiooni ulatuses;
- **muutuva koormuse tavaväärtus (tavaline väärtus):** koormuse suurus, mis on määratud nii,

et vaadeldava ajavahemikuga võrreldes aeg, mille jooksul see väärtus ületatakse on tühine, või mille ületamise esinemissagedus on piiratud,

- **muutuva koormuse tõenäoline väärtus** (...*quasi permanent value*): koormuse suurus, mis on määratud nii, et vaadeldava ajavahemikuga võrreldes aeg, mille jooksul see väärtus ületatakse, on märkimisväärne;

- **muutuv koormus (Q)**: koormus, mis tõenäoliselt ei mõju kogu arvutusolukorra vältel, või mille suurus võib ajaliselt oluliselt muutuda;

- **normkoormus**: koormuse iseloomulik väärtus. Juhul, kui normkoormus määratakse statistiliste meetoditega, siis selle suurus võetakse selline, et seda etteantud tõenäosusega ei ületataks konstruktsiooni projekteeritud kasutusea või arvutusolukorra kestel,

- **staatiline koormus**: koormus, mis ei tekita konstruktsioonile või tema osadele olulist kiirendust;

- **tavaline koormuskombinatsioon**: kombinatsioon, mida arvestatakse konstruktsiooni arvutamisel kasutuspiir seisundis mingi koormustulemi (näiteks läbipainde v.m.s.) leidmisel ja millest võidakse vaadeldava perioodi vältel korduvalt ületada,

- **töökindlus**: üldmõiste, mis hõlmab ohutuse, kasutuskõlblikkuse ja konstruktsiooni kestvuse mõisted.

(5) Materjalide omadustele viitavad terminid:

- **materjali omaduse arvutuslik väärtus (arvutusväärtus) X_d** : suurus, mis saadakse normatiivse väärtuse jagamisel osavaruteguriga γ_M ,

- **materjali omaduste normatiivne väärtus (normväärtus) X_k** : materjali omaduse väärtuse alumine (ülemine) piir, mida teatud tõenäosusega ei saavutata oletatavas lõpmatus katsete seerias. See vastab tavaliselt konstruktsioonimaterjali teatud omaduste statistilise jaotusega määratud väärtusele. Teatud tingimustes kasutatakse normväärtusena nimiväärtust.

(6) Geomeetriliste mõõtmetega seotud terminid:

- **normväärtus**: suurus, mis tavaliselt vastab projekteerija poolt määratud mõõtmetele,

- **arvutusväärtus**: tavaliselt nimiväärtus.

Erimõisted-

Ankur: vahend müürikivide ühendamiseks külgnevate konstruktsioonidega, näiteks lae ja katusega.

Armatuuri ankurdustugevus: nakketugevus armatuuri pinnaühiku ja mördi või betooni vahel tõmbel või survel.

Armatuurteras: müüritisese armatuurina kasutatav teras.

Armeeritud müüritis: müüritis, milles tavaliselt terasvardad või -võrk on paigutatud mördi või betoonikihi sisse nii, et müüritis töötab koormuse (jõudude) vastuvõtul ühtse tervikuna.

Eeldoseeritud mört: tehases doseeritud komponendid millest ehitusplatsil segatakse mört.

Eelpingestatud müüritis: müüritis, milles pingearmatuuri abil on eelnevalt tekitatud survepinged.

Ehitusplatsimört: mört, mille alglähtematerjalid doseeritakse ja segatakse ehitusplatsil.

Jaotusarmatuur: pikiarmatuuriga ristiolev armatuur jõudude ühtlustamiseks pikivarrastes.

Kaubamört: tehases doseeritud ja segatud ning ehitusplatsile toodud mört.

Kergmört: mört kuivmahumassiga alla 1500 kg/m^3 .

Konstruktiiivne armatuur: mittearvutuslik armatuur vastavalt üldtunnustatud konstrueerimisnõuetele.

Liugvuuk: vuuk, mis võimaldab müüritisel horisontaalse vaba liikumise.

Mördi survetugevus: kindla arvu mördi katsekehade keskmine survetugevus 28 päeva vanuselt.

Märkus. Vastavad eeskirjad on EN 1015-11-s "Müürmörtide katsetamise meetodid Osa 11. Kivinenud mördi painde- ja survetugevuse määramine".

Mört: mehaaniliselt segatud sideainete, täiteainete ja vee segu koos vajalike lisanditega

Märkus. Mõrdid normeeritakse EN 998-2 'Müürimörtide liigid. Osa 2. Müürimõrdid' alusel.

Müürikivi grupp: müürikivide jaotamine gruppideks vastavalt avade protsendile ja orientatsioonile kivis.

Müürikivi normaliseeritud survetugevus: müürikivi survetugevuseks võetakse samast materjalist 100 mm servaga õhkuiva kuubi survetugevus.

Müürikivi normsurvetugevus: kindla arvu müürikivide 95 % tõenäosusega määratud survetugevus .

Müürikivi survetugevus: määratud arvu müürikivide keskmine survetugevus.

Märkus. Survetugevus määratakse EN 722-1, "Müürikivide katsetamise meetodid. Osa I. Survetugevuse määramise" alusel.

Müürikivi: kivi, tellis või väikeplokk

Müüriseotis: kivide (elementide) asetus müüris, mis kindlustab müüri töötamise ühtse tervikuna.

Müüritis: ettenähtud seotisega ja mõrdiga kokku liidetud müürikivide ühendus.

Müüritisdiafragma: müüritis, mis on tihedalt laotud raudbetoonalade ja -postide (või armeeritud müüri) vahele ja piiratud nende elementidega neljast küljest, arvutuslik põiksein.

Müüritise lõiketugevus: müüritise põikjõuvastupanu.

Müüritise normtugevus: tugevuskatsete alusel 95 % tõenäosusega määratud müüritise tugevus.

Müüritise paindetugevus: müüritise tugevus paindel.

Müüritise survetugevus: müüritise survetugevus üheteljelises pingeolukorras.

Pasta: tsemendi, liiva ja vee segu väikeste lohkude ja tühikute täitmiseks.

Peenmört: mört vuugi paksusele 1...3 mm.

Pingarmatuur: terastrossid, vardad ja traadid müüritise eelpingestamiseks

Projekteeritud mört: mört mille omadused täidavad vastava standardi nõudeid

Põhimört (mört): sobiva terasuurusega täitematerjaliga mört vuugis paksusega üle 3 mm

Põikarmatuur: armatuur põikjõu vastuvõtuks.

Ristlõikepind: elemendi ristlõike brutopind.

Seinaside: side vertikaalsete seinakihtide omavaheliseks ühendamiseks läbi nõrkade vahekihtide või ühendamiseks kapitaalsete seinade või jäiga konstruktsiooniga

Seotud vuuk: horisontaalne või vertikaalne mõrdivuuk, milles kivid moodustavad "hambad" sügavusega vähemalt 1/4 kivi pikkust.

Sidumata vuuk: horisontaalne või vertikaalne tasapinnaline mõrdivuuk.

Sängituspind: müürikivi pealne või alumine pind ladumisel.

Sängitusvuuk: horisontaalne mõrdikiht müürikivide vahel.

Taane: tagasiaste seinapinnal.

Tasku (müüri-): vertikaalne ava (tasku) armatuuri ja täitebetooni jaoks .

Tõsteava: ava müürikivi küljel, mis võimaldab paremat haaramist kas käsitsi või masinaga.

Täitebetoon: sobiva konsistentsi ja täitematerjali suurusega betoonisegu müüritise avade ja tühemike täitmiseks.

Töötav armatuur: arvutuslik armatuur.

Uure (lohk): müürikivi valmistamisel sängituspinnale tehtud vagu (lohk).

Uure (vagu): müüritisse tehtud vagu torude, juhtmete, annatuun jms paigutamiseks.

Veetihe vahekiht: veetihe pehmest materjalist või müürikividest vahekiht.

Vertikaalne pikivuuk: müüritise välispinnaga paralleelne vertikaalvuuk

Vertikaalne ristvuuk: sängitusvuugiga ja müüri pinnaga risti olev vertikaalvuuk.

Vuugi täitmine: tühikute täitmine vuugis.

Vuugiarmatuur: vuugis kasutatav armatuur.

Vuukimine: vuugi töötlemine väljast

Õhuke vuuk: vuuk paksusega kuni 3 mm

Õõne välissein: kest, materjal välispinna ja õõne vahel .

Õõntevaheline sein: tihe materjal õõnte vahel,

Õõs (ava): vormitud õõs või ava, mis kas läbib müürikivi või mitte.

Ekvivalentsed mõisted erinevates keeltes

Tabel 1.1.

Eesti	Inglise	Prantsuse	Saksa	Soome
Ehitis (ehitus-objekt)	Construction works	Construction	Bauwerk	Rakennuskohde
Ehitamine	Execution	Exécution	Bauausführung	Toteutus
Kandekonstruktsioon	Structure	Structure	Tragwerk	Rakenne
Ehitise liik	Type of building or civil engineering works	Nature de construction	Art des Bauwerks	Rakennuksen tyyppi
Konstruktsiooni liik	Form of structure	Type de structure	Art des Tragwerks	Rakennetyyppi
Ehitusmaterjal	Construction material	Matériau de construction	Baustoff; Werkstoff	Rakennusmateriaali
Ehitise (konstruktsiooni) tüüp	Type of construction	Mode de construction	Bautyp	Rakenteen materiaali
Ehitusviis	Method of construction	Procède d'exécution	Bauverfahren	Rakennustapa
Konstrukttiivne süsteem	Structural system	Système structural	Tragsystem	Rakennejärjestelmä

Tähised

(1) Sõltuvalt kontekstist kasutatakse järgmisi tähiseid

- ζ — γ_G vähendustegur,
- Ψ_0 — muutuva koormuse kombinatsioonitegur,
- Ψ_1 — muutuva koormuse tavalise väärtuse kombinatsioonitegur,
- Ψ_2 — muutuva koormuse tõenäolise väärtuse kombinatsioonitegur,
- γ_A — avariikoormuse osavarutegur,
- Δa — geomeetrilise suuruse ebatäpsus,
- γ_F — koormuse osavarutegur,
- γ_G — alalise koormuse osavarutegur,
- $\gamma_{G,inf}$ — osavarutegur $G_{k,inf}$ jaoks,
- $\gamma_{G,sup}$ — osavarutegur $G_{k,sup}$ jaoks,
- γ_{GA} — osavarutegur alalise koormuse avariikombinatsioonile,
- γ_M — materjali omaduste osavarutegur,
- γ_P — eeltingekoormuse osavarutegur,
- γ_Q — muutuva koormuse osavarutegur,
- A — avariikoormus, ristlõikepindala,
- A_d — avariikoormuse arvutusväärtus,
- A_k — avariikoormuse normväärtus,

a_d	— arvutuslik geomeetiline suurus,
a_{nom}	— geomeetrilise suuruse nimiväärtus,
C_d	— fikseeritud arvutusväärtus,
E	— koormustulem (konstruktsiooni sisemine reageering koormusele), elastsusmoodul,
E_d	— arvutuslik koormustulem,
$E_{d,dst}$	— destabiliseeriva koormuse arvutuslik tulem,
$E_{d,stab}$	— stabiliseeriva koormuse arvutuslik tulem,
F	— koormus; jõud,
F_d	— arvutuskooormus,
F_k	— normkooormus,
G	— alaline koormus,
G_d	— alaline arvutuskooormus,
$G_{d,inf}$	— alalise koormuse alumine arvutussuurus,
$G_{d,sup}$	— alalise koormuse ülemine arvutussuurus,
G_k	— alaline normkooormus,
$G_{k,inf}$	— alalise koormuse alumine normsuurus,
$G_{k,sup}$	— alalise koormuse ülemine normsuurus,
P	— eelpingestusjõud,
P_d	— arvutuslik eelpingestusjõud,
P_k	— normatiivne eelpingestusjõud,
Q	— muutuvkooormus,
Q_d	— arvutuslik muutuvkooormus,
Q_k	— normatiivne muutuvkooormus,
R_d	— arvutuslik kandevõime, vastupanu (tugevus),
S_d	— arvutuslik sisejõud,
W_k	— normatiivne tuulekooormus,
X_d	— arvutuslik materjali omadus.

(2) Kontekstist sõltuvad tähised kivimüüritise puhul:

α	— paindemomendi tegur,
δ	— müürikivi laiuselt ja kõrguselt sõltuv tegur,
ε	— suhteline deformatsioon,
μ	— paindetugevuste suhe kahes ristsuunas,
σ	— normaalpinge,
ν	— kaldenurk,
χ	— nõtketegur,
Φ_∞	— lõplik roometegur,
ρ_c	— pinnase tihedus (mahumass),
$\varepsilon_{c\infty}$	— lõplik roomedeformatsioon,
σ_d	— arvutuslik vertikaalne survepinge,
ε_{el}	— elastne suhteline deformatsioon,
χ_i	— nõtketegur seina ülaserivas või jalal,
χ_m	— nõtketegur seina keskmisel kõrgusel,
γ_M	— materjali omaduse osavarutegur,
ρ_n	— jäigastatud seina vähendustegur ($n=2, 3$ või 4),
A	— seina ristlõikepindala,
A_b	— toetuspindala,
A_{ef}	— seina ristlõike efektiivpindala,
a_l	— toetuspikkus,
E	— elastsusmoodul,
e	— ekstsentrilisus,

e_a	— juhuslik ekstsentrilisus,
e_{hi}	— horisontaalkoormuse ekstsentrilisus seina alumisel või ülemisel serval,
e_{hm}	— horisontaalkoormuse ekstsentrilisus seina keskmisel kõrgusel,
e_i	— resultandi ekstsentrilisus seina jalal või ülemisel serval,
e_k	— roomest tingitud ekstsentrilisus,
e_{mk}	— resultandi ekstsentrilisus seina keskmisel kõrgusel,
E_n	— elemendi elastsusmoodul,
F	— seina vöö normatiivne surve- või tõmbetugevus,
f	— müüritise survetugevus (üldiselt),
f_b	— müürikivi normaliseeritud survetugevus,
f_d	— müüritise arvutussurvetugevus,
f_k	— müüritise normsurvetugevus,
f_m	— mördi keskmine survetugevus,
f_{vd}	— müüritise arvutusnihketugevus,
f_{vk}	— müüritise normnihketugevus,
f_{vk0}	— müüritise normnihketugevus vertikaalkoormuse puudumisel,
f_x	— müüritise paindetugevus,
f_{xd}	— müüritise arvutuspaindetugevus,
f_{xk}	— müüritise normpaindetugevus,
G	— nihkemoodul,
g	— kahe mördiriba summaarne laius kestsängitusega müüris,
H	— seina kõrgus kuni koondatud jõuni,
h	— seina puhaskõrgus (ka h_1 ja h_2),
h_0	— konstruktsiooni üldine kõrgus,
h_c	— täite paksus,
h_{ef}	— seina efektiivkõrgus,
I_j	— pinna inertsimoment,
K	— konstant, mis on seotud müüritise normtugevusega,
k	— plaadi ja seina jäikuste suhe,
L	— tugevde vahekaugus või kaugus toe ja vaba serva vahel,
l	— lae puhasava (ka l_3 ja l_4),
l_c	— seina surutud osa pikkus,
L_{ef}	— seina efektiivpikkus,
M_d	— arvutuslik moment,
M_i	— moment koormuse ekstsentrilisusest seina ülemises servas (M_1) või jalal (M_2),
M_m	— moment seina keskmisel kõrgusel,
n	— elemendi jäikustegur,
N_i	— arvutuslik vertikaalkoormus seina peal (N_1) või jalal (N_2),
N_m	— arvutuslik vertikaalkoormus seina keskmisel kõrgusel,
N_{Rd}	— seina kandevõime (arvutustugevus) vertikaalkoormusel,
N_{Sd}	— seina arvutuslik vertikaalkoormus,
q_{lat}	— külgsuunaline arvutustugevus seina pikkusühiku kohta,
t	— seina tegelik paksus (ka t_1 ja t_2),
t_{ef}	— seina efektiivpaksus,
t_f	— riivli paksus talal või ääriku paksus seinal,
V_{Rd}	— seina arvutuslik põikjõukandevõime (põikjõutugevus),
V_{Sd}	— seina arvutuslik põikjõud,
w	— arvutuslik ühtlaselt jaotatud koormus laele,
W_{Sd}	— seina arvutuslik horisontaalkoormus,
Z	— ristlõike vastupanumoment.

