BETOON

Üldmõisted ja sissejuhatus

Betoon on sideaine, vee ning peene ja/või jämeda täitematerjali segust valmistatud tehiskivi. Betooniseguks nimetatakse kivistumata betooni, seehulgas on vesi ja sideaine betoonisegu aktiivsed komponendid ning nendevahelise reaktsiooni tagajärjel tekib tsementkivi, mis seob täitematerjalide terad omavahel.
Täitematerjalid (nt liiv, kruus, killustik) enamasti ei reageeri tsemendi ega veega ning moodustavad betoonkivis jäiga skeleti. Täitematerjalid aitavad vähendada ka betooni kahanemist, sest tsementkivi kivistumisel väheneb oma mahus oluliselt. Seega on tsement umbes 10-15% betooni massist, täitematerjalid umbes 85-90%.
Betooni omaduste muutmiseks on võimalik betoonis kasutada erinevaid lisandeid.

Joonis 1. Betoonisegu valamine.

Sideaineteks on betoonis peamiselt mineraalsed sideained - näiteks kõige populaarsemaks sideaineks on tsement, mis on spetsiifilise keemilis-mineraloogilise koostisega pulber, mille kindlates vahekordades segamisel veega tekib plasten taigen ehk pasta, mis keemilis-füüsiliste protsesside toimel tardub ning peale seda kivistub. Kivistumisel moodustub temast tehiskivi.

Täitematerjale kasutatakse betoonis selleks, et eelnimetatud taigen tardumise ja kivistumise protsesside tagajärjel vähem oma mahus muutuks. Samal ajal vähendab täitematerjalide kasutamine oluliselt betooni maksumust. Eestis kasutatakse betooni tootmisel peamiselt

kvartsliiva, kruuskillustikku ja killustikku (lubjakivist või graniidist) või tehislikult keramsiidist ehk kergkruusast.

Joonis 2. Killustik ja liiv.

Betoon on ehituses üks peamiselt kasutatavaid materjale. Kusjuures on betoonil teiste materjalide ees mitmeid eeliseid:

- betoonisegu on hästi vormitav, põhimõtteliselt on kuju mõttes piiramatud võimalused
- betoon on vastupidav tulekahjude korral (teras näiteks kaotab kandevõime sellises olukorras palju kiiremini)
- betoon on pikaajaline, remont ning korrashoid on suhtelised vähekulukad
- betoon on müra- ja helikindel
- betoon on ökonoomne materjal - energiakulu tootmiseks on madalam kui teistel materjalidel
- raudbetoon võimaldab valmistada erinevaid monteeritavaid elemente.

Betoonitööstus annab tänapäeval tööd hinnanguliselt kuni 60 miljonile inimesel kogu üle maailma. Eesti tuntuimad betoonisegu tehased on näiteks Betoneks AS, HC Betoon AS, Rudus AS, Ikodor AS. Mõned suuremad betoonelementide tootjad Eestis on E-Betoonelement AS, Muuga Betoonelement, Betoneks AS, Lasbet Tootmine AS.

Ajalugu

Esimene teadaolev betoonileid pärineb Ida-Serbiast, kust on leitud jahionni põrand, mis oli ehitatud lubjast, liivast ja kruusast. See võib olla pärit umbes 5600 aastat enne meie ajaarvamist.
1974 aastast pärineb prantsuse keemiku Joseph Davidovitschi hüpotees, mille kohaselt võiksid ka ca 4500 aastat eKr ehitatud Giza ja Sakkara püramiidid Egiptuses olla pigem lubjakivibetoonist kui looduskivist.
Umbes 3000 aastat eKr ehitatud Suure Hiina müüri ehitamisel võidi samuti kasutada just mineraalseid sideaineid.

Joonis 3. Suure Hiina müüri Jiankou sektsiooni taastamine.

