



# Esimene betoonileid on 5600 aastat eKr ehitatud jahionni põrand

## Uno Juurvec

TTÜ ehitusmaterjalide õppetooli dotsent

Üldiselt mõistetakse betooni all tehiskivi, mis on valmistatud sideaine ja täitematerjalide segust ja mille omadused on kujunenud sideaine kivistumise tulemusena. Mineraalsete sideainete kasutamisel on üheks betoonisegu kohustuslikuks komponendiks ka vesi.

Kirjalikud teadmised betoonist on pärit juba Vana-Rooma aegadest, kus *opus*

*caementicum*'i all mõisteti sideainega seotud (tsementeeritud) agregaatide. Eesti keelde on sõna betoon tulnud ilmselt laenuks saksa keelest, sakslased on aga omakorda teinud laenu prantsuse ladinakeelsest uusmoodustisest bitumen. Esmakordselt nägi termin betoon trükivalgust 1753. aastal.

Kaasajal mõistetakse betooni all materjali, mis saadakse omavahel segatud tsemendist, jää- ja peentäitematerjalist ning veest, kusjuures betooni omadused kujunevad tsemendi hüdratatsiooni tulemusena.

Esimese praeguseks teadaolev betoonileid pärineb Lepenski Vir'ist (Ida-Serbia), kust on leitud lubjast, liivast ja kruusast arvatavalt umbes 5600 aastat enne meie ajaarvamist ehitatud jahionni põrand.

1974. aastal esitas prantsuse keemik Joseph Davidovitsch hüpoteesi, mille kohaselt võiksid ka umbes 4500 a eKr ehitatud Giza ja Sakkara püramiidid Egiptuses olla pigem geo-pollümeerest lubjakivibetoonist kui looduskivist. Nimelt leiti katsekehade keemilisel, radioaktiivsel ja infrapunase

kiirgusega analüüsimisel, et ehitusplokkid koosnesid kaltsiitsetest agregaatidest ja teistest tavalistest alamatest geoloogilistest faasidest ning lisaks sellele geopolümeersest sideainest (tseoliitsetest mineraalidest). Iseenesestmõistetavalt on nimetatud hüpoteesil rohkearvuliselt vastaseid, kuigi geopolümeerisatsiooni teooria lahendaks terve rea probleeme, sh ka mitmekümne tonni raskuste plokkide veoprobleemid ja uskumatult pika ehituskestuse küsimuse.

Alates umbes 3000. aastast eKr võiks rääkida ka mineraalsete sideainete ka-



Foto: Aastatel 115–125 taastatud Rooma Pantheon on vanim tänapäevani kasutusel olev betoonrajatis.

tes kasutusel seinakonstruktsioon, milles välise loodus- või tehiskivist müüritise vahe täideti betooniseguga. Tolle aja betoonisegu koosnes lubjатаaignast, millesse oli segatud peenestatud keraamikat ja vulkaanilist tuhka (see putsolaanne lisand andis sideainele hüdraulilised omadused) ning täitematerjalist, millena eelistati purustatud tellist. Põhimõtteliselt just sedalaadi betoonidest ehitati enamik tolle ajastu suurehitisi – teid, sildu, akvedukte, templeid ja paleesid ning millest nimetamisväärne osa on varemtena säilinud ka tänapäeval. Näiteks võib tuua Via Appia (ühendas algselt Roomat sadamalinn Brindisiga), mitmele tuhandele inimesele üheaegset puhkust võimaldavad Caracalla termid, 50 000 pealtvaatajat mahutava Colosseumi, Pont du Gard'i (kolmest üksteise kohal asuvast kaaristust koosnev akvedukt üldpikkusega 270 m ja üldkõrgusega ligi 50 m) jpt. Hilisemast ajast on teada juhused Inglis-maal, kus sarnasel seinakonstruktsioonil on ligi 900-aastase eksploatatsiooni järel pärast välise kivivoodri lagunemist säilinud vaid sisemine betoonosa.

Eraldi äramärkimist väärib siinkohal kindlasti aastatel 115–125 taastatud Rooma Pantheon, mis on vaieldamatult vanim tänapäevani kasutusel olev betoonrajatis (algselt alustati ehitust 27. aastal eKr, kuid ehitis hävis tulekahjus). Hoone konstruktsioon baseerub keral läbimõõduga 44 m ja selle poolkerakujuline kuppel oli 1800 aastat maailma suurim. Alles 1911. aastal suudeti Breslaus (praegune Wrocław) ehitada Sajandi hall, mille kupli diameeter ületas Pantheoni 44-meetrise kupli läbimõõdu, aga seda juba raudbetoonis. Betooni aspektist rõhutatakse tavaliselt ka asjaolu, et Pantheoni rajamisel kasutati kergbetooni, mille tihedus vähenes hoone kõrguse suurenedes 1750-lt kuni 1350 kg/m<sup>3</sup>-ni.

Esimese aastatuhande alguses kirjutati ka esimesed raamatud, milles kirjeldati betooni. 27. a lõpetas Pollio Vitruvius oma raamatu arhitektuurist, milles muuhulgas käsitleti ka betooni ja tema omadusi.