(3) Kontekstist sõltuvad tähised armeeritud müüritise puhul:

α	— põikarmatuuri kaldenurk,
ε_m	— müüritise suhteline deformatsioon,
ε_s	— armatuuri suhteline deformatsioon,
γ_s	— armatuurterase osavarutegur,
ε_{uk}	— armatuuri normatiivne suhteline piknemine maksimaalse tõmbepinge puhul,
A_m	— müüritise ristlõikepindala,
A_s	— armatuuri ristlõikepindala,
A_{sl}	— pikiarmatuuri ristlõikepindala,
A_{sw}	— põikarmatuuri ristlõikepindala,
a_v	— kaugus toe servast kuni põhilise koormuseni talal,
b	— ristlõike laius,
b_c	— elemendi survetsooni laius,
b_{ef}	— riulitega elemendi efektiivlaius,
d	— ristlõike töötav kõrgus,
f_{bo}	— armatuurvarda ankurdusnakketugevus,
f_{bok}	— armatuurvarda normatiivne ankurdusnakketugevus,
f_c	— täitebetooni survetugevus,
F_c	— elemendi arvutuslik paindesurvejõud,
f_{ck}	— täitebetooni normsurvetugevus,
f_{cv}	— täitebetooni nihketugevus,
f_{cvk}	— täitebetooni või müüritise normnihketugevus,
f_p	— pingearmatuuri tõmbetugevus,
F_s	— arvutuslik tõmbejõud armatuurvardas,
f_t	— armatuuri tõmbetugevus,
f_{tk}	— armatuuri normtõmbetugevus,
f_y	— armatuuri voolupiir,
f_{yk}	— armatuuri normatiivne voolupiir,
h	— ristlõike üldkõrgus,
l_b	— armatuurvarda ankurduspikkus,
l_{ef}	— elemendi arvutusava,
M_{Rd}	— arvutuslik vastuvõetav moment,
\emptyset	— armatuuri läbimõõt,
s	— põikarmatuuri samm,
V_{Rd}	— müüritise arvutuslik põikjõutugevus (ka V_{Rd1} ja V_{Rd2}),
x	— survetsooni kõrgus ristlõikes,
z	— armeeritud müüritise sisejõudude õlg paindel.

Märkus. Reeglina antakse tähise kasutamisel tekstis ka tema tähendus.

2 Ehituskonstruktsioonide arvutamise põhimõtted

2.1 Tugevusarvutuse alused

Tugevusarvutustes lähtutakse üldjuhul elastsusteooriast, arvutuste aluseks on ristlõikes leitud pinged. Kivimüüritise tugevuskontrollil omavad suuremat tähtsust normaal- ja tangentsialapinged, tõmbepingete arvestamisest üldjuhul loobutakse.

Normaalpinged määratakse avaldisega

$$\sigma = \frac{N}{A} \pm \frac{M \times y}{I},$$

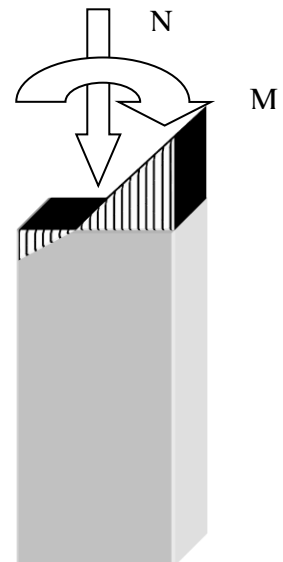
kus

N on normaaljõud ristlõikes,

M on mõjuv moment,

y on vaadeldava punkti kaugus keskjoonest ja

I on ristlõike inertsimoment.



Skeem 1.1 Varda koormamine

Kivikonstruktsioonide ristlõigete suurte pindade tõttu võib nihkepinged nendel pindadel määrata üldiselt lihtsustatult-

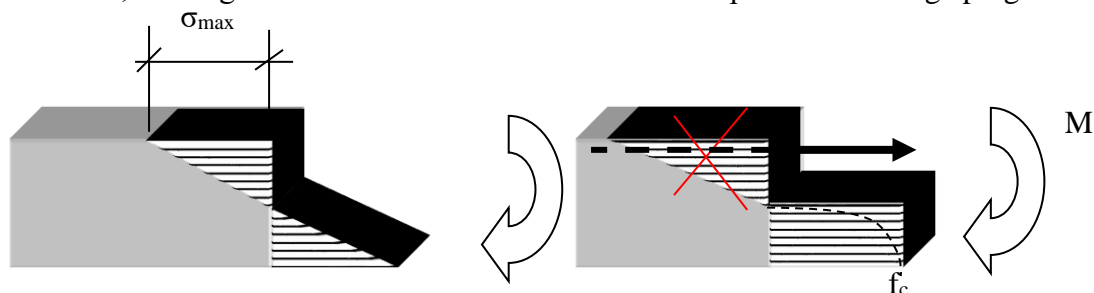
$$\tau = \frac{V}{A},$$

kus

V on põikjõud ja

A on ristlõike pindala.

Elementide purunemise uurimisel vaadeldakse tihti ka nn piirulukorda. Piirulukorra võib defineerida mitmeti, näit liigsete deformatsioonide alusel või voolupiiri saabumisega pingetes.



Elastne pingestaadium

Ristlõike ühes servas on pinged voolupiiril

Skeem 1.2 Pinge ristlõikes

Materjali voolama hakkamisel pinge stabiliseerub ja saavutab kindla väärtuse σ_y , paindelementi tekib nn plastne šarniir. Paljudel juhtudel võetakse selline situatsioon elemendi purunemise kriteeriumiks.

Põhinõuded projekteerimisele

Konstruktsioon tuleb projekteerida nii, et ta vastuvõetava tõenäosusega (vt edaspidi) jääb kavandatud eksploatatsioonikulude korral sihipäraselt kasutatavaks kogu projekteeritud kasutusaaja vältel ja ta on nõuetekohase usaldusväärsusega võimeline kandma kõiki tõenäoliselt esinevaid koormusi.

Konstruktsiooni töökindlus tagatakse, kui kasutatakse nende projekteerimiseks EVS meetodeid ja peetakse kinni seal esitatud nõuetest.

Arvutusolukorrad

Tuleb teha selline arvutusolukordade valik, et oleksid arvestatud kõik tingimused millistesse konstruktsioon võib sattuda nii ehitamisel kui ka eksploatatsioonis.

Eristatakse järgmisi arvutusolukordi

alaline olukord, mis kajastab tavalisi eksploatatsiooni tingimusi;

ajutine olukord, mis kajastab ajutisi eksploatatsiooni tingimusi, näiteks remondi või püstitamise ajal;

avariiolukord, näit tulekahju, plahvatus, kokkupõrge.

2.2 Piirseisundid

Üldkäsitlus

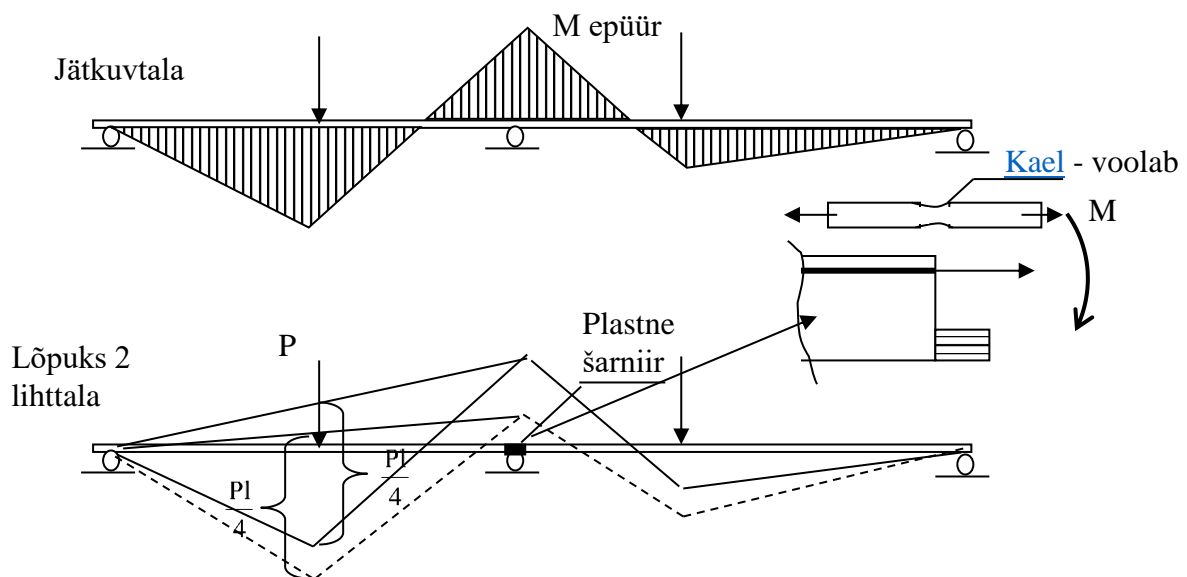
Tehakse vahet kandepiirseisundi ja kasutuspierseisundi vahel. Mõlemal juhul loelakse, et piirseisundi saabumisel konstruktsiooni töö ei ole enam võimalik. Arvutuslikult võib piirseisund olla määratud ükskõik millise arvutusolukorraga.

Kandepiirseisundi määravad konstruktsiooni purunemise või kandevõime kaotuse põhjustavad kahjustused. Purunemisele eelnevat konstruktsiooni seisundit käsitatakse samuti kandepiirseisundina. Kandepiirseisund on konstruktsioonide puhul üldiselt määrav, pärast selle seisundi tekkimist ei ole võimalik konstruktsiooni enam kasutada või ta on juba ohtlik kasutamiseks.

Võib eristada; järgmisi kandepiirseisundeid:

A - konstruktsiooni kui terviku või selle mistahes osa tasakaalu kaotus,

B - konstruktsiooni purunemine liigsete plastsete deformatsioonide või mehhanismiks muutumise tulemusena, habras purunemine, stabiilsuse kadu.



Skeem 1.3 Jõudude ümberjaotumine talas

Plastse šarniiri tekkimise tõttu keskmisel toel tekib jätkuva tala asemel 2 lihttalale lähenevat tala (osalise šarniiriga keskmisel toel), süsteem läheneb lihttalade skeemile. Koormuse suurenemisel võib avamoment minna nii suureks, et avasse tekib ka plastne šarniir. Tala selles avas muutub mehhanismiks ja variseb.

Selline purunemine on seotud materjali voolamisega ristlõikes.

Vastandsituatsioonina plastsele purunemisele vaadeldakse nn habrast purunemist, mis esineb habraste materjalide (betoon, müüritis jt) puhul.

Tehakse vahet hapra- ja normaalse- (voolavusega seotud) purunemise vahel. Voolavusega seotud purunemine ongi esitatud eelmisel skeemil. Üldiselt on voolamine ajas jälgitav protsess. Ehituskonstruktsioonides on tüüpiliselt voolamine seotud terase kasutamisega konstruktsioonis, pehmetel terastel on nn selgelt eristatav voolupiir. Kui terase pinge saavutab voolupiiri,

hakkab teras aeglaselt venima enam pingestatud ristlõike osas, talas tekkib nn plastne šarniir. Ristlõige hakkab aeglaselt pöörduma painde situatsioonis. Kõike seda on võimalik tegelikus konstruktsioonis jälgida, sellise situatsiooni tekkimine hoiatab kandevõime kaotuse eest. Haprapurunemise korral on purunemisega kaasnevad deformatsioonid nii väikesed, et nad ei ole visuaalselt jälgitavad. Vaatleja seisukohalt toimub purunemine ootamatult, ilma ette hoiatamata. Konstruktsioon ei hoiata meid enda ülekoormamisest. Konstruktsioone ei ole lubatud üldiselt projekteerida haprale purunemisele, st võimalikul purunemisel ei tohi tekkida haprapurunemise situatsiooni.

Kasutuspiirseisund ei ole üldiselt ohtlik konstruktsioonile või tema ekspluateerijatele. Kasutuspiirseisundi määramise kriteeriumid lähtuvad kas esteetilisest kaalutlustest või muudest ekspluatatsiooninõuetest.

Ekspluatatsiooninõuded peavad tagama
-ehitise ja selle osade funktsioneerimise,
-inimeste mugavuse,
-ehitise vastuvõetava välimuse säilimise.

Kontrollimisel peab jälgima konstruktsioonide võimalike deformatsioone (läbivajumisi), vibratsioone mis võivad olla kahjulikud inimestele või ohtlikud hoonetele jms.

2.3 Koormused

2.3.1 Määratlused

(1) Koormus F on kas

— **otsene koormus** (jõud), s.o konstruktsioonile otseselt rakendatud koormus, või **kaudne koormus e mõjur** (sunddeformatsiooni mõju), näiteks temperatuuri mõju.

(2) Koormusi liigitatakse:

a) nende ajalise muutumise järgi

alalised koormused G , näiteks konstruktsiooni omakaal, sanitaartechniliste seadmete, abiseadmete ja statsionaarse sisseseade kaal,

muutuvad koormused Q , näiteks kasuskoormus, temperatuuri-, lume- ja tuulekoormus,

avariikoormused A , näiteks plahvatuse või ratta löögikoormus;

b) nende liikuvuse järgi ruumis

kinniskoormused, näiteks omakaal seoses konstruktsioonidega, mis on väga tundlikud omakaalu muutuste suhtes),

liikuvkoormused nende liikuva iseloomu tõttu, näiteks liikuv kasus- või temperatuurikoormus, tuule- ja lumekoormus;

c) nende mõjumisviisi järgi

— **staatilisid koormused**, mis ei põhjusta konstruktsioonis või selle osas nimetamisväärseid kiirendusi,

— **dünaamilised koormused**, mis põhjustavad konstruktsioonis või selle osas arvestatavaid kiirendusi.

