

BETOONKONSTRUKTSIOONIDE PROJEKTEERIMISE ALUSED

Abimaterjal TTK üliõpilastele



Prof. Martti Kiisa

2020-01

*Nii tehnilise tootme valmimisel kui ka hiljem, kui see asub juba inimkonna teenistuses, on tehnikas kogu aeg valvel piiramatu valjusega **Kõrgeim Võim**, keda Goethe nimetab oma „Faustis“ maailmavaimuks. See Kõrgeim Võim ei andesta tehnikas ühtki viga.*
/Ottomar Maddison/

*Prof. Maddisoni alalisele küsimusele, kust see jõud tuleb ja kuhu läheb, pidi olema vastus valmis. Seejuures ajas ta peaaegu alati taga nn. **punast joont**, mis pidi hoidma kogu süsteemi koos. Tõepoolest, alles siis, kui olid kogu süsteemi jõudude mängu läbi nänitud, võisid tunda end projekteerijana.*

/Johannes Aare/

Õige konstruktsioon on ka ilus konstruktsioon.

/Johannes Aare/

Abimaterjal tugineb standardiseeriale EVS-EN 1992 (koos vastavate viitestandarditega).

Abimaterjal ei ole mõeldud projekteerimiseks, vaid ainult õppeotstarbeks. Samuti peab abimaterjali kasutaja arvestama, et see täieneb pidevalt ja ei ole piisav iseseisvaks õppimiseks. Seetõttu on vajalik täiendav konspekteerimine loengus.

Lisaks standarditele on muuhulgas kasutatud algmaterjalidena ka järgmiste spetsialistide raamatuid, loengukonspektte, artikleid, pildimaterjale:

- Vello Otsmaa;
- Heinrich Laul;
- Peeter Paane;
- Toomas Laur;
- Andres Lehtla;
- Anne Kraav;
- Riho Oras.

Käesoleva abimaterjali autor on tänulik, kui ilmnened vigadest, ebatäpsustest ja täiendusettepanekutest teatatakse meiliaadressile martti.kiisa@tktk.ee

SISUKORD

1. SISSEJUHATUS	4
1.1. STANDARDID.....	4
1.2. BETOONKONSTRUKTSIOONIDE KASUTUSALAD	7
1.3. EELISED JA PUUDUSED	7
1.4. MÄRKUSEID RAUBETOONI ARENGULOOST.....	8
1.5. NÄITEID EESTIST	9
2. MATERJALID	14
2.1. BETOON	14
2.1.1. STRUKTUUR.....	14
2.1.2. LIIGITUS.....	14
2.1.3. OMADUSED	15
2.1.4. PINGE JA DEFORMATSIOONI SEOSED.....	18
2.1.5. DEFORMATSIOONID	19
2.2. SARRUSTERAS	20
2.2.1. LIIGITUS.....	20
2.2.2. OMADUSED	21
2.2.3. PINGE JA DEFORMATSIOONI SEOSED.....	23
2.2.4. MARKEERIMINE	24
3. KESTVUS	26
3.1. PROJEKTEERITUD KASUTUSIGA.....	26
3.2. KESKKONNATINGIMUSED	27
3.3. BETOONKAITSEKIHT	30
3.3.1. ÜLDJUHTUM	31
3.3.2. BETOONVALMISTOOTED	33
4. BETOONKONSTRUKTSIOONI TÖÖTAMISE PÖHIMÖTTED	35
4.1. RAUBETOONI OLEMUS	35
4.2. SARRUSE FUNKTIONAALNE LIIGITUS	37
4.3. DEFORMATSIOONI JA PURUNEMISE TÜÜBID	38
4.4. PAINUTATUD ELEMENTI PINGESTAADIUMID	39
4.5. ARVUTUSTES KASUTATAV DEFORMATSIOONI- JA PINGEJAOTUS	40
5. BETOONKONSTRUKTSIOONIDE ARVUTAMINE	41
6. EHITUSPROJEKT	44
7. BETOONKONSTRUKTSIOONIDE NÄITEID	45
7.1. HOONED.....	45
7.1.1. TALAD	46
7.1.2. POSTID	48
7.1.3. HORISONTAALSED PLAADID	49
7.1.4. VERTIKAALSED PLAADID	50
7.1.5. TREPID	52
7.1.6. PODESTID	54