Viimane informatsioon vanade roomlaste tolleaegsete teadmiste kasutamisest ehituses pärinevad aastast 540. On teada, et siis kasutati betooni Hagia Sophia võlvide ja kaarte rajamisel Konstantinoopolis (praegune Istanbul).

Rooma impeeriumi lagunemise tulemusena unustati ka suurem osa roomlaste kogutud vaimsetest väärtustest ja teadmistest (teatavasti peetakse Lääne-Rooma impeeriumi lõpuks aastat 476, kui võimult kõrvaldati alla aasta formaalselt võimul olnud alaealine keiser Romulus Augustulus). Mandusid mineraalsete sideainete alased teadmised, unustati ka võimalused lubja omaduste parandamiseks putsolaansete lisandite abil ning betoonide kasutamine.

Pea 1000-aastane vaikus kestis aastani 1414, mil ühes Šveitsi kloostris leiti muistse Rooma ajast pärit käsikiri, milles juba eelpool mainitud Pollio Vitruvius käsitleb muuhulgas ka putsolaanse lisandiga lubisideaine kasutamist betoonis ja nende baasil valmistatavate betoonide omadusi. Kui eelnev sideainete ja betoonide ajalugu on dateeritud tihti kaunis umbkaudselt, siis siit alates on dateeringud üsna täpsed, kuigi pole välistatud mõningad erinevused erinevates allikates.

Kaasajal moodustab maailma betooni ja raudbetooni aastatoodang üle 2 miljardi m<sup>3</sup> ning sellega on betoon maailma ehitusmaterjalide hulgas konkurentsituks esikohal.

## Ajalugu

**1499** Teadaolevalt esimene putsolaanse mördi kasutamine pärast Rooma riigi langust Pont de Notre Dame'i sillasammastes Pariisis.

**1774** John Smeaton näitas, et kustutamata lubja kombineerimine teiste materjalidega võimaldab saada väga tugeva sideaine ja kasutas oma teadmisi ära esimese betoonkonstruktsiooni rajamiseks pärast Rooma aega.

**1793** John Smeaton avastas, et savi sisaldava lubjakivi põletamisel saadav lubi kivistub ka vee all s.o evib hüdraulilisi omadusi. Hüdraulilist lubja kasutati edukalt kuulsa Eddystone'i (Inglismaa) tuletorni restaureerimisel.

**1796** James Parker patenteeris romaantsemendi, mille ta sai kõrgema savisisaldusega lubjakivikruusa põletamisel (oli omal ajal tuntud ka Parkeri tsemendina).

**1812** Valmistas Louis Vicat hüdraulilise lubja, seda juba spetsiaalselt selleks otstarbeks valmistatud lubjakivi ja savi segu põletades (kõik eelnevad olid kasutanud looduslike savisisaldusega lubjakivisid – mergleid). Olid loodud kõik eeldused portlandtsemendi leiutamiseks.

**1816** Souillac'is Prantsusmaal valmis maailmas esimene betoonsild (armeerimata betoonist).

**1824** Sai teoks kauaküpsenud revolutsioon betoonitehnika – Joseph Aspdini patenteeris portlandtsemendi. Portlandi kivi järgi nime saanud tsement saadi peenjahvatatud lubjakivi ja savi segu põletamisel ahjudes temperatuuril 900...1000°C kuni süsihappegaasi eraldumiseni (vältides paakumist) ning saadud produkti jahvatamisel.

**1849** Prantsuse advokaat Jean Louis Lambert valmistas betoonpaadi, mille armeeris terasega, s.o tegemist oli esimese uuema aja betoonibaasilise komposiidiga (kuigi paadis kasutati koos betooni ja terast, polnud veel tegemist klassikalise raudbetooniga, milles teras võtab vastu tõmbe- ja survel tekkepingeid). Sellele vaatamata peetakse aastat 1849 üldiselt raudbetooni sünniaastaks. Tõsi, on teada, et 1988. aastal avastati Kölnis arheoloogiliste väljakaevamiste käigus muistse Rooma aegne (ca 1. sajandist pärit) veereservuaar, mille seinad olid armeeritud kolmeteistkümne põhja ankurdatud rauast ümarvardaga.

**185** Joseph Monier tegi esimesi katsetusi betoonist lillepottide armeerimiseks ja võttis 1867. aastal nende patendi. J. Monier'd on tihti loetud raudbetooni leiutajaks ja tema patendi saamise aastat raudbetooni sünniaastaks, kuna tõele au andes arenes lillepottide terasvõrguga armeerimise mõte edasi betooni armeerimiseni terasvarrastega.

**1854** William Wilkinson sai patendi betoonist tulekindlale vahelae konstruktsioonile, milles oli teadlikult kasutatud terast vahelae tõmbetsoonis. „Mõistusabielu betooni ja terase vahel” oli ameeriklaste poeetilise väljenduse järgi sündinud. See sai võimalikuks tänu asjaolule, et betooni ja terase soojusjuhtivuse koefitsiendid on praktiliselt võrdsed.