(3) Eelpingestusjõud P on alaline koormus, kuid praktilistel põhjustel vaadeldakse teda eraldi.

2.3.2 Normkoormused

Projekteerimise üheks põhialuseks on koormuste määramine. On selge, et mitteusaldatavate koormuste kasutamisel arvutustes kaotab kogu tugevusarvutus oma mõtte. Konstruktsioonide tugevusarvutused tehakse nn arvutuskooormustega -

arvutuskooormus = osavarutegur (γ_Q - häälbetegur) x normkoormus.

Normkoormusena käsitatakse üldiselt mingil arvutus- või mõõtmismeetodil määratud konkreetse koormuse keskvaartust, nimiväärtust või siis selle koormuse ülemist või alumist piiri.

Konstruktsiooni elementide koormused (kaalud) määratakse tavaliselt vastava materjali mahumassi ja elemendi mahu alusel. Kui elemendi maht on teatava täpsusega arvutatav, siis materjalide mahumassid saadakse vastava materjali proovide andmete statistilise tötluse alusel. Lumekoormuste ja tuulekoormuse väärtused saadakse pikaajalise mõõtmise tulemuste statistilise analüüsi alusel. On selge, et vastavad hälbed (osavarutegurid) on väga erinevad. Osavaruteguri suurus võetakse kas ühest suurem vai väiksem, sõltuvalt sellest kumb arvutuskoormus on konstruktsioonile ohtlikum.

2.3.3 Muutuvate koormuste esindussuurused

Muutuvate koormuste puhul tuleb tihti arvestada nende ajas muutumist ja võimalikku koos esinemist nn kombinatsioonide. Siin leiab oluliselt rakendamist tõenäosusteooria.

Näiteks kui teie tehase sildkraana tõstab maksimaalset koormust, siis on vähe tõenäoline, et katusel on samal ajal maksimaalne lumekoormus ja hoonele puhub samal ajal marutuul. Hoone projekteerimisel on mõistlik siin osaliselt koormuste maksimaalsuursi vähendada.

Projekteerimisel kasutatakse esindussuuruse mõistet:

-normsuurus	Q_k	
-kombinatsioonisuurus		$\psi_0 Q_k$
-tavaline esindussuurus		$\psi_1 Q_k$
-tõenäoline esindussuurus		$\psi_2 Q_k$

2.4 Materjalide omadused

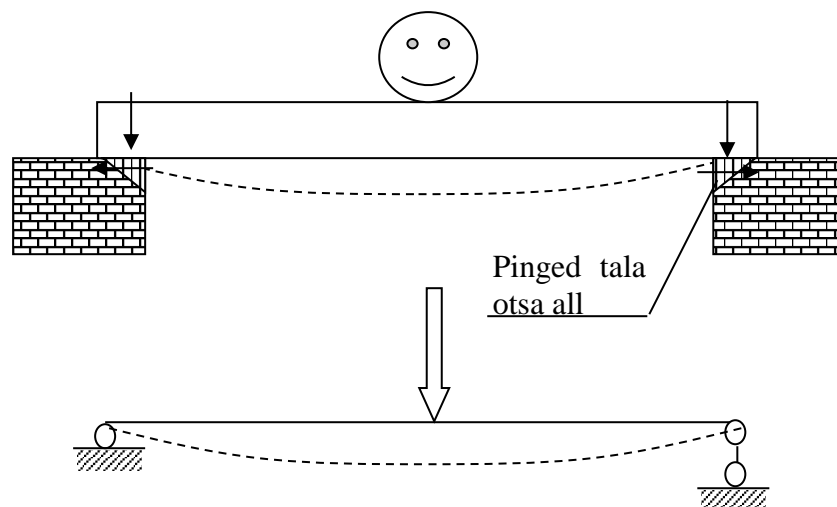
Nagu eelpool mainitud, materjalide omaduste andmed töödeldakse statistiliselt vastavate standarditega määratud katsetest.

Materjali tugevusel võib olla kaks normsuurust - ülemine ja alumine, mida kasutatakse sõltuvalt uuritava probleemi tüübist.

2.5 Arvutusmudelid ja skeemid

Konstruktsiooni arvutamine toimub tema idealiseeritud tööskeemi alusel. Selleks et rakendada tehnilise mehaanika skeeme tuleb kõigepealt konstruktsioonile leida temale sobiv idealiseeritud tööskeem. Sõna idealiseeritud tähendab siin, et igasuguse arvutuse koostamisel tuleb teha mööndusi tegelikkuse suhtes.

Vaatleme raudbetoontala kivimüüriil.



Skeem 2.1 Tala arvutusskeem

Tegelikkuses ei ole täpselt fikseeritud toereaktsiooni asukoht. Tala läbipaindest koormuse all tala horisontaalprojektsiooni pikkus lüheneb. Tala otsad lähenevad üksteisele, seda lähenemist

takistab toepindadel tekkiv hõõrdejõud - talas tekkib sisemine tõmbejõud. Idealiseeritud skeemis võetakse see jõud tema väiksuse tõttu nulliks ja eeldatakse, et tala ots saab vabalt liikuda toel. Suurte koormuste ja karedate toepindade puhul peab tekkivat tõmbejõudu arvestama. Arvutusskeemide määramisel on suur tähtsus arvutustulemustele ja kogu projekteerimisele. Projekteerijal peab olema suur kogemus ja oskus probleemi lahata, eraldada ebaoluline olulisest.

2.6 Osavarutegurite meetod

2.6.1 Üldiselt

(1) Eesti ehituskonstruktsioonide projekteerimisnormides EVS-EN tagatakse konstruktsioonide piirseisunditel põhinev töökindlus nn osavarutegurite meetodi abil. Osavarutegurite meetodiga tuleb tõestada, et kasutades arvutusmudelites koormuste, materjalide omaduste ja geomeetriseliste mõõtmete arvutuslikke väärtusi, jäävad kõik piirseisundid ületamata.

(2) Eraldi tuleb tõestada, et

- a) arvutuslikud koormustulemid (sisejõud, pinged jne.) ei ületa arvutuslikku kandevõimet kandepiirseisundis;
- b) arvutuslikud koormustulemid (läbipainded, siirded, praod jne.) ei ületa kasutuspiirkriteeriume.

Eri piirseisundite puhul kasutatavad arvutuskõormused erinevad üksteisest ja need määratakse käesolevas peatükis.

Teatud konstruktsioonide puhul võib osutada vajalikuks käsitleda veel muidki piirseisundeid - näiteks väsimust.

(3) Kõik võimalikud arvutusolukorrad tuleb võtta arvesse ja selgitada kriitilised koormusjuhtumid. Iga kriitilise koormusjuhtumi jaoks tuleb määrata koormuskombinatsiooni tulemite arvutuslikud suurused (s.o arvutuslikud sisejõud, pinged jne.).

(4) Koormusjuhtum hõlmab omavahel sobivaid koormusvariante, deformatsioone, hälbeid ja ebatäpsusi, mida tuleb arvestada konstruktsiooni kontrollimisel. Neid koormusi, mis füüsilistel põhjustel ei saa mõjuda samaaegselt, koormusjuhtumit väljendavas koormuskombinatsioonis ei arvestata.

(5) Koormusvariant määratleb liikuva koormuse asukoha, suuruse ja suuna.

(6) Võimalikud hälbed koormuste oletatud asukohtadest ja suundadest tuleb võtta arvesse.

2.6.2 Piiranguid ja lihtsustusi

(1) EVS - s toodud rakendusjuhised piirduvad staatiliselt koormatud konstruktsioonide kande- ja kasutuspiirseisunditega. Mõnel juhul, näiteks tuule dünaamilise mõju arvestamisel, võib dünaamilist koormust tinglikult käsitleda ekvivalentse staatilise koormusena, kasutades see juures dünaamilist suurendustegurit (dünaamikategurit).

(2) Lihtsustatud arvutusi võib kasutada järgmistel juhtudel:

- kui on ilmne, et kandepiirseisund ei ole otsustav, võib konstruktsiooni dimensioneerida lihtsustatud kande- ja/või kasutuspiirseisundi arvutustega või piirduda ainult kasutuspiirseisundiga:

- mõningate lihtsate konstruktsioonide puhul võib nende sobivust tuvastada ilma arvutusteta, kasutades vastavaid konstruktiivseid juhiseid või küllaldastele kogemustele tuginevad ettekirjutusi.

2.4.3 Arvutussuurused (arvutuslikud suurused)

Arvutuskõormused

(1) Koormuse arvutussuurus F_d väljendatakse üldkujul avaldisega

$$F_d = \gamma_F F_k,$$

kus

γ_F on koormuse osavarutegur, mille abil võetakse arvesse koormuse võimalikke ebasoodsaid kõrvalekaldeid, koormuse ebatäpse modelleerimise võimalust, koormustulemite hindamise ja vaadeldava piirseisundi hindamise ebatäpsust.

(2) Erinevate koormusliikide arvutussuurused väljendatakse järgmiselt:

$$G(Q, A)_{jne,d} = \gamma_{(G, Q, A)_{jne}} G(Q, A)_{jne,k}$$

(3) Juhul, kui tuleb teha vahet alaliste koormuste soodsate ja ebasoodsate mõjude vahel, kasutatakse kahte erinevat osavarutegurit.

Koormustulemite arvutussuurused

(1) Koormustulemi E on konstruktsiooni reageering koormustele - näiteks sisejõud, pinged, deformatsioonid ja paigutused. Koormustulemi arvutussuurus E_d leitakse arvutuskoormuste, mõõtmete ja materjalide omaduste arvutussuuruste põhjal:

$$E_d = E(a_{d1}, a_{d2}, \dots, F_{d1}, F_{d2}, \dots)$$

(2) Mõningail juhtudel, eriti mittelineaarse arvutusmudeli puhul, tuleb kasutada veel täiendavat osavarutegurit, mis kajastab arvutusmudeli ebatäpsusi. Seda tegurit võib rakendada kas koormustele või sisejõududele sõltuvalt sellest, kummal juhul see tagab suurema turvalisuse.

(3) Mittelineaarse arvutusskeemi puhul, (koormustulemid ei ole koormusest lineaarselt sõltuvad) võib kasutada järgmisi lihtsustatud juhiseid:

(a) kui koormustulemid kasvavad koormustest kiiremini, rakendatakse osavarutegureid koormuste normsuurustele,

(b) kui koormustulemid kasvavad koormustest aeglasemalt, rakendatakse osavarutegureid koormustulemite normsuurustele.

Materjalide omaduste arvutusväärtused

(1) Materjali või toote mingi omaduse arvutusväärtus leitakse valemiga

$$X_d = X_k / \gamma_M,$$

kus

γ_M on materjali või toote omaduse osavarutegur, mis arvestab ebasoodsaid hälbeid normsuurustest. Osavarutegurite suurused antakse standardites EVS.

Geomeetriliste mõõtmete arvutussuurused

(1) Geomeetriliste mõõtmete arvutussuurustena käsitatakse tavaliselt vastavaid nimimõõtmeid

$$a_d = a_{nom}$$

(2) Juhul kui geomeetriliste mõõtmete hälvetel on oluline mõju konstruktsiooni töökindlusele, võetakse arvutussuuruseks

$$a_d = a_{nom} + \Delta a,$$

kus Δa on võimalik ebasoodne hälve nimimõõtmest. Hälve Δa võetakse arvesse ainult sel juhul, kui hälbe mõju võib osutada kriitiliseks.

Arvutuslik kandevoime määratakse järgnevalt

$$R_d = R(a_{d1}, a_{d2}, \dots, X_{d1}, X_{d2}, \dots),$$

kus sulgudes on kõikvõimalikud konstruktsiooni iseloomustavad arvutuslikud parameetrid.

Kandepiirseisund

Tugevuse kontroll

$$E_d \leq R_d.$$

Asendipüsivuse või stabiilsuse kontroll

$$E_{d,dst} \leq R_{d,dst}.$$

Osavarutegurid

(1) Ehitiste kandekonstruktsioonide arvutustes kasutatavad osavarutegurid alaliste-, ajutiste- ja avariolukordade jaoks on toodud tabelis. Nende suurused põhinevad kogemustel ja realiseeritud ehitusprojektide kontrollarvutustel.

(2) Kui koormusjuhtumi puhul alaline koormus suurendab muutuvate koormuste mõju (s t alalise koormuse mõju on konstruktsiooni kandevõime seisukohalt ebasoodne), tuleb kasutada arvutussuuruste ülemist väärtust ($G_{d,sup}$), kui alaline koormus vähendab muutuvate koormuste mõju - alumist väärtust ($G_{d,inf}$).

Osavarutegurite suurused kandepiirseisundis			
Koormuse liik	Osavaruteguri tähis	Arvutusolukord	
		Alaline/Ajutine	Avarii
Alalised koormused konstruktsioonide oma-kaalust, pinnasest ja pinnaseveest: - asenditasakaalu kaotus (ei sõltu materjali tugevusest) -ebasoodne mõju -soodne mõju - kandevõime kaotus, mis sõltub materjali tugevusest -ebasoodne mõju -soodne mõju - pinnase või pinnasevee surve tingitud konstruktsiooni kandevõime kaotus, pinnase tugevusest sõltuv kandevõime kaotus	$\gamma_{G,sup}$	1,10	1,00
	$\gamma_{G,inf}$	0,90	1,00
	$\gamma_{G,sup}$	1,20	1,00
	$\gamma_{G,inf}$	1,00	1,00
	γ_G	1,00 ¹	1,00 ¹
	Muutuvad koormused (ebasoodne mõju) - kõik juhtumid, va pinnase tugevusest sõltuv kandevõime kaotus - pinnase tugevusest sõltuv kandevõime kaotus	γ_Q	1,50
γ_Q		1,30	1,00

Avariikoormus	γ_A	-	1,00
---------------	------------	---	------

Märkused:

¹ Arvutades pinnase horisontaalsurvet, rakendatakse osavarutegureid pinnase omadustele ja pinnasele mõjuvatele koormustele. Pinnase arvutussurvet ei tohi määrata pinnase normsurve korrutamise teel osavaruteguriga.

Kombinatsioonitegurid

Koormuskombinatsioonide koostamisel kasutatavate kombinatsioonitegurite ψ väärtused on toodud järgnevas tabelis.

Kombinatsioonitegurite suurused			
Koormuse liik	ψ_0	ψ_1	ψ_2
Kasuskoormused:			
- klass A (eluruumid jms)	0,7	0,5	0,3
- klass B (bürooruumid jms)	0,7	0,5	0,3
- klass C (ruumid, kus on võimalik inimeste kogunemine)	0,7	0,7	0,6
- klass D (kauplused, kaubamajad)	0,7	0,7	0,6
- klass E (laod)	1,0	0,9	0,8
Liikluskoormus hoonetes			
- klass F (autoparklad kergetele sõidukitele ≤ 30 kN)	1,0	0,9	0,6
- klass G (autoparklad sõidukitele 30...160 kN)	0,7	0,5	0,3
- klass H (katused)	0	0	0
Lumekoormus	0,5	0,2	0
Tuulekoormus	0,6	0,2	0
Temperatuur (va tulekahju puhul)	0,6	0,5	0

Koormiskombinatsioon tähendab arvutusolukorda, kus on rakendatud realselt korraga mõjuda võivad koormused.