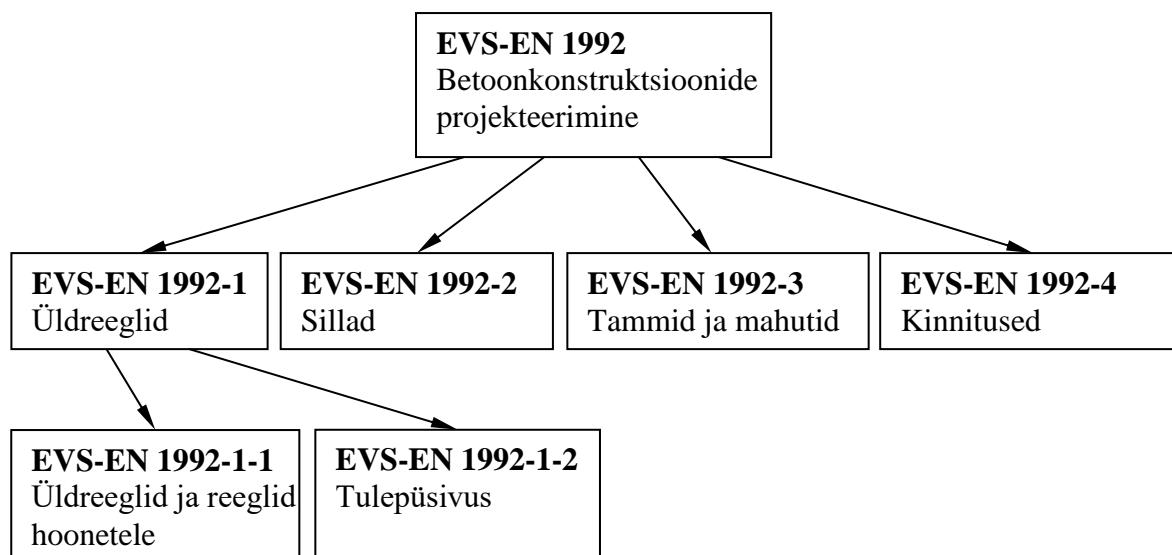
1. SISSEJUHATUS

Mõiste „**betoonkonstruktsioon**“ korral lähtutakse ingliskeelsest terminist „concrete structure“, mis on üldine mõiste ning mis haarab

- sarrustamata (armeerimata) betoonkonstruktsioone;
- alasarrustatud (alaarmeeritud) betoonkonstruktsioone;
- tavapärase sarrustusega (armeeringuga) raudbetoonkonstruktsioone (see on käesoleva ainekursuse põhiteema);
- pingebetoonkonstruktsioone.

1.1. Standardid

EVS-EN 1992 (ehk eurokoodeks 2) käsitleb hoonete ja rajatiste sarrustamata betoonist, raudbetoonist ja pingebetoonist konstruktsioonide projekteerimist. Ta rahuldab standardis **EVS-EN 1990** antud konstruktsioonide ohutusele ja kasutuskõlblikkusele kehtestatud põhimõtteid ning nõudeid ja nende projekteerimise ja kontrolli aluseid. **EVS-EN 1992** käsitleb ainult betoonkonstruktsioonide kandevõimele, kasutamiskõlblikkusele ja tuleohutusele esitatavaid nõudeid. Muid, nt sooja- või heliisolatsioonile esitatavaid nõudeid ei vaadelda.



Joonis 1. EVS-EN 1992 (eurokoodeks 2) jagunemine alamosadeks

EVS-EN 1992 on mõeldud kasutamiseks koos järgnevate standarditega:

- [EVS-EN 1990](#);
- [EVS-EN 1991](#);
- [EVS-EN 1997](#);
- [EVS-EN 1998](#);
- EVS-EN standardid, mis on betoonkonstruktsioonidega seotud.