Umbes 800 aasta jooksul oli muistse Rooma betoonehitistes kasutatav seinakonstruktsioon, millest vahed täideti betooniseguga. Vanim kasutuses olev betoonrajatis on Rooma Pantheon, mille konstruktsioon baseerub keral läbimõõduga 44 meetrit ning selle poolkerakujuline kuppel oli 1800 aasta jooksul maailma suurim.

Joonis 4. Rooma Pantheoni poolkerakujuline kuppel.

Eelmisel sajandivahetusel laienes betooni ja raudbetooni kasutamine plahvatuslikult. Laienes ka betooni omaduse mõjutavate faktorite uurimine. Leiutati ka betoonisegu konsistentsi hindamiseks mõeldud koonuskatse. Sel ajal tuletati ka palju erinevaid valemeid, mis aitavad betooni erinevaid omadusi omavahel siduda.

Eelmisel sajandil rajati näiteks esimene betoontee (USA), esimene 16. korruseline pilvelõhkuja (USA), esimene 40 meetri kõrgune raudbetoonist majakas (Venemaa) ning Eestis rajati Kasari jõe sild pikkusega ~300m ning vesilennukite angaarid Tallinnas.

Joonis 5. Praegune Lennusadam.

Mõisteid

Platsibetoon - kasutaja poolt ehitus-platsil oma tarbeks valmistatud betoon

Kaubabetoon - betoonisegu, mida tarnib isik, kes ei ole kasutaja

Valmiselement - betoonelement, mis on valatud ja kivistunud kohas, mis erineb lõppkasutuskohast

Normaalbetoon - betoon, mille kuivtihedus on 2000-2600 kg/m³

Kergbetoon - betoon, mille kuivtihedus on kuni 800 kg/m³

Raskebetoon - betoon, mille kuivtihedus ületab 2600 kg/m³

Kõrgtugev betoon - betoon, mille survetugevuse klass on normaal- ja raskebetooni puhul kõrgem kui C50/60 ja kergbetooni puhul kõrgem kui LC50/55

Etteantud omadustega betoon - betoon, mille nõutavad omadused ja täiendavad karakteristikud on tootjale ette antud

Etteantud koostisega betoon - Betoon, mille koostis ja kasutatavad materjalid on tootjale ette antud

Standardkoostisega betoon - etteantud koostisega betoon

Betoonipere - betooni koostiste kogum, mille kohta on kindlaks tehtud ja dokumenteeritud betooni asjakohaste omaduste vahelised usaldusväärsed seosed

Betooni kuupmeeter - betoonisegu kogus, mille maht tihendatuna on 1 kg/m³

Liikursegisti - segisti iseliikuval alusel, mis segab ja toimetab kohale betoonisegu

Segum - betoonisegu kogus, mis segatakse segisti ühe töötsükli vältel või pidevalt töötava segisti ühe minut toodang

Koorem - veokiga ühe korraga transporditav betoonikogu, mis koosneb ühest ja enamast segumist

Tarnimine - betoonisegu üleandmisprotsess tootja poolt

Keemiline lisand - komponent, mida lisatakse betoonile segamise käigus tsemendi massiga võrreldes väikeses koguses betoonisegu või kivistunud betooni omaduste muutmiseks

Peenlisand - mineraalne peenmaterjal, mida kasutatakse betooni teatud omaduste parandamiseks või eriomaduste saavutamiseks

Täitematerjal - betoonis kasutamiseks sobiv teraline mineraal-materjal. Täitematerjal võib olla looduslik, tehislik või taaskasutatav, valmistatud varem konstruktsioonis kasutatud materjalist.