3 Müüritööde materjalid ja nende omadused**3.1 Kivid**

Müürkivid võib liigitada järgmiselt:

- looduslikud kivid
- töötlemata kivid,
- töödeldud kivid;
- tehiskivid (-plokid).

Looduslikud kivid leiavad müüritöodes laialdast kasutamist. Oluline on siin kivi tugevus, tihe-
dus ja väljanägemine. Eestis kasutatakse müüritööl tihedat põllukivi ja laias ulatuses lubja-
kivi (paekivi). Põllukivi kasutatakse kas ümarana või ta lõhestatakse, mõlemal juhul saab la-
duda hea väljanägemisega müüri. Paekivi mahumass on ca ' 2500 kg/m³.

Tehiskivide nomenklatuur on praegusel ajal väga suur, siiski võiks siin eristada järgmisi kivi-
ruppe:

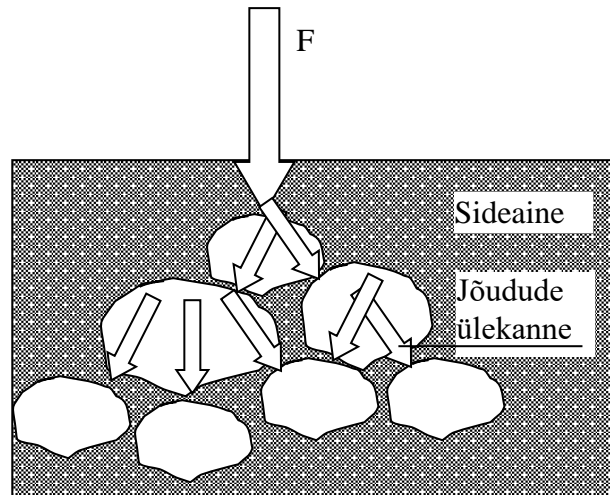
- keraamilised (savi-)telliseid kui ilmselt kõige vanemaid,
- silikaatkive,
- tsementkive,
- väikeplokke mitmesugusest materjalist.

Kõikide kivide puhul on eelduseks, et nad oleksid ühe käega haaratavad ja tõstetavad. Kivide mass kõigub 4...6 kg vahel. Väikeplokkide puhul eeldatakse, et plokki tõstab üks tööline, vastavalt sellele ei tohiks väikeploki mass olla üle 30 kg.

Keraamilised telliseid valmistatakse savi ja liiva segust, mis pärast hoolikat segamist vormitakse kiviplonnideks ja põletatakse ahjus. Põletamisel segatud mass osaliselt paakub ja moodustab kõva kivimi, mis säilitab oma kuju ja millel on vajalik survetugevus Täiskivide mahumass on ca' 1800 kg/m³.

Kõik kivimid on oma olemuselt haprad materjalid (vastandina sitketele materjalidele), nendes on materjali osakesed suhteliselt nõrgalt omavahel seotud sideainega, need materjalid töötavad suhteliselt hästi survele, kuid halvasti tõmbele.

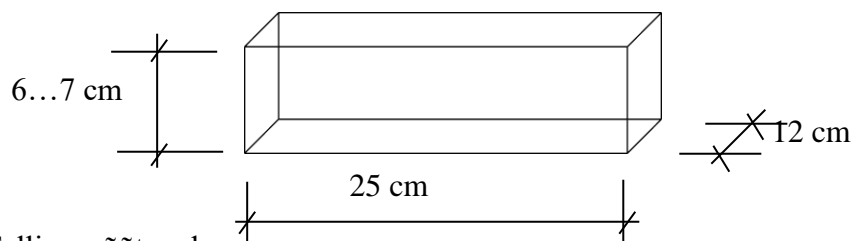
Hapra materjali töötamise mudel võiks olla järgmine-



Skeem 3.1 Hapra materjali töötamise mudel

Sideaine võib olla väga erinev – tsementkivi, lubimört, savi, põletatud savi jne.

Keraamilise tellise klassikalise mõõtmed on järgmised-



Skeem 3.2 Tellise mõõtmed

Telliseid (kive) tehakse nii täiskividena kui ka aukude või piludega kividenä. Savitelliseid valmistatakse ka värvilistena sõltuvalt savi liigist või lisatud värvainest. Selliseid kive kasutatakse üldiselt hoonete välisvoodris.

Silikaattelliseid valmistatakse liiva ja lubja segust, mis jahvatatakse kollerveskis ja millele lisatakse vesi. Selline segu kõveneb pärast hoidmist autoklaavis. Kivi mõõtmed on üldiselt samad, mis savitellis. Eestis on levinud ka nn "moodultellis", mille kõrgus on 9... 10 cm. Täiskivide mahumass on ca ' 2000 kg/m³.

Traditsiooniliselt kasutatakse nimetust "savitellis" (punane tellis) ja "silikaattellis" või "silikaatkivi". Silikaat- ja savikive valmistatakse ka aukudega.

Tsementkive valmistatakse tsemendi, liiva ja vee segust. Kivi omandab tugevuse pärast tsemendi ja vee segu kõvenemist. Kivinemine toimub normaaloludes toatemperatuuril (+ 20°C), kivinemist võib kiirendada segu kuumutamiseega. Kasutatakse portlandtsementi ja kvartsi liiva.

Tsementkivide kasutamine on eriti hoogustunud pärast iseseisvuse taastamist Eestis. Valmistatavate kivide nomenklatuur on eriti suur, kive tehakse väga mitmel otstarbel. Kivide värv on üldjuhul hallikas, kasutatakse ka mitmeid värvikombinatsioone. Täiskivide mahumass on ca' 2200 kg/m³.

Väikeplokk tehakse mitmesugusest materjalist. Väikeplokkide abil saab müüri ladumise kiirust oluliselt tõsta.

Väikeplokkide valmistamisel kasutatakse kas väikese mahumassiga materjale või tehakse nad õõnsustega.

Eestis kasutatakse kergmaterjalina põlevkivituhka või silikaltsiiti. Esimesel juhul võetakse si-deaineks põlevkivituha peenfraktsioon, mis segatakse vajalike täiteainetega ja kuumutatakse aurukambris. Segumassi sisse segatakse aineid, mis kuumutamisel paisuvad või tekitavad gaasi. Sel viisil saadakse materjal, mille mahumass on ca ' 600... 800 kg/m³. Materjal on poorne (laht-iste pooridega) ja suhteliselt väikese tugevusega. Väikeplokkid vormitakse traadiga saagimise teel.

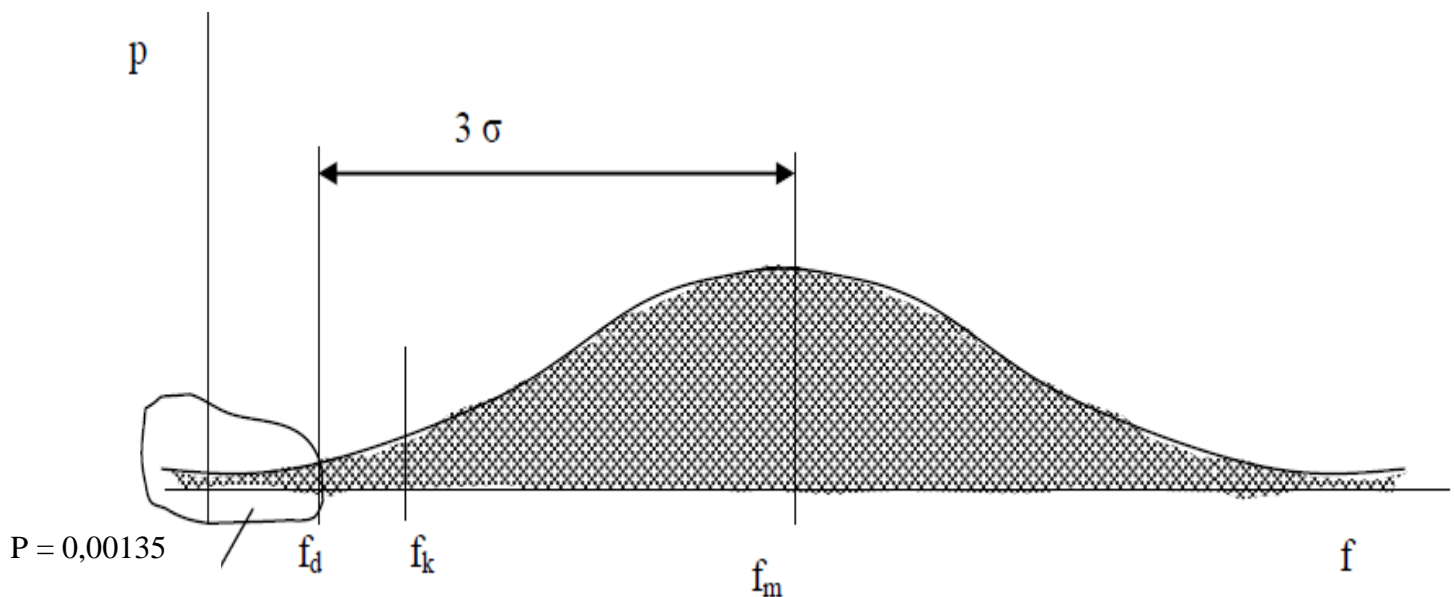
Silikaltsiidi koosseis on lubi ja desintegraatormenetlusel jahvatatud liiv. Saadud massi töödel-dakse nagu eelmisel juhul, materjali mahumass on mõnevõrra suurem kui põlevkivituhk plok-kidel .

Põlevkivituhk-väikeplokkide nominaalmõõdud on 20x30x60 cm. Nominaalmõõdu all mõel-dakse ehitusdetaili projektikohast mõõtu, detaili tegelik mõõt on lubatud tolerantsi (hälbe) võrra sellest erinev. Üldjuhul on lubatud tolerants ± määrgiline, mis tähendab, et detail võib tegelikult olla suurem või väiksem projekteeritavast. Detailide puhul, millega moodustatakse pidev kett (näit müür) on detailide valmistamisel lubatud ainult miinus tolerants.

Kivide omadused

Tugevus

Nagu juba mainitud on meil tegemist kivide puhul hapra materjaliga, mille tugevusomadused on tõmbele ja survele erinevad. Materjalide survetugevus määratakse katsetamise teel standar-dikohaste kuubikutega. Iga üksik kivi on valmistatud mingist segumassist, kusjuures tema kui üksiku kivi omadused sõltuvad selle massi homogeensusest ja edaspidisel valmistamisel selle kivi tugevust mõjutavatest tehnoloogia häiretest. Seega on kivi lõplik tugevus (või ka muu oma-dus) sisuliselt juhuslik suurus, mille määrab tehnoloogia ebatäpsus (nn süsteemi "müra"). Ki-vitugevuse määramiseks tuleks ta pressi all purustada, teda ei ole võimalik enam kasutada, seega on kasutatava kivi tugevust tehnoloogiliste parameetrite alusel võimalik ainult prognoo-sida. Seda prognoosimist tehakse tõenäosusteooria abil. Kõigepealt uuritakse protsessi omapära ja kohaldatakse sellele nn jaotuskõver. Pikaajaliste uurimuste tulemusel on leitud, et materjalide tugevusomaduste iseloomustamiseks on sobiv normaaljaotus (Gaussi normaaljaotus) kõver. Järgmisel skeemil on antud kivide tugevuse normaaljaotuskõver.



Skeem 3.3 Materjali tugevuse normaaljaotuskõver

Kasutatud on järgmisi tähiseid:

- f materjali tugevus,
- f_d materjali arvutuslik tugevus,
- f_k materjali normatiivne tugevus,
- f_m materjali keskmine tugevus (matemaatiline ootus),
- p jaotuse suhteline tihedus,

$$\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (f(x) - f_m)^2}{n(n-1)}} P \quad \text{tõenäosus,}$$

σ standardhälve

σ

=

- näitab kõikumist ümber ootuse.

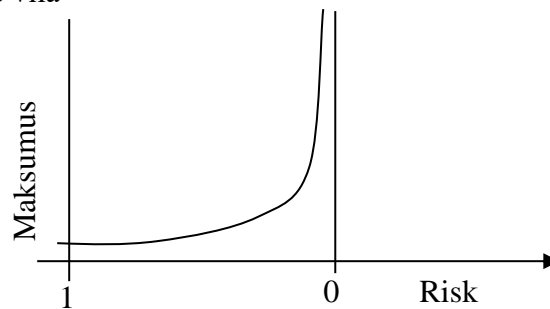
Graafiku sisu on lühidalt järgmine - graafiku kõver esitab kõiki võimalikke materjali tugevusi väljavõetuna tema üldisest massist (näit üksik kivi). Tihedus p näitab kui suur on selle konkreetse tugevuse osakaal üldisest tugevuste kogumist (näit kui kogum on sada kivi, siis mitu kivi on selle konkreetse tugevusega), standardhälve näitab tugevuse kõrvalekallet tema keskmisest väärtusest. Toenäosusega $P = 1$ on kõik kogumi tugevused graafikul esitatud, seega võime viirutatud pinna suuruse võtta võrdseks 1 - ga.

Põhimõtteliselt huvitab meid küsimus, missuguse tõenäosusega on tugevus f_x garanteeritud kogumis. 3σ -ga määratud pindala võrdub $\sim 0,5$ -ga, seega võime väita, et tugevus f_m , on garanteeritud nn mõlemapoolse tõenäosusega 0,5, st et tõenäosus, et temast väiksemaid väärtusi ka esi- neb on 0,5 ja ka suuremaid väärtusi esi- neb tõenäosusega 0,5.