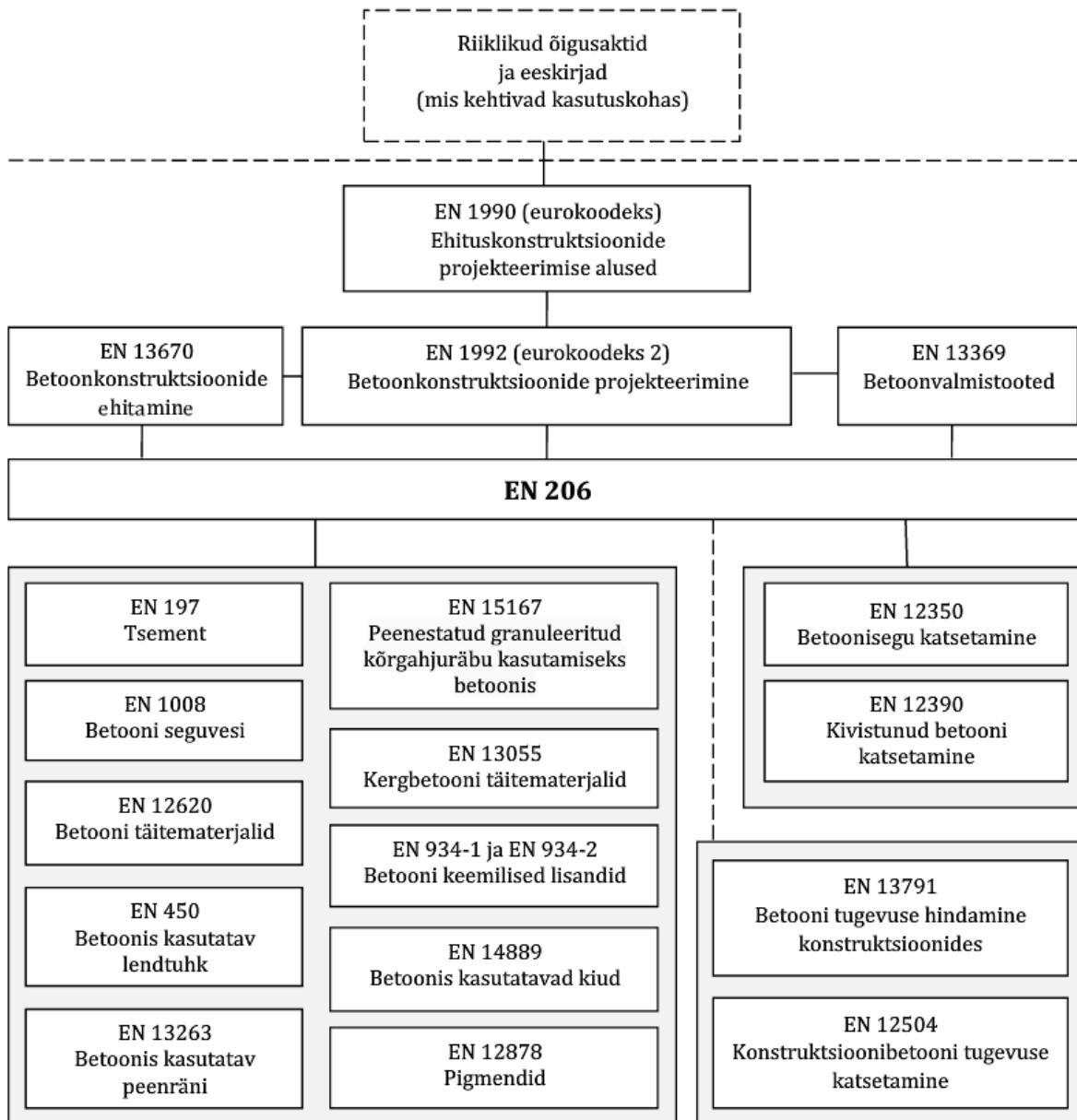
Tabel 1. Käesolevas abimaterjalis tähtsamad aluseks võetud Eesti standardid

Standardi tähis	Standardi pealkiri
EVS-EN 206:2014+A1:2016 ja EVS-EN 206:2014+A1:2016/AC:2019	Betoon. Spetsifitseerimine, toimivus, tootmine ja vastavus.
EVS-EN 1992-1-1:2005+A1:2015+NA:2015	Eurokoodeks 2: Betoonkonstruktsioonide projekteerimine. Osa 1-1: Üldreeglid ja reeglid hoonetele.
EVS-EN 10080:2006	Betooni sarrusteras. Keevitatav sarrusteras. Üldsätted.
EVS-EN 13369:2018	Betoonvalmistoodete üldeeskirjad.
EVS-EN 13670:2010	Betoonkonstruktsioonide ehitamine.

*Tabel 2. Tähtsamad betoonkonstruktsioonide projekteerimisega seotud standardid
(koos dateerimata viidetega)*