Tsement - peenjahvatatud mineraalne materjal, mis veega segatult moodustab taigna, mis hüdratatsiooni tulemusena tardub ning kivistunult säilitab tugevuse ja püsivuse ka veel

Vesi-tsementtegur - betoonisegu efektiivse veesisalduse ja tsemendisisalduse massipõhine suhe

Efektiivne veesisaldus - betoonisegu summaarse veesisalduse ja täitematerjalidesse imendunud veehulga vahe

Summaarne veesisaldus - lisatud veehulga, täitematerjalis sisalduva ja selle pinnal oleva veehulga, suspensioonina kasutatavates lisandites ja peenlisandites sisalduva vee hulga summa

Normtugevus - tugevuse väärtus, millest allpool on oodatavalt 5% kõikidest tulemustest

Manustatud õhk - mikroskoopilised õhumullid läbimõõduga tavaliselt 10 um kuni 300 um, mis on segamise ajal enamasti pindaktiivsete ainete lisamisega tahtlikult tekitatud ja on kerakujulised või sellele lähedase kujuga

Kaasatud õhk - tühikud betoonis, mis ei ole tahtlikult tekitatud

Plats - ala, millel toimub ehitamine

Spetsifikatsioon - tootjale esitatavad dokumenteeritud tehnilised nõuded betooni toimivuse või koostise osas

Tootja - betoonisegu tootev füüsiline või juriidiline isik

Kasutaja - ehitise või elemendi valmistamisel betoonisegu kasutav füüsiline või juriidiline isik

Kasutusiga - eeldatav ajaperiood, mille vältel konstruktsiooni või selle osa kasutatakse ettenähtud otstarbel, seda korralikult hooldades, ilma vajaduseta teha suuremaid parandustöid
Eelkatse - enne tootmise alustamis tehtavad katsed betooni koostise valimiseks, tagamaks betoonisegu ja kivistunud betooni kõigi omaduste vastavus esitatud nõuetele.

Klassifitseerimine

Betooni klassifitseeritakse erinevate omaduste alusel, näiteks:

- tiheduse järgi (kergbetoon, normaalbetoon, raskebetoon)
- kasutatava sideaine järgi (tsementbetoon, polümeerbetoon, silikaatbetoon)
- kasutusotstarbe järgi (tavabetoon, hüdrotehniline betoon, eriotsarbeline betoon)
- täitematerjali järgi (peeneteraline betoon, jämeteraline betoon)

Peamiselt kasutatakse tavabetoone, mille põhinõuded on survetugevus, konsistentsi klass ja külmakindlus. Teistel lisanduvad nt veepidavus, kulumiskindlus, soojapidavus jne.

Kõik betoonid peaksid rahuldama üldnõudeid:

- betoonisegud peavad olema kergesti segatavad ja paigaldatavad
- betoonisegud ei tohi kihistuda
- betoonisegu ei tohi kivistuda enne paigaldust
- tsemendi kulu peaks olema võimalikult minimaalne

Eeldused hea betooni saamiseks:

- õiged materjalid ja õige koostise valik
- õige paigaldus ja tihendamine
- kivistuva betooni hooldus (eriti algetappidel)

Betoonidel eristatakse keskkonnaklasse, ehk siis olenevalt sellest keskkonnast kus nad peale kivistumist lõpptulemusena jäävad. Keskkonnaklassides klassifitseeritakse karboniseerimisest tuleneva korrosiooni, kloriididest põhjustatud korrosiooni, merevee kloriididest põhjustatud korrosiooni külmumise/sulamise mõjust tuleneva korrosiooni ja keemiliste mõjurite järgi. Kui mõjub mitu erinevat, siis kasutatakse kombinatsioone.

Betooni konsistentsiklass tuleneb katsest ning kirjeldatakse katsest tuleneva vajumi järgi.

Betoonisegu omadused

Betoonisegu konsistents oleneb:

- tsemendi liigist
- täitematerjali terastikulisest koostisest
- täitematerjali maksimaalsest terasuurusest
- kujust (nurgeline, ümar)
- liiva peenusest
- liiva tolmu- ja savisisaldusest
- temperatuuri mõjust
- lisanditest

Betoonisegu töödeldavuse muutumine ajas sõltub:

- tsemendi liigist
- jämeda ja peene täitematerjali vahekorrast segus
- temperatuurist ja tuulest
- täitematerjali terastikulisest koosisest
- tsemendi tardumisajast
- täitematerjali veeimavusest
- lisanditest

Veehoidvus - näitaja, mis iseloomustab peenosiste ja vee hulka betoonisegus ning terase fraktsioonilist sobivust. Saab suurendada täitematerjali terastikulise koostise valimisega, veesisaldusega, vastavate lisandite kasutamisega.