Ehituskonstruktsioonide valmistamisel tuleb alati tegijal võtta endale mingisugune risk tule- muse suhtes, st peaks olema selge, kui suur on tõenäosuslik varisemine või avarii. Normaaljao- tuse graafiku uurimisel selgub, et graafiku alune pindala, mis on määratud 3σ -ga mõlemale poole keskvaärtust on $\sim 0,9973$. Seega ühepoolne tõenäosus, et suurus f_d oleks väiksem kui 3σ -ga määratud väärtus on $P = 0,00135$. Üldiselt on kogu maailmas omaks võetud nn 3σ reegel riskide määramisel. Piltlikult tähendab see, 1000 juhuse kohta ainult 1,35 nendest võivad omada lubatust suuremat hälvet. Kui me püstitame nõude, et meie müürituses ei tohi olla nõrgemaid kive, kui tugevusega f_d , siis tuleb kogu partii kive valmistada eeldusel, et nende keskmine tu- gevus oleks f_m ja standardhälve oleks σ , sellisel juhul peaksid kogu partiist 99,6 % kivisid olema

tugevamad kui f_d . Sellise suure "ülekulu" määrab riski piir. Otsustavat osa mängib siin standardhälve σ , kui õnnestub standardhälbe suurust vähendada, siis läheneb f_m f_d -le, st kivide keskmine tugevus on iseloomulik suuremale osale partiist. Standardhälve iseloomustabki tootmistehnoloogiat ja temas esinevaid kõrvalekaldeid, mida väiksem on standardhälve seda parem on konkreetne tootmistehnoloogia. Suur standardhälve tähendab piltlikult öeldes liga-loga tootmist, kus niiõelda hommikul tulevad liinilt head kivid ja õhtupoole hoopis teised. Litsentseeritud tootmise puhul kontrollitakse pidevalt tehase tehnoloogiat, kusjuures standardhälbele (siit nn variatsioonitegur) kehtestatakse mingi maksimaalne piir. Üldiselt on kehtestatud, et tehas peab garanteerima oma toodangu müümisel selle tugevuse 95 % tõenäosusega, sellist suurus tähistatakse f_k -ga. Selle nn toodangu margi puhul määratakse eeltoodust lähtudes materjali arvuslik tugevus vastavalt 3σ reeglile.

Riskide uurimisel on selgunud, et riski vähendamise majanduslik maksumus kasvab lõpmatult suureks, kui üritada riski nulliks viia-



Skeem 3.4 Riski hind

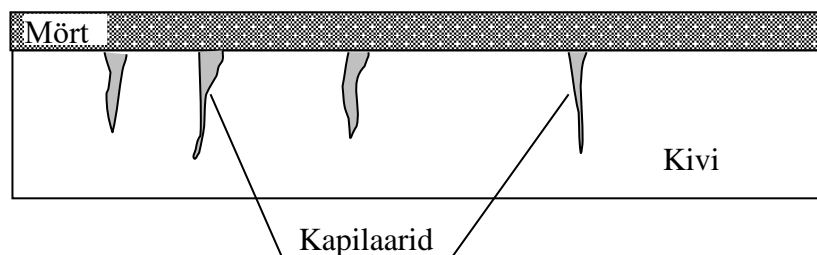
Vaatleme kivide ligikaudseid (normatiivseid) tugevusi sõltuvalt nende liigist	
keraamiline tellis	10...15 MPa,
silikaattellis	10...20 MPa,
tsementkivid	15...30 MPa,
väikeplokid	
põlevkivituha	3,5...5 MPa,
silikaaltsiidist	4...6 MPa,
betoonist	10...15 MPa.

Kivide deformatsiooni omadused on seotud survetugevusega enamvähem lineaarselt.

Muud omadused

Veeimavus

Suurt tähtsust omab kivide veeimavus, mis on otseselt seotud kivide poorsusega. Haprad materjalid on üldiselt nn lahtiste pooridega st, et poorid on omavahel ühendatud. Kivi märgumisel tõmmatakse vesi kapillaarjõudude toimel kaunis ruttu kivi sisse. Selline omadus on aluseks kivide ja sideaine (mördi) vahelise nakke loomisel.



Skeem 3.5 Mördi nake kividega

Mört imetakse koos veega kapilaari, pärast mördi kivistumist moodustub tugev ühendus. Poorsus on ka kasulik soojapidavuse seisukohalt, mida rohkem poore, seda soojem on kivi.

Suur pooride hulk nõrgestab aga kivi skeletti ja vähendab tema tugevust. Veega täitunud pooride läbikülmumine lõhub kivi struktuuri ja vähendab tema külmakindlust. Lõpuks tuleb mainida veel kivide tulepüsivust, tihedamad kivid on tulekindlamad.

Katsed on näidanud, et veega täitub ainult osa pooridest-

Kivi	Veemavus kaalu %	Pooride hulk mahu %
Keraamiline tellis	ca' 17	ca ' 36
Silikaattellis	10. .. 16	
Tsementkivid	8... 10	

Külmakindlust mõõdetakse veegatäidetud pooridega kivi läbikülmumise tsüklite arvuga, mille puhul kivil ei ole veel olulisi vigastusi. Minimaalne külmakindlus on kivil 15...20 tsüklit.

Kuumakindlus on tähtis kivide omadus. Savitellised on üldiselt hea kuumakindlusega, kuna nad on põletatud 900... 1000 °C juures. Silikaatkivide kuumakindlus on väiksem. Tsementkive lubatakse kasutada 150. .700 °C juures. Eriti rasketes tingimustes kasutatakse kuumakindlaid kive. Tuntumad kuumakindlad kivid on

šamottellis,
magnesiitkivid,
dolomiitkivid ja teised.

Sõltuvalt koostisest võib näiteks šamottellise tulekindlus olla kuni 1700 °C.

Happekindlus on vajalik tihti erikonstruktsioonides. Happekindlas kivil on kas puhas kvarts või alumiiniumdioksiid. Kivi põletatakse paakumiseni. Veemavus peaks olema alla paari protsendi.

3.2 Mördid

Müüritise loomiseks on kivid omavahel vaja siduda mördiga. Mördi koostis on tavaliselt sideaine, liiv ja vesi.

Mört liigitatakse põhimördiks(mördiks) ja peen- või kergmördiks vastavalt mördi koostisele. Põhimördi täitematerjaliks kasutatakse üldiselt kvartsi liiva.

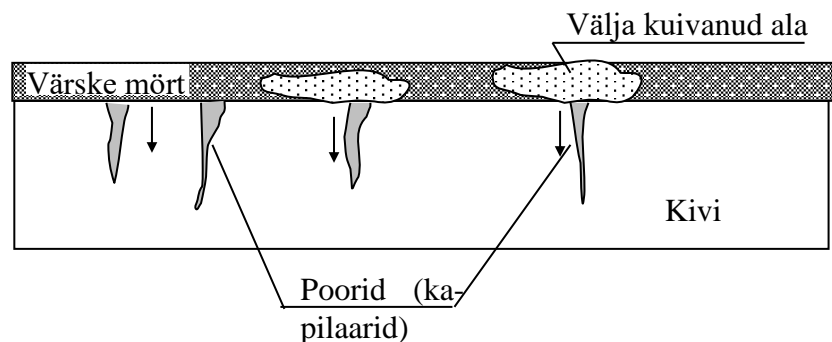
Peenmört on mõeldud kasutamiseks horisontaalvuukides nimipaksusega 1 ... 3 mm.

Kergmörtide täitematerjaliks kasutatakse perliiti, pimssi, keramsiiti, granuleeritud tuhka või klaasi. Võib ka kasutada muid proovitud materjale.

Täiendavalt liigitatakse mörte arvutusliku survetugevuse ehk margi põhjal, tähistades seda tähega M, millele järgneb mördi survetugevus MPa-tes, näiteks M5. Mörte võib iseloomustada ka kaalusuhtega, näiteks 1: 1: 5 (tsement:lubi:liiv).

Mördil peavad olema järgmised vajalikud omadused:

- tugevus,
 - nakkuvus kividega
 - plastilisus (tööeldavus, mört on hästi laotatav müürile),
 - hea võime hoida endas vett,
 - vähene agressiivsus.
- Mördi vaime hoida vett on tähtis müüritise tugevuse saavutamiseks.



Skeem 3.6 Vee liikumine värskes müüris

Müüri ladumise ajal on kivid üldiselt õhkuivad ja hakkavad värskest mördist vett välja imema. Halvemal juhul tõmmatakse mört nii kuivaks, et katkeb tsementkivi tekkimine. Mört kuivab

välja ja ei saavuta vajalikku tugevust. On vajalik, et mördis oleks vett siduvaid ained, mis takistaksid vee eemaldamist mördist.

Tuntumad klassikalised mördid on:

- tsementmört,
- segamört,
- lubimört.

Nende mörtide omadused on järgnevas tabelis

Mördi liik	Tugevus	Nake kivi-dega	Plastilisus	Võime vett hoida	Agressiivsus naha suhtes
Tsementmört	v.he	halb	väike	väike	väike
Segamört	keskmine	hea	keskmine	keskmine	tugev
Lubimört	väike	hea	hea	hea	tugev
Plastifikaatoritega tsementmört	hea	hea	hea	hea	

Nool vastava lahtri taga näitab selle omaduse kasvu. Mördi valikul peaks kaaluma kõiki neid omadusi ja nende omavahelist seost.

Praegusel aja on võimalik lubi mördis asendada keemiliste plastifikaatoritega, mis annavad võimaluse valmistada kõikidele tingimustele vastavat mördi.

Mörtide tugevusskaala on 1 ... 15 MPa.

Eristatakse põhi- ja kergeid mörte vastavalt kasutatavale täitematerjalile.

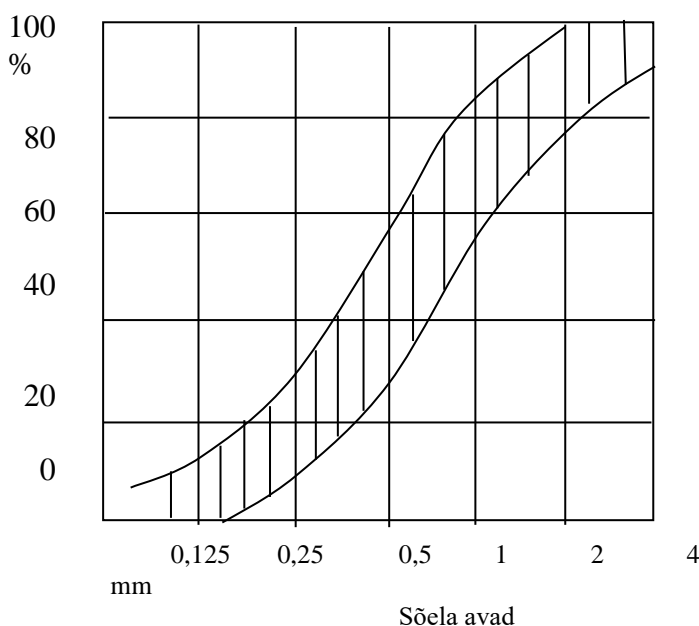
Põhimörtide mahumass võetakse piirides 1600...2200 kg/m³, kergeitel mörtidel alla 1600 kg/m³.

Mörtide koostis

Sideained jaotatakse õhk- ja hüdraulilisteks. Esimesed kivinevad ainult õhu käes, mitte vees.

Hüdraulilised sideained kivinevad pärast veega segamist nii õhu käes kui ka vees. Tuntum õhk-sideaine on õhklubi, hüdrauliline – tsement.

Täitematerjalina kasutatakse tavaliselt liiva või purustatud kivimit. Mördi omaduste seisukohalt on tähtis liiva teraline koostis. Mörtide puhul määratakse sobiv liiv nn sõelkõvera järgi.



Vertikaalsel teljel näidatakse sõela läbinud materjali hulk %-des üldisest kogusest, horisontaalteljel kasutatud sõelte silma mõõt. Heas liivas peaks olema peent osist läbimõõduga 0...0,25 mm 10 ... 30 %, põhiosa liivast peaks koosnema ca' 2 mm läbimõõduga teradest. Tuleb meele pidada, et lisatud värvijahud toimivad peene osisena.

Mördi segamisel mahuvahekorras tuleb arvestada, et liiva niiskus muudab oluliselt tema mahtu.

Skeem 3.7 Liiva sõelkõver mördile

Vesi mida kasutatakse mördis peab olema puhas. Üldiselt peetakse kõige paremaks, kui kasutatav vesi vastab joogivee nõuetele.

Lisandeid kasutatakse mitmesugusel eesmärgil

Kivinemist kiirendavad ja aeglustavad lisandid.

Pooride hulka suurendavad ained parandavad mördi töödeldavust, mörti viiakse täiendav kogus õhku peente mullidena.

Plastifikaatorid toimivad samal eesmärgil ilma õhu lisamiseta mörti.

Värvide osakaal võib olla maksimaalselt 8 % sideaine kaalust.

Lubimördi algne tugevnemine on seotud vee eemaldumisega mördist kas õhku või kividesse.

Tegelik kivinemine on seotud lubja reaktsiooniga õhu süsihappegaasiga. See reaktsioon toimub kõige paremini õhu suhtelise niiskuse juures 65.. 75 %. Kui segu on liiga kuiv või liiga märg, siis kõvendumisreaktsioon aeglustub või jääb hoopis seisma, mördi tugevus võib jääda väga kehvaks. Mört ei kivine ka siis, kui õhu süsihappegaasi juurdepääs on takistatud. Lubimörti võib hoida maa sees augus või kindlana kaetult pikka aega.

Lubimört on väga hästi töödeldav ja hoiab hästi vett. Tema tugevus jääb siiski suhtelisel tagasihoidlikuks

Tsementmört kivistub nii õhu käes kui vee all kuna tsement on hüdrauline sideaine. Kivinemine toimub kiiresti (3 p jooksul ca' 70 % tugevust) ja lõplik tugevus on suur. Mördi põhiliseks puuduseks on tema suur jäikus. Oluline on, et kivinemise esimesel päeval oleks mördis piisavalt vett. Tsementkivi tekkimine tarbib täiendavat vett, mis peab olema vabalt mördi poorides või mida tuleb vajadusel täiendavalt juurde anda. Tsementmördiga tehtud konstruktsioonid tahavad üldiselt kastmist. Mördi varajasel väljakuivamisel lõpeb kivinemise reaktsioon, mis hiljem enam ei jätku - mört ei saavuta vajalikku tugevust; nakkeomadused jäävad väga kesiseks.

Segamördi omadused on kahe eelpool nimetatud mördi vahepealsed. Lubja ülesandeks on põhiliselt mördi töödeldavuse tõstmine. Kõige paremad tulemused saadakse juhul, kui mõlemat komponenti on kaaluliselt ühe palju. Lubimört vähese tsemendi kogusega võib jääda nõrgemaks tavalisest lubimördist kuna tsement kui peen materjal takistab süsihappegaasi pääsu seesse ja lubi ei kõvene.

Liimid

Viimasel ajal kasutatakse müüri ladumisel ka mitmesuguseid liime. Mördi koostis on liimaine, peenliiv, plastifikaator ja vesi. Sellise mördiga võib saada väga õhukesi vuuke. Liimidena kasutatakse kaseiine ja mitmesuguseid tselluloosil põhinevaid aineid. On kasutatud vesiklaasi ja epoksüüde. Peab siiski arvestama, et õhukese vuugi puhul pingete jaotus müüris ei vasta enam tavalise paksusega vuugiga müürile, seda tuleb eriti arvestada suurte koormuste puhul .

4. Müürituse töötamine, müüri omadused**4.1 Üldpõhimõtted**

Müüritus töötab alati mingi konstruktsiooni osana, kusjuures tema töötamise all me mõtleme tema poolt kõikvõimalike koormuste vastuvõtmist. Võimائيke koormuste diapason on väga suur

mitmesugused koormused rakendatud jõududena,

ilmastiku mõju,

soojuskoormus,

keemilised mõjud jne.