**1855** Pariisi maailmanäitusel äratasid suurt huvi nii J. Lambert' armeeritud betoonist paat kui ka Fracois Coignet betoonmaja.

**1855** Esimene portlandtsemendi tehas maailmas – Saksamaal Stettinis (praegune Szczecin Poolas). Mõnedel andmetel organiseeris tsemenditootmise Saksamaal 1860. aastal J. Aspdini poeg William. Eesti

territooriumil alustati portlandtsemendi tootmist 1870. aastal Kundas. Portlandtsemendi tööstuslik tootmine andis tugeva impulsi betooni ja raudbetooni laiemaks kasutamiseks ehituses.

**1889** Väidetavalt valmis esimene raudbetoonsild (mõnedel andmetel sai see teoks 1901. aastal).

**1891** Ameerika Ühendriikides avati liikluseks esimene betoontee.

**1898** Venemaal seadustati betooni ja raudbetooni kasutamine teede ja raudteede ehituses, tänu millele võeti mõne aasta jooksul kasutusele üle kolmekümne silla ja viadukti.

**1900** Standardiseeriti põhilised tsemendi katsetamise meetodid.

**1904** Raudbetoonist sild Kasari jõel pikkusega 307,8 meetrit – tol ajal Euroopa ja Venemaa pikim.

**1904** Maailma esimene raudbetoonist majakas Nikolajevis Venemaal (kõrgus ligikaudu 40 m).

**1908** Üks ootamatu fakt ajaloost: ka maailmakuulus leiutaja Thomas Alva Edison on tegelnud betooniga – nimelt ehitati New Jersey's tema osalusel 11 betoon-elumajast koosnev kompleks ja järgmisel aastal võttis ta patendi klinkripõletuse pöördahju idee.

**1913** Esimese kaubabetooni (valmis betoonisegu) partii tarnimine tellijale Ameerikas.

**1914** Panama kanali lüüside ehitusel kasutati raudbetooni (alumises osas betoonkonstruktsiooni paksus ligikaudu 20 m)

**1916** Järjekordne silmapaistev raudbetoonrajatis Eesti territooriumil: vesilennukite angaarid Tallinnas – kolm kaksikkõverat koorikut põhiplaani mõõduga 35 x 35 m. Eriti tähelepanuväärne, kuna tol ajal puudus tunnusstatud arvutusmeetodika niisuguste koorikute arvutamiseks.

**1917** Eugene Freyssinet' põhjapanev täiendus betooni tehnoloogiasse – pakkus betoonisegu tihendamiseks tollal tavapärase tampimise asemel vibreerimist.

**1918** Duff Abrams töötas välja esimesed kindlad betoonisegu koostised. Ideaalilähedane komponentide vahekorral, mis pidi tagama kivistunud betooni minimaalse tühikute mahu, oli 1 : 2 : 5 (tsement : liiv : killustik või kruus) valuku vajaliku sobiva vee kogusega.

**1923** Charles Édouard Jeanneret le Corbusier formuleeris idee armeeritud betooni ja massilise tüüpehituse ühendamiseks. Tol momendil pidas ta vajalikuks mõista maja kui tööstuslikku masstoodet.

**1927** Eugene Freyssinet käis välja eelpingestatud raudbetoonkonstruktsiooni idee. Kaks aastat hiljem publitseeris ta töö, milles käsitles eelpingestatud konstruktsioonide projekteerimist ja kasutamist.

**1930** Õhkumunstavate lisandite kasutuselevõtt betooni külmakindluse (vastupanu vahelduval külmutumisele ja sulamisele) tõstmiseks.

**1930** Esimese horisontaalse pöörleva korpusiga liikursegisti kasutuselevõtt USA-s.

**1939** Teise maailmasõja käigus levis betooni ja raudbetooni laialdane kasutamine suuremahuliste fortifikatsioonirajatiste ehitamisel. Peale fortifikatsioonirajatiste tuldi sõja käigus välja ka palju eksootilisemate ettepanekutega kui Esimese maailmasõja aegne raudbetoonist kerega laevade ehitamine. Nii kirjutas sõjaaegne saksa relvastusminister Albert Speer oma mälestustes, et Saksa Reichi hierarhias Hitleri järel teine mees, Hermann Göring, tegi terase kokkuhoiust lähtuvalt ettepaneku valmistada ka vedureid raudbetoonist. See originaalne mõte jäi küll saksa eesrindlikul sõjatööstusel ellu viimata. Samal ajal tehti N. Liidu sõjatööstuses katsetusi betooni kasutamiseks lennuki-pommide korpusete valmistamisel.

utamisest Suure Hiina müüri ehitusel. Umbes 800. aastaga eKr dateeritakse lubimörtide kasutamist Kreekas (kust see levis ka Kreetale ja Küprosele), mis olid isegi tugevamad hilisematest Rooma analoogidest. Umbes aastast 300 eKr pärineb informatsioon bituumeni (orgaaniline sideaine) kasutamisest kivide ja telliste sidumiseks babüloomlaste ja assüürlaste poolt.

### Roomlased esirinnas

Umbes 800 aasta jooksul (ca 300 eKr kuni 500 pKr) oli muistse Rooma betoonehitis-