Betoonisegu tihedus - tihendatud betoonisegu omadus, mis võimaldab prognoosida betooni kvaliteeti.

Betoonisegu segregeerumine on materjalide ümberjaotumine muutes selega betooni homogeensust, nt täitematerjalide sadestumine ning tsemendi ja vee eraldumine.

Tsementkivi struktuur on poorne - eksisteerivad kaasatud õhu poorid, manustatud õhu tekitatud poorid, kapillaarpoorid ning geelipoorid.

Betooni põhiomaduseks on survetugevus, kuna eeldatakse et betoon peaks olema tugev ning seda on lihtne määrata. Samas on oluliselt kasutatavam kui muud betooni tugevused ning iseloomustab kaudselt ka muid omadusi (veepidavus, külmakindlus).
Materjali survetugevus on materjali võime taluda purunemata tekkivaid tõmbepingeid. Survetugevus määratakse katsete abil ning tähendab teatud etteantud suurusega betoonikuubiku purustamist läbi välise jõu rakendamise ühele kuubiku küljele.

Joonis 6. Betooni katsekuubikud.

Betooni külmakindlus määratakse minimaalsete külmutustsüklite arvuga, mida betoon oluliste muutusteta ja kahjustusteta peab suutma vastu võtta.

Betooni täitematerjalid ja lisandid:

<u>Portlandtsement</u>

Portlandtsement on hüdrauliline sideaine, mis saadakse lubjakivist ja savist valmistatud toorsegu põletamisel paakumiseni - tulemuseks on tsemendiklinker. Tsemendiklinkri ja vajaliku koguse kipsikivi koos jahvatamise tulemusena saadakse tsement. Tooraine ettevalmistamiseks tsemendi tootmisel kasutatakse märga või kuivmenetlust.

<u>Märgmenetlus:</u>

Purustatud ja peenestatud lubjakivi ning savilobri koos korrigeerivate lisanditega jahvatatakse toorveskis. Saadav tsemendilobri korrigeeritakse, homogeniseeritakse ja säilitatakse lobribasseinides.

Märgmenetluse eelised:

- Materjalide jahvatus paraneb
- Segud homogeensemad - lobris segunevad tahked materjalid paremini
- Lobrist moodustunud kuulikesed kuumenevad ühtlasemalt pöördahjus

Märgmenetluse puudused:

- Suur energiakulu - 1 tonni tsemendi tootmiseks kulub umbes 350 kg kivisütt (Kuivmenetluse korral umbes 100 kg)
- Märgmenetluse korral on toormaterjalid pöördahjus 2-3 tundi (kuivmenetluse korral 1-2 tundi)
- Vajab suuremat pöördahju

Kuivmenetlus:

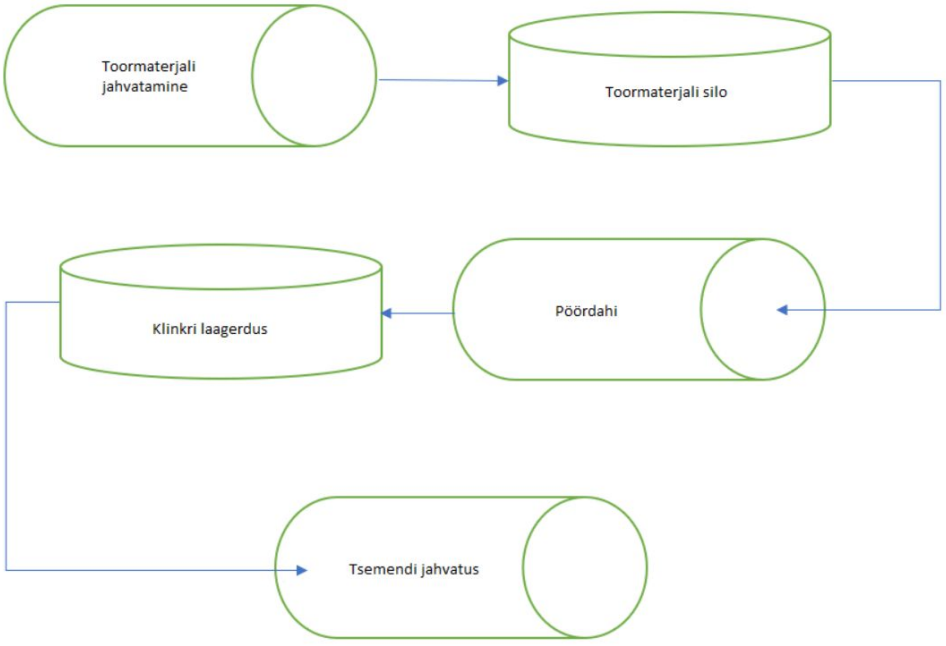
Kuivmenetlus on otstarbekam, kui tooraineks on ainult üks komponent (näiteks mergel - lubjakivi ja savi looduslik segu) ning kui toorained on püsiva keemilise koostisega. Kuiv tooraine peenjahvatatakse ja segatakse üheaegselt toruveskites.

Kuivmenetluse eelis - Energia kulu kuni 2x väiksem kui märgmenetlusel

Puudus - madal homogeensus

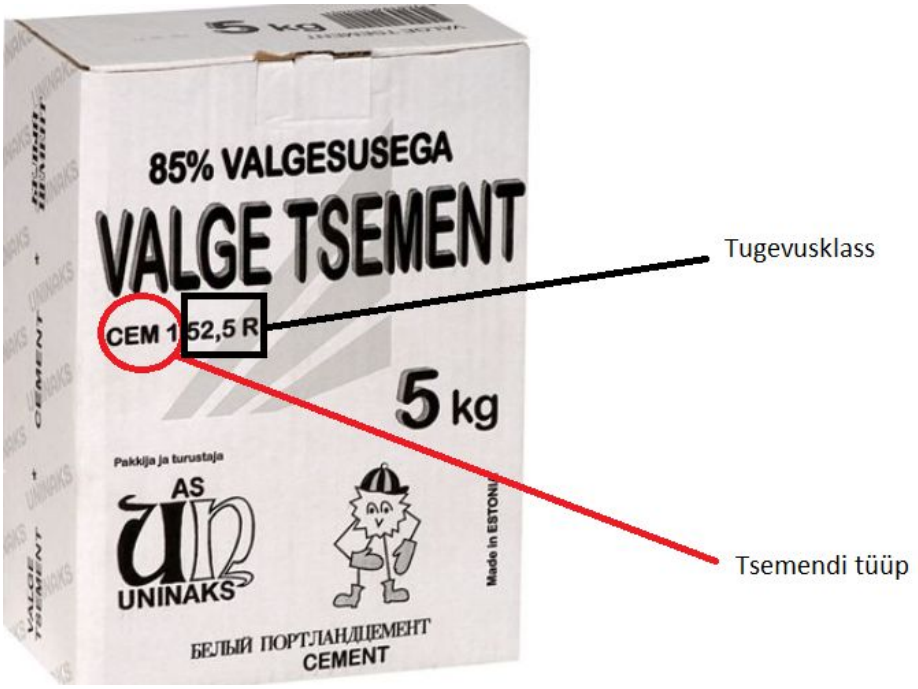
Toormaterjal suunatakse pärast ettevalmistust pöördahjudesse, kus seda põletatakse 1400-1450°C vajaliku keemilis-mineroloogilise koostise tagamiseks. Ahjust väljumise järel jahutatakse klinker kiiresti ning suunatakse lattu kus see laagerdub 1-2 nädalat. Pärast viimast klinker jahvatatakse koos lisanditega kuulveskis ning produktina saadaksegi tsement.