Kõikide nende koormuste puhul peab müüritis suuremal või vähemal määral (lühema või pikema aja jooksul) olema eksploatatsiooni kõlbulik ja täitma temale pandud ülesannet.

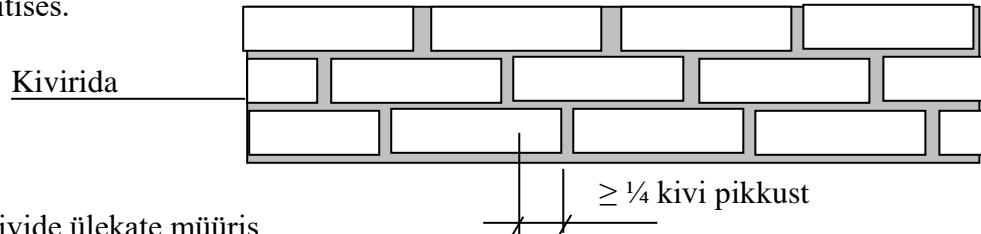
4.2 Müürituse töötamine survele

on üks tema põhilisi ülesandeid. Olles hoonete või rajatiste osaks kannab müüritis tavaliselt mitmesuguseid konstruktsiooni koormusi. Oma eluaseme rajamisel vajab inimene seinu lagede

ja katuse toetamiseks ja ka välise külma eristamiseks toast.

Müüri tegemist me nimetame tavaliselt müüri ladumiseks, mis tähendab kindlatele nõuetele vastava müüri ehitamist kividest ja mördist.

Müüri üks põhilisi vajalikke omadusi on tema monoliitsus, terviklikkus. Kõik kivid müüris peavad olema oma vahel seotud. Aegade jooksul on ilmnenud, et kui laduda müüri mingite kindlate mustrite järgi, siis on kindlustatud ka müüri üldine tugevus. Suurt tähtsust omab kivide ülekate müüritis.



Skeem 4.1 Kivide ülekate müüris

Üldiselt nõutakse, et kivide ülekate oleks vähemalt $\frac{1}{4}$ kivi pikkust ja mitte vähem kui 40 mm, sel juhul peaks olema garanteeritud müüritise kompaktno töötamine.

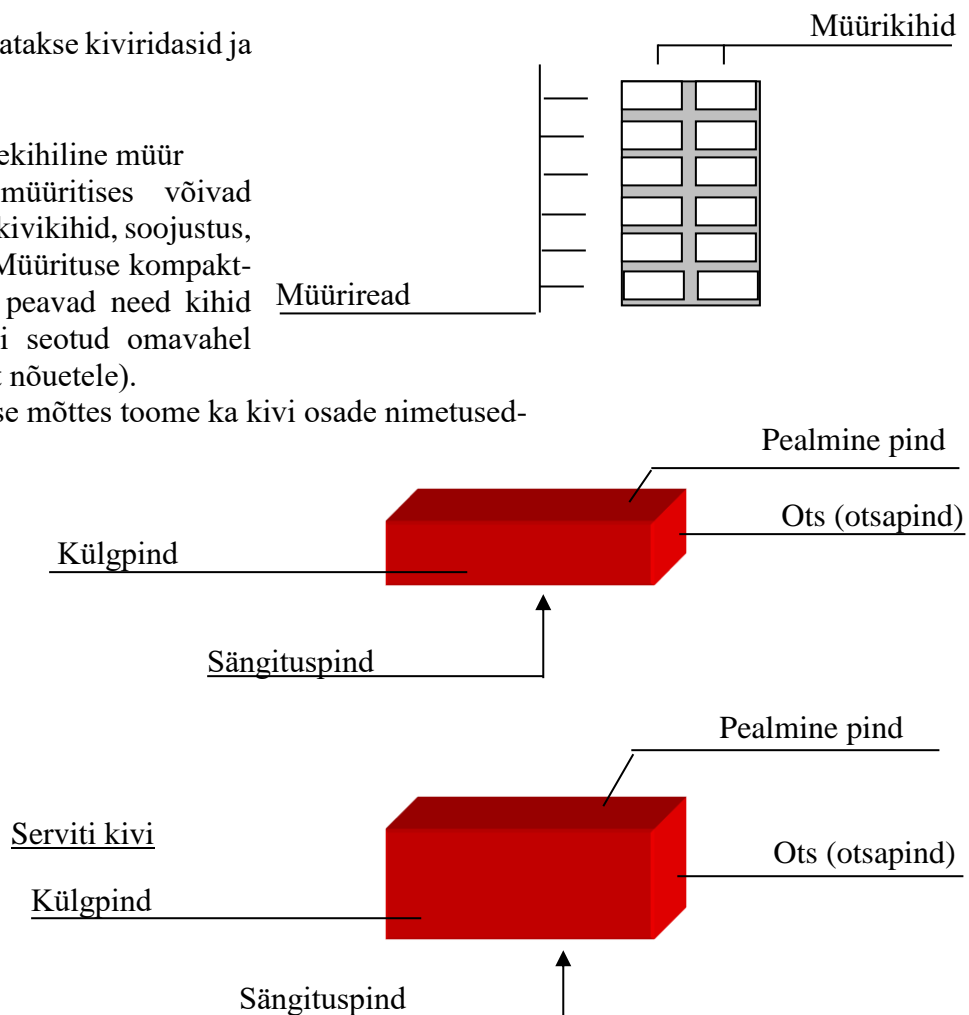
Müüri puhul eristatakse kiviridasid ja müürikihte.

Skeem 4.2 Mitmekihiline müür

Mitmekihilises müüritisel võivad olla vaheldumisi kivikihid, soojustus, isolatsioon jms. Müürituse kompaktsuse seisukohalt peavad need kihid olema kõik hästi seotud omavahel (seotud vastavalt nõuetele).

Edaspidise selguse mõttes toome ka kivi osade nimetused-

Lapiti kivi



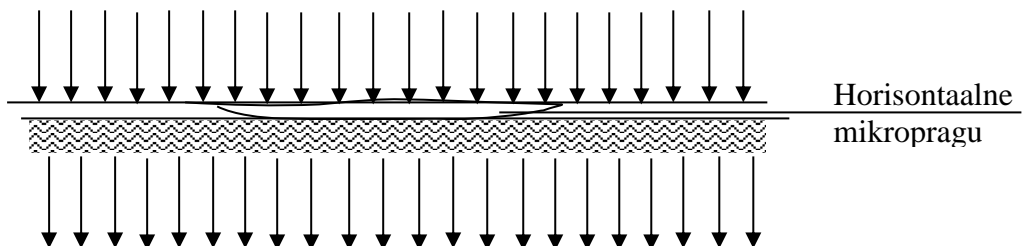
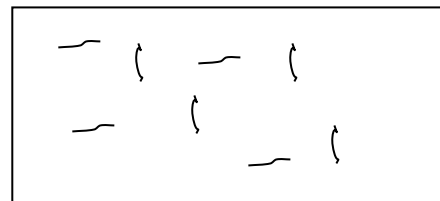
Skeem 4.3 Kivikülgede nimetused

Nagu jooniselt on näha sõltuvad külgede nimetused osaliselt kivi orientatsioonist müüris. Sängituspind on alati see pind, millega kivi toetub müürile. Müüritise töö uurimisel survele peame vaatama abiülesannet hapra materjali purunemise kohta.

Hapra materjali purunemine on seotud sidemete lõhkumisega materjali moodustavate aineosakeste vahel. Peale selle tuleb purunemismudeli koostamisel arvestada, et hapras materjal on alati suur hulk vabalt orienteeritud mikropragusid, materjaliosakesed ei ole üldse nakkunud, väikesed poorid jne. Lihtsuse mõttes vaatleme ainult horisontaalseid ja vertikaalseid mikropragusid.

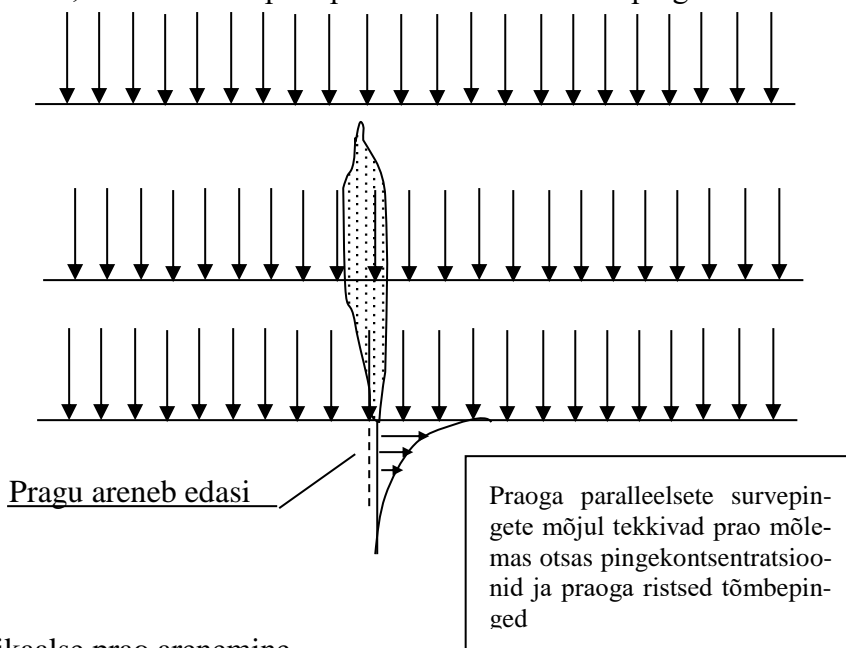
Skeem 4.4 Mikropraod kivis

Horisontaalne mikropragu surutaks jõuvälja poolt kokku ja ta ei muuda üldist tugevust.



Skeem 4.5 Jõuvälja jätkumine läbi horisontaalse mikropraod

Elastusteooria näitab, et vertikaalse praod puhul tekib keerulisem pingelõukord.



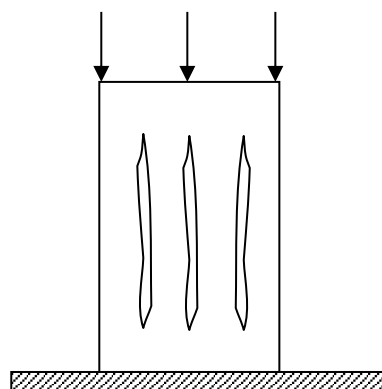
Skeem 4.6 Vertikaalse praod arenemine

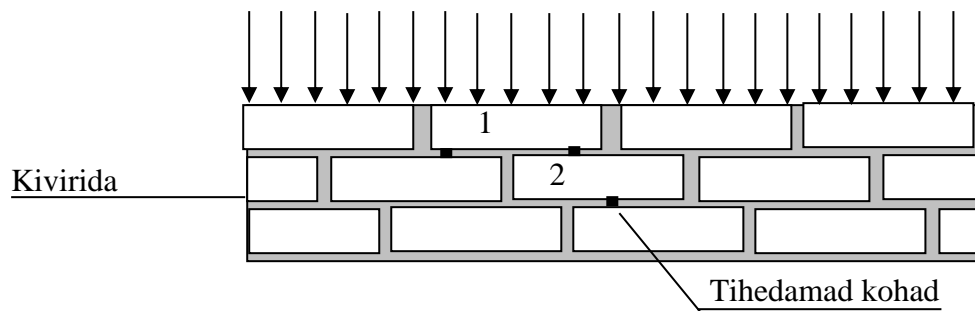
Kuna hapra materjali tõmbetugevus on väikene, siis areneb vertikaalpragu edasi juba keskmiste survepingete puhul.

Üldine purunemine toimub tõmbepurunemisena-

Skeem 4.7 Purunemiseskeem

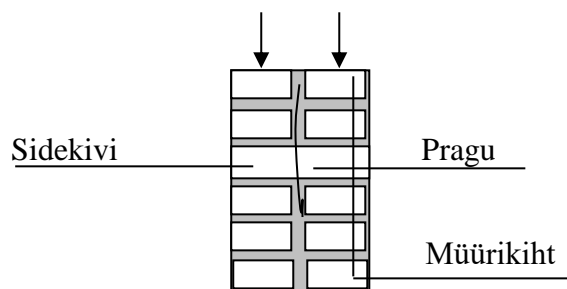
Müüritise töötamiseskeem-





Skeem 4.8 Kivide töötamine müüris

Võib ette kujutada, et mört ei ole täiesti homogeenne materjal ja temas esineb tihedamaid ja hõredamaid kohti, üksikuid suuremaid liivaterasid või kivikesi. Kui sellised tihedamad kohad sattuvad vuuki joonisel näidatud viisil, siis võib kivide töötamise skeem oluliselt muutuda. Näiteks kivi nr 1 hakkab tööle lihttalana kahel toel, mille keskel tekkib avamomendist tõmbejõud alumises kius. Kivisse tekkib vertikaalne pragu. Kuna purunemine toimub tõmbele, siis esineb see küllalt varases koormamise staadiumis. Kuivõrd müür on pikisuunas tavaliselt pikk, siis piiratud horisontaalse deformatsiooni tõttu selline kivide purunemine ei too kaasa veel olulist müürituse tugevuse langust (vertikaalsed praod ei saa oluliselt areneda). Halvem on olukord müüritise ristisuunas.



Skeem 4.9 Müüritise lõhenemine

Parast sidekivisse prao tekkimist lõheneb müür vertikaalset vuuki mööda kuna nake kivide ja mördi vahel ei ole eriti suur.

Arvestades kõiki neid asjaolusid tuleks nüüd kujundada müüritise seotised ja konstruktsioon. Ajaloo vältel on need seotised kujunenud katse-eksituse meetodil, kaasajal on juba teadlikult väljapakutud mitmesuguseid seotisi ja lahendusi müüritise kujundamisel.

Müüri seotised

Müüriseotised on välja kujunenud tugevusest lähtudes ja müüri välisilme seisukohalt. Nagu eespool juba mainitud omab tugevuse seisukohalt suurt tähtsust kivide ülekate.