Protlandtsemendi tootmisskeem:



Portlandtsemendi erinevad tüübid:
CEM I: Portlandtsement
CEM II : Portland-komposiittsement
CEM III: Räbutsement
CEM IV: Puzzolantsement
CEM V: Komposiittsement

Tsemendi pakendil oleva tähistuse seletus:



Tugevusklassi tähises olev numbriline osa näitab 28 päevast garanteeritud survetugevust ja täht lõpus (kas N või R) tähistab kas tegemist on kiirkivineva tsemendi või normaalkivineva tsemendiga.

<u>Peentäitematerjal (liiv):</u>

Täitematerjal, mille terasuuruse ülemine mõõde D on ≤ 4 mm. Teraline materjal valdavalt terasuurusega vahemikus 0,125...4,0 mm.

Looduslikud ja tehisliivad jaotatakse:

- Karjääriliivad - teravanurgelised ja karedapinnalised, üldiselt sisaldavad küllalt palju lisandeid.
- Jõe- ja mereliivad - ümarateralised ja siledapinnalised, puhtamad.

Betooni omadustest lähtuvalt tuleks eelistada karjääriliivasid (parem nake tsementkiviga - sellest tulenevalt suurem betoonitugevus) ent üldiselt eelistatakse jõeliivasid, kuna sisaldavad vähem saastavaid lisandeid ega vaja pesemist. Eesti liivad on valdavalt ümarateralised ja kõrgekvartsisisaldusega.

Ruudukujulise avaga sõelte standardrida liivade terastiku määramiseks: 0; 0,063; 0,125; 0,25; 0,5; 1; 2; 4; 8 ja lisasõel 5,6 m.

NB! (tasub lisaks uurida Rothfuchsi või Fülleri ideaalkõveraid)

Jämetäitematerjal:

Erineva või ühese terastiku koostisega purustatud või purustamata, loodisliku või tehisliku mineraalse sõmermaterjali kogum, erijuhtudel metallist (raskebetoon).

Tabel 1. Täitematerjalide tihedus ja survetugevus

Täitematerjal	Tera tihedus [kg/m^3]	Absoluutne tihedus [kg/m^3]	Survetugevus [N/mm^2]
Graniit	2600-2650	2620-2850	160-240
Basalt	2900-3050	3000-3150	250-400
Kruus	2600-2650	2640-2680	150-300
Lubjakivi	2650-2850	2700-2900	80-100

Jämetäitematerjali pinnakvaliteedi mõju on eriti oluline madalate vesi-tsementteguritega valmistatud betoonide puhul. Kõrgetel vesi-tsementteguri väärtustel on määravaks tsementkivi tugevus.

Samamoodi nagu liiva puhul tasub ka jämetäitematerjali puhul uurida sõelkõveraid.

Nõuded täitematerjalidele (jäme ja peentäitematerjali kohta)

Terastikulise koostise määramine:
Kehtiv standard EVS-EN 12620 “Betooni täitematerjalid”
(Kui kellelgi on ligipääsu võib uurida)

Täitematerjalides piiratakse ja kontrollitakse:

- Orgaaniliste osiste sisaldust - kuna alandab betooni tugevust ja aeglustab betooni tugevuse kasvu
- Terastikulist koostist, et saavutada liiva minimaalne tühiklikkus võimalikult väikese terade summaarse pinna juures, mis lubaks minimiseerida tsemendi kulu ja tsementkivi mahtu betoonis.
- peente osiste sisaldust sealhulgas savi ja savikate osiste sisaldust, kuna halvendab liivaterade ja tsementkivi vahelist naket.