Tuntumad seotised on järgmised.

plökkseotis;

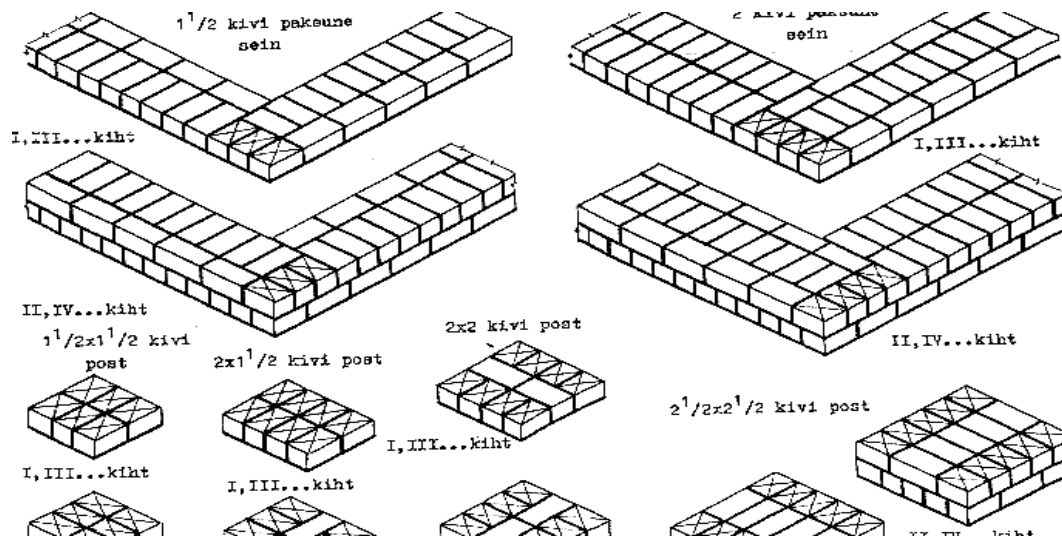
ristseotis;

mitmekihiline seotis;

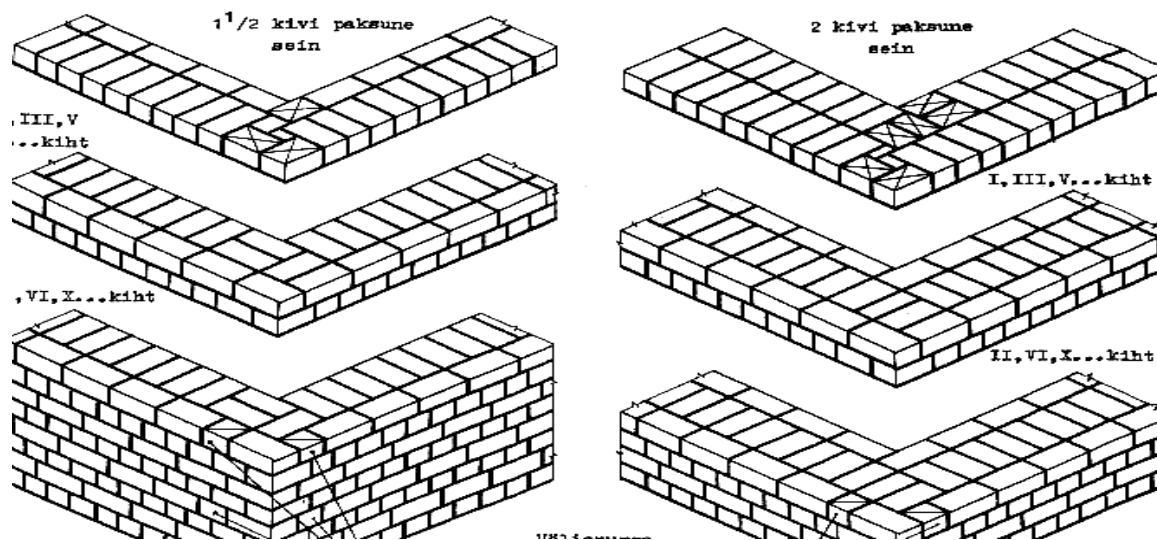
kaevmüüritise seotis.

Plökkseotises vahelduvad põiki- ja pikikiviread omavahel. Müürikirja järgi asetsevad põiki- ja pikikivid ning nende vahelised vuugid üle ühe rea kohakuti.

Klassikaline plökkseotis



Skeem 4.10 Klassikaline plokkseotis
Ristseotis

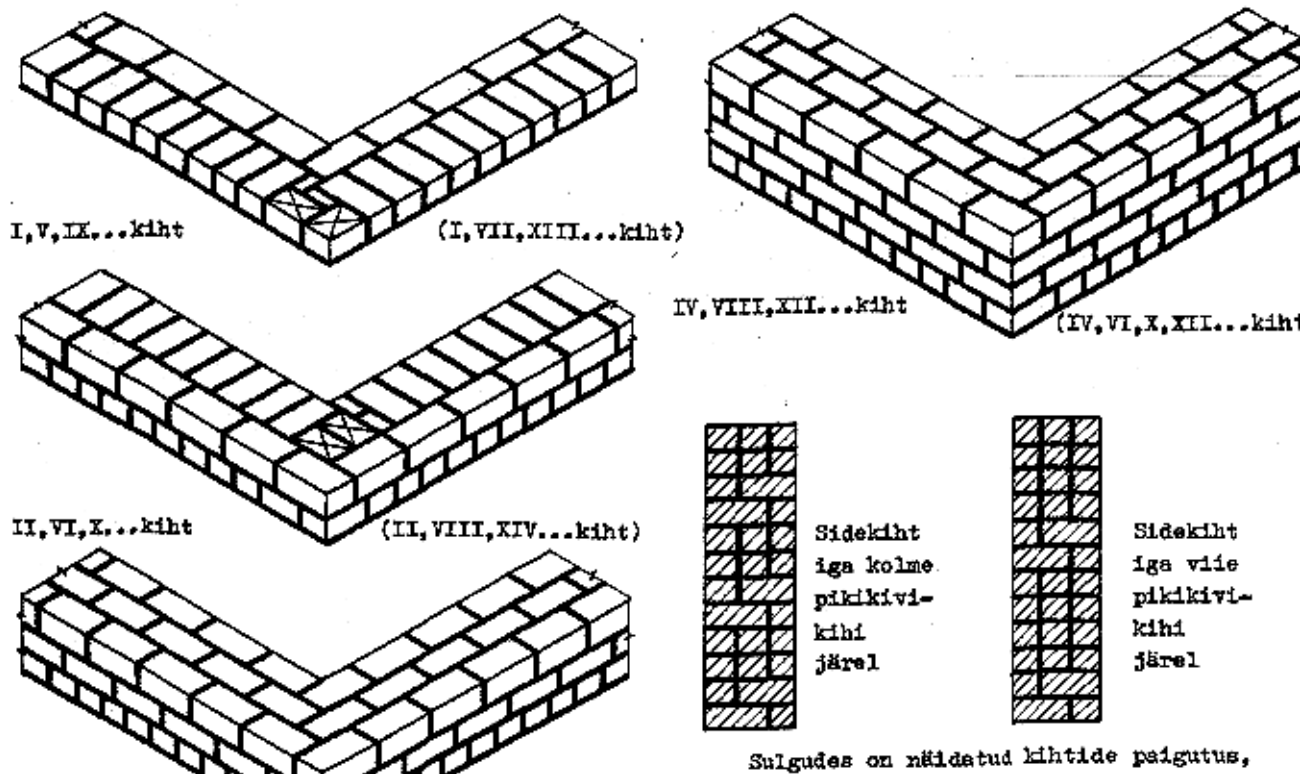


Skeem 4.11 Ristseotis

Ristseotis erineb plokkseotisest selle poolest, et kõik põikivid asetsevad kull kohakuti, kuid pikikivid on igas järgnevas pikikivireas alumiste suhtes $\frac{1}{2}$ tellise võrra nihutatud. Selleks tuleb igas neljandas reas laduda nurgatellise kõrvale $\frac{1}{2}$ tellis. Ristseotist kasutatakse puhasvuuk müüritistes.

Mitmekihilised seotised võimaldavad oluliselt tõsta müüri ladumise jõudlust, saab ära kasutada poolikuid telliseid täiteridades, saab laaduda soojustusega seinu, seina saab vooderada hinnaliste materjalidega (kividega).

Mitmekihilise seina puhul laotakse kuni 5 rida telliseid kohakuti, ilma sidumata põiki müüri.



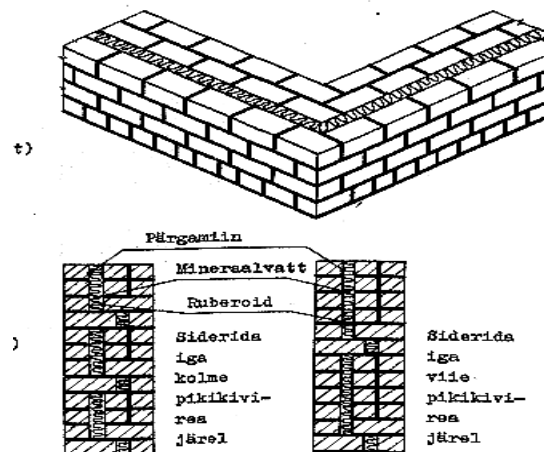
Järgneb siderida ja uuesti 5 kohakuti rida.

Skeem 4.12 Mitmekihiline müüritis

Vertikaalse kihi liiga suur sidumata kõrgus võib tuua kaasa selle kihi välja nõtkumise müürist. Katsed on näidanud, et sidumata osa kõrguse puhul kuni 5 kivirida ei ole mitmekihilise müüritise tugevus oluliselt madalam täielikult seotud müüritise tugevusest.

Kihtide omavaheliseks sidumiseks kasutatakse nii kivist sideridasid, kui metallankruid. Kui nõuetele vastavat sideridadega müüri võib töötamise seisukohalt vaadelda tervikuna (koormused jaotuvad kõikide kihtide vahel proportsionaalselt nende jäikustele), siis metallankrute kasutamisel töötavad kõik kihid eraldi, üksteisest sõltumatult. Neid asjaolusid tuleb tingimata arvestada hoonete projekteerimisel ja ehitamisel.

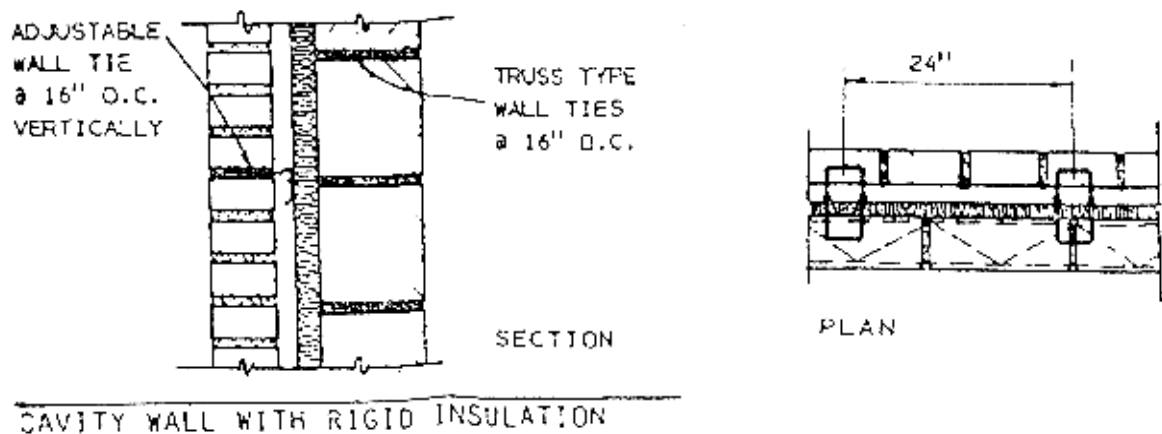
Soojustatud sein



Skeem 4.13 Soojustatud sein kivist sideridadega

Peab ütleva, et kaasaegsete soojustehniliste nõuete tõttu ei ole praktiliselt enam võimalik kasutada soojustatud seinas kivist sideridasid. Soojustuse paksumus vastavas kihis jääb liiga õhukeseks. Rohkem on kasutusel nn kombineeritud seinad kus välisvooder on kvaliteetkivist, sellele järgneb soojustuse kiht ja põhisein on näiteks õõnsustega väikeplokkidest.

Soojustusega sein



Skeem 4.14 Soojustusega sein väikeplokkidest

4.3 Müüritise tugevus

4.3.1 Müüritise survetugevus

Müüritise survetugevus määratakse üldiselt katsetamise teel. On välja töötatud ka empiirilised avaldised müüritise tugevuse määramiseks, kui katsandmed puuduvad.

Juhul, kui katstegemine ei ole võimalik või katseandmed ei ole kättesaadavad võib kasutada ka empiirilisi avaldise vastavalt EVS-EN 1996-1-1:2005+A1:2012¹ (p 6.1.2).

Põhimördil (vastavalt j 3.2.1) laotud armeerimata müüritise, mille kõik vuugid rahuldavad j . 8.1.5(1) ja (3) nõudeid ja on täidetud (vt ka j 3.6.2.5), normsurvetugevuse võib leida avaldisega

$$f_k = K f_b^{0,7} f_m^{0,3}, N/mm^2$$

eeldusel, et f_m ei võeta suurem kui $2f_b$ ega suurem kui $20 N/mm^2$, kus K on konstant. K väärtuseks võetakse:

— *0,55 esimese tugevusgrupi kividele, kui müüri paksus on võrdne kivi laiuse või pikkusega ja seinas või tema osas ei ole pikisuunalist püstvuuki;*

— *$0,55 \times 0,82 = 0,38$ esimese tugevusgrupi kividele, kui müüris on pikisuunaline püstvuuk;*

f_b — *vastavalt j 3.1.2.1 määratud kivide normaliseeritud survetugevus N/mm^2 koormuse rakendamise suunas;*

f_m — *põhimördi keskmine survetugevus N/mm^2 .*

Vastavalt EVS-EN 1996-1-1:2008 j. 3.1.1 kuuluvad ilma õõnteta kivid esimesse tugevusgruppi.

Normaliseeritud survetugevuse väärtuse f_b annab kivide tarnija vastavas sertifikaadis (fiboplokkide puhul võib võtta $f_b \approx$ ploki margiga).

Katsed on näidanud, et müürituse tugevuse juurdekasv ei ole lineaarne kivide tugevuse juurdekasvuga, vaid kahaneb pidevalt. Sama kehtib mördi mõju kohta müürituse tugevusele. Varasem seisukoht oli, et alates teatavast mördi tugevusest (~ 10 MPa) müürituse tugevus enam ei kasva.

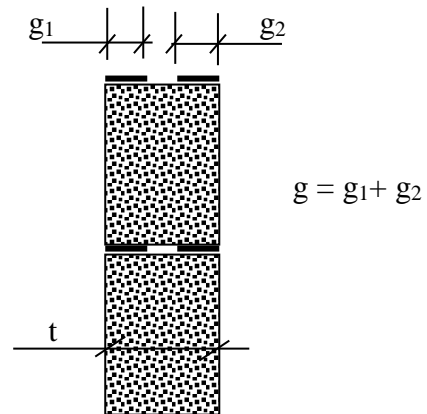
¹ Tuleks arvestada, et standardeid korrigeeritakse 3...4 aasta möödudes

Osaliselt tühjade püstvuukidega armeerimata müüritise normsurvetugevuse võib määrata sama avaldise alusel ja kasutada tugevusarvutustes eeldusel, et nihkevastupanu igasugusele horisontaalkoormusele horisontaalvuugis vastab nõuetele.

Tühjade vertikaalvuukidega müüritises peavad kivide otsad olema tihedalt üksteise vastas.

Kestsängitusega müüritise puhul võetakse teguri K väärtuseks 1. grupi kivide puhul 0,55, kui $g/t = 1,0$ ja 0,28, kui $g/t = 0,5$, seejuures peab olema täidetud järgmine tingimus:

— suhe $g/t \geq 0,4$.



Skeem 4.15 Mõrdiribad kestsängituse puhul

4.3.2 Müüritise nihketugevus

Vastavalt EVS-EPN 1996-1-1:2008 j. 3.6.2.3 võib

katseandmete puudumisel või eriobjekti puhul põhimördil laotud ja nõuetele vastavate vuukidega armeerimata müüritise normnihketugevuseks f_{vk} võtta vähima järgmistest suurustest:

$$f_{vk} = f_{vko} + 0,4\sigma_d,$$

$$f_{vk} \leq 0,065, \text{ kuid mitte vähem kui } f_{vko},$$

kus

f_{vko} — nihketugevus survepingete puudumisel lõikepinnal (vastavalt EN 1052-3² või EN 1052-4) või lisaaineid ja lisandeid mittesisaldava põhimördi puhul tabelist 3.5 võetav väärtus;

Märkus. Kui ei ole vastavaid katseandmeid või ei ole tehtud katseid vastavalt EN 1052-3 (vt p 3.2.2.3 (2)), võetakse f_{vko} väärtuseks 0,1 N/mm².

σ_d — lõikepinnaga risti mõjuv survepinge arvutuslikust koormuskombinatsioonist (arvestada võib ainult garanteeritud koormusi).

Katseandmete puudumisel või eriobjekti puhul võib põhimördil laotud müüritise, milles ristvuugid pole täidetud, kuid kivide otsad on tihedalt üksteise vastas, normnihketugevuseks f_{vk} võtta vähima järgmistest suurustest:

$$f_{vk} = 0,5 f_{vko} + 0,4\sigma_d,$$

$$f_{vk} = 0,045 f_b, \text{ kuid mitte vähem kui } f_{vko}.$$

Nihketugevuste f_{vko} väärtused põhimördi kasutamisel

Tabel 4.1(3.4)

Kivi tüüp	f_{vko} (MPa)			
	Põhimört		Õhukesekihi-mört (0,5 ... 3 mm)	Kergmört
Keraamiline tellis	M10-M20	0,30	0,30	0,15
	M2,5-M9	0,20		
	M1-M2	0,10		
Silikaatkivi	M10-M20	0,20	0,40	0,15
	M2,5-M9	0,15		
	M1-M2	0,10		
Betoonkivid	M10-M20	0,20	0,30	0,15
Poorbetoonkivid	M2,5-M9	0,15		
Tahutud looduskivid	M1-M2	0,1		

² Vt allmärkus 1

Esimese tugevusgrupi kividest laotud kahel mördiribal kestsängitusega müüritise mille mördiribade laius on vähemalt 30 mm ja nad asuvad sängituspinna välisservadel, normnihketugevuseks f_{vk} võib võtta vähima järgmistest suurustest:

$$g$$

$$f_{vk} = t f_{vko} + 0,4\sigma_d,$$

$$f_{vk} = 0,05 f_b, \text{ kuid mitte vähem kui } f_{vko},$$

kus

g — kahe mördiriba summaarne laius,

t — sein (müüri) paksus.

4.3.3 Armeerimata müüritise normpaindetugevus

Armeerimata müüritise normpaindetugevus f_{xk} määratakse katsete alusel.

Armeerimata müüritise normpaindetugevuse võib määrata kas EN 1052-2 (või SFS 5513) kohaste katsetega või katsetega, mille puhul kombineeritakse kivide ja mördi asendiga. Normpaindetugevus tuleks määrata kahe purunemise võimaluse alusel:

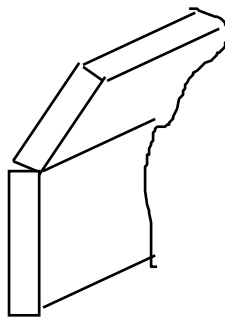
— purunemine sidumata vuugis f_{xk1} või

— purunemine seotud vuugis f_{xk2} (vt joonis 3.8).

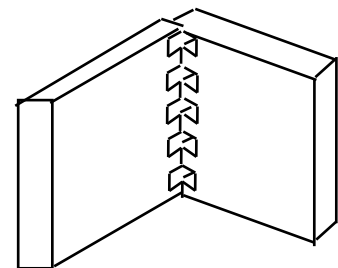
Müüritise paindetugevust f_{xk1} võiks kasutada ainult seinte arvutamisel ajutiste, risti seinapinnaga mõjuvate koormustega (näiteks tuulega); f_{xk1} võetakse nulliks, kui sein purunemine võib viia ehitise üldisele varisemisele või stabiilsuse kaotusele.

Paindetugevust võib liigitada vastavalt kasutatud kividele ja mördile ja tähistada tähega F , millele järgnevad normpaindetugevused F f_{xk1}/f_{xk2} (N/mm^2), näiteks F 0,35/1,00.

Niiskusisolatsioonikihi kasutamine seinas võib oluliselt mõjutada paindetugevust.



Purunemine sidumata vuugis



Purunemine seotud vuugis

Skeem 4.16 Paindepurunemine sidumata ja seotud vuugis

Arvutustes võib kasutada EVS-EN 1996-1-1:2008 tabeleid.

Normpaindetugevuse f_{xk1} väärtused paralleelvuugis purunemisel

Kivi tüüp	f_{xk1} (MPa)			
	Põhimört		Õhukesekihimört	Kergmört
	$f_m < 5$ MPa	$f_m \geq 5$ MPa		
Keraamiline tellis	0,10	0,10	0,15	0,10
Silikaatkivi	0,05	0,10	0,20	ei kasutata
Betoonkivi	0,05	0,10	0,20	ei kasutata
Poorbetoonkivi	0,05	0,10	0,15	0,10
Tehiskivi	0,05	0,10	ei kasutata	ei kasutata
Tahatud looduskivi	0,05	0,10	0,15	ei kasutata

Normpaindetugevuse f_{xk2} väärtused ristvuugis purunemisel

Kivi tüüp	f_{xk2} (MPa)			
	Põhimört		Õhukesekihimört	Kergmört
	$f_m < 5$ MPa	$f_m \geq 5$ MPa		
Keraamiline tellis	0,20	0,40	0,15	0,10

Silikaatkivi		0,20	0,40	0,30	ei kasutata
Betoonkivi		0,20	0,40	0,30	ei kasutata
Poorbetoonkivi	$\rho < 400$ kg/m ³	0,20	0,20	0,25	0,15
	$\rho \geq 400$ kg/m ³	0,20	0,40	0,30	0,15
Tehiskivi		0,20	0,40	ei kasutata	ei kasutata
Tahutud looduskivi		0,20	0,40	0,15	ei kasutata

Märkused.

1. Õhukesekihi- ja kergemördi mark on vähemalt M5;

2. f_{xk1} väärtused kehtivad nii täidetud kui täitmata vuugi korral, f_{xk2} väärtused ainult täidetud vuukide puhul;

4.4 Müüritise deformatsiooniomadused

4.4.1 Deformatsioonid müüritise koormamisest

Nagu uurimised on näidanud moodustab müüritise deformatsioonidest põhilise osa mördi deformeerimine. Seega on müüritise deformatsioonide vähendamise teeks mördivuugi hoidmine minimaalse (normaalse) paksuse juures. Müüritise kui hapra materjali deformatsioonid on peale elastsete deformatsioonide seotud mikropragude tekkimisega nii mördis, kui ka kivides. Mikropragude teket võib vaadelda, kui plastseid ja pöördumatuid deformatsioone. Plastsete deformatsioonide tõttu on $\sigma - \varepsilon$ diagramm müüritise puhul kõverjooneline.

Skeem 4.17 Tüüpiline $\sigma - \varepsilon$ diagramm lühiajalisel koormamisel

Sisejõudude määramiseks võetakse elastsusmoodul $f/3$ kõrguselt $E = \tan \alpha$ (nimetatakse ka algelastsusmooduliks, α on määratud seekandi järgi). Empiirilisel saadakse sama tulemus

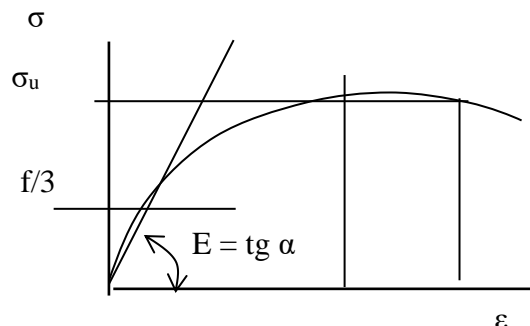
$$E \approx 1000 f_k .$$

Müüritise pikaajalise koormamisega kaasneb ka roomamise nähtus. Kõrgetel pingetel tekkivad müüritisse ajajooksul täiendavad mikropraod (oluline on siin mördi osa), deformatsioonid suurenevad ilma koormust (pinget) tõstmata. Seda arvestatakse elastsusmooduli väärtusega pikaajalisel koormusel

$$E_{\text{long, term}} = \frac{E_{\text{short, term}}}{1 + \Phi_{\infty}} ,$$

kus

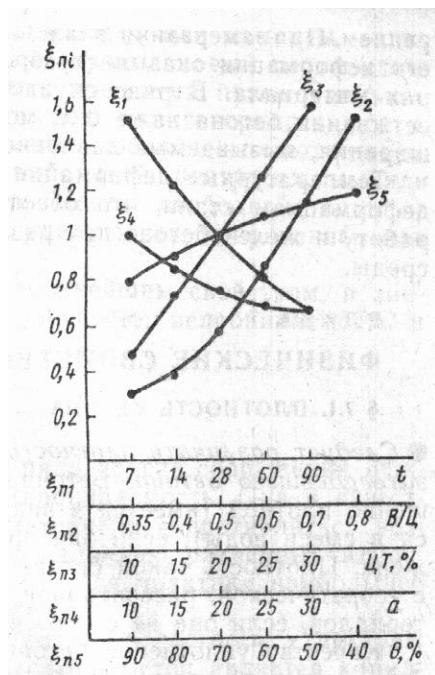
Φ_{∞} - lõplik roometegur. Sõltuvalt materjalist on $\Phi_{\infty} = 1 \dots 3$.



4.4.2 Muud deformatsioonid

4.4.2.1 Roomamine (roome)

Roomamine on nähtus, kus materjali deformatsioonid suurenevad aja jooksul ilma koormust suurendamata konstruktsioonile. Roomamise mehhanism pole päris selge. Roomamine esineb vähem kivimaterjalidel ja rohkem betoonidel.



Betoonide puhul on ka roomamise nähtus rohkem uuritud. Arvatakse, et roomamist betoonis (mördis) põhjustab tsementkivi plastne deformeerumine.

Kui võtta roome mõõduks tegur c_k (Ю. М. Бажнов, Технология бетона, Москва, 1987)

$$c_k = c_0 \xi_{n1} \xi_{n2} \xi_{n3} \xi_{n4} \xi_{n5},$$

siis järgmine graafik näitab vastava faktori mõju roomele.

Skeem 4.18 Roomet mõjutavad faktorid

- aeg päevades betooni tegemisest,
- V/T (vesi/tsement) tegur,
- tsemendi hulk betoonis,
- täiteaine tera suurus (mm),
- õhu relatiivne niiskus.

Roome tuleb eriti arvestada konstruktsiooni pikaajalisel koormamisel (alalised koormused).

Praegustes arvutuskeemides on roome mõõduks roometeguri Φ_∞ lõplik suurus.

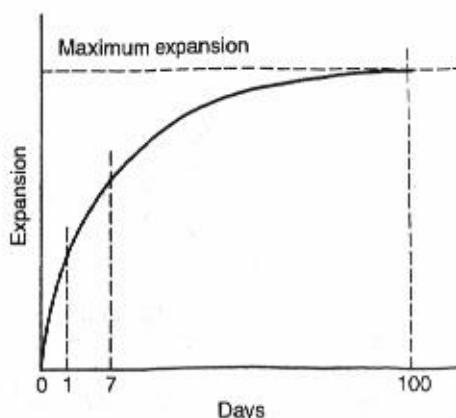
4.4.2.2 Deformatsioonid müüritise niiskumisest

Müüritise maht suureneb sõltuvalt niiskusest, mida müüritis endasse imeb või kui palju temast niiskust välja kuivab.

Järgmised pöördumatud deformatsioonid tekkivad peale kivide valmistamist sõltuvalt niiskusest -

keraamilised kivid paisuvad, suurenevad niiskussisalduse suurenedes, tsement- ja silikaatkivid vähenevad (mahukahnemine).

Peale põletusahjust tulekut keraamilised kivid imevad endasse atmosfääri niiskust ja paisuvad.



Skeem 4.19 Kivide paisumine peale põletamist

Põletusahjust tulnud kive ei tohiks ehitusplatsile viia enne kahe nädala möödumist. Põletusele järgnev kivide paisumine ei tohiks olla suurem kui 0,02 %.

Ehitusplatsil kaua vihmakäes seisnud kivid paisuvad, kuid see paisumine on pöörduv, peale kivide väljakuivamist see kaob. Sellist võimalikku paisumist (+ paisumine temperatuuri mõjust) tuleb konstruktsioonide projekteerimisel arvestada deformatsioonivuukide tegemisega.

4.4.2.3 Müüritise mahukahanemine

Müüritise mahukahanemine on otseselt seotud niiskusega müüritisel. Mahukahanemine on iseloomulik tsementsideainega materjalidele.

Betoonide kandvaks karkassiks on tsementkiviga (geel) kokku liidetud täiteaine. Tsementkivi ammutab kivinemiseks vajaliku vee teda ümbritsevast poorist. Pori tühjenemise tekkivad temas järgijäänud vee mõjul kapillaarjõud, mis tõmbavad poori seinad kokku - tekib mahukahanemine.

Mahukahanemine on seda suurem, mida suurem on vee osakaal betoonis ja mida rohkem on tsementi betoonis. Mahukahanemine toimub põhiliselt kahes järgus -

nn plastne mahukahanemine, kohe kivinemise alguses ja üldine mahukahanemine, mis kestab pikka aega (kuni aasta).

Sama protsess toimub ka betoonkividega müüritisel.

4.4.2.4 Temperatuuri mõju müüritisele

Müüritis kui materjal soojenemisel paisub. Soojenemine ise sõltub müüritise asukohast konstruktsioonis, tema pinna värvist jne.

Järgmises tabelis antakse mitmesuguste mõjutuste keskmised väärtused müüritisele.

Materjal	Pöörduv niiskuse deformatsioon (%)	Pöördumatu niiskuse deformatsioon (%)	Soojuspaisumisetegur ($10^{-6}/^{\circ}\text{C}$)
Punasesest kivist müüritis	0,02	+ 0,02...0,07	4...8
Silikaatmüüritis	0,01...0,05	- 0,01...- 0,04	8...14
Betoonkivimüüritis	0,02...0,04	- 0,02...- 0,06	7...14
Mullbetoonid	0,02...0,03	- 0,05...- 0,09	8
Liivbetoon	0,02...0,10	- 0,03...- 0,08	10...14
Teras			12