Standardi tähis	Standardi pealkiri
EVS-EN 206	Betoon. Spetsifitseerimine, toimivus, tootmine ja vastavus.
EVS-EN 1992-1-1	Eurokoodeks 2: Betoonkonstruktsioonide projekteerimine. Osa 1-1: Üldreeglid ja reeglid hoonetele.
EVS-EN 1992-1-2	Eurokoodeks 2: Betoonkonstruktsioonide projekteerimine. Osa 1-2: Üldreeglid. Tulepüsivus.
EVS-EN 1992-2	Eurokoodeks 2: Betoonkonstruktsioonide projekteerimine. Osa 2: Betoonsillad. Arvutus- ja detailiseerimisreeglid.
EVS-EN 1992-3	Eurokoodeks 2: Betoonkonstruktsioonide projekteerimine. Osa 3: Tammid ja mahutid.
EVS-EN 1992-4	Eurokoodeks 2: Betoonkonstruktsioonide projekteerimine. Osa 4: Kinnituste projekteerimine betooni.
EVS-EN 10080	Betooni sarrusteras. Keevitatav sarrusteras. Üldsätted.
EVS-EN 12602	Autoklaavitud sarrustatud poorbetoonist valmistooted.
EVS-EN 13225	Betoonvalmistooted. Varraselemendid.
EVS-EN 13369	Betoonvalmistoodete üldeeskirjad.
EVS-EN 13670	Betoonkonstruktsioonide ehitamine.
EVS-EN 15050	Betoonvalmistooted. Sillaelemendid.
EVS-EN ISO 3766	Construction drawings – Simplified representation of concrete reinforcement.
EVS-EN ISO 17660-1	Keevitamine. Terassarruste keevitamine. Osa 1: Keevitatud kandeühendused.
EVS-EN ISO 17660-2	Keevitamine. Terassarruste keevitamine. Osa 2: Koormusvabad keevisühendused.
EVS 814	Normaalbetooni külmakindlus. Määratlused, spetsifikatsioonid ja katsemeetodid.

Betooni ja betoontoodetega seotud standardite täieliku nimekirja (ICS grupp 91.100.30) leiab [siit](#).



Joonis 2. Standardi EN 206 seos projekteerimis- ja teostusstandarditega, komponentide ja katsestandarditega

1.2. Betoonkonstruktsioonide kasutusalad

Raudbetoon on 100 aasta vältel olnud üheks põhilisemaks ehituskonstruktsiooni materjaliks. Ajalooliselt edestavad raudbetooni oma levikult kivikonstruktsioonid, millede kasutamine algas aga ka aastatuhandeid enne raudbetooni kasutuselevõttu. Viimastel aastakümnetel konkureerivad raudbetooniga edukalt ka teised raudbetoonist vanemad ehitusmaterjalid nagu puit ja teras, jätkes siiski terve rea ehitusvaldkondi ainult raudbetooni pärusmaaks.

Lühike loetelu raudbetoonkonstruktsioonide peamistest kasutusvaldkondadest:

- hoonete (elamud, ühiskondlikud ja tööstushooned) kandekonstruktsioonid nagu postid, talad, vahelaed (valdavalt), katuslaed, vundamendid (tänapäeval peaaegu eranditult);
- insenerirajatised (silod, punkrid, estakaadid, korstnad, mastid jne.);
- hüdroehitised (tammid, sadamaehitised);
- tee-ehitised (sillad ja viaduktid, lennuvälja- ja teekatted);
- suurte seadmete ja agregaatide vundamendid (näiteks keerukad generaatorivundamendid elektrijaamades).

Ebatraditsioonilise kasutusalana võiks mainida ka laevaehitust (näiteks ujuvdokid).

1.3. Eelised ja puudused

Ühegi konstruktsioonimaterjali puhul ei saa rääkida absoluutsest eelisest mingi teise materjali suhtes. Materjali suhetised eelised või puudused sõltuvad alati konkreetsest konstruktsioonist, sellele esitatavatest nõuetest, mõjuvast koormusest ja konstruktsiooni töötamistingimustest. Mõningatest üldistest tendentsidest võib siiski rääkida.

Eeliseid:

- suur loomulik (s.o. odavalt saavutatav) tulekindlus vörreldes teras- ja puitkonstruktsioonidega;
- konstruktsiooni pikaealisus ja väikesed hoolduskulud – kui veel mõni aeg tagasi vaadeldi neid omadusi kui absoluutseid, siis nüüd on ilmnened, et see kehtib siiski normaalsete (väheagressiivsete) keskkonnatingimuste korral;
- monoliitse raudbetooni hea vastupanuvõime dünaamilistele koormustele, monteeritava raudbetooni korral vähendab seda eelist jätkude järeleandlikkus;
- vormitavus, mis annab suured võimalused konstruktsiooni (ehitise) arhitektuurisel kujundamisel;
- ökonomiatsus, sõltuvalt muidugi konkreetsetest tingimustest.

Puudusi:

- suhetiselt suur omakaal vörreldes puit- ja teraskonstruktsioonidega;
- pragude tekkimise võimalus (välditav pingbetooni kasutamisega);
- monoliitse raudbetooni korral betoonitööde kallinemine talvetingimustes (vajadus kaitsta värsket betooni läbikülmumise eest);
- mahukad raketisetööd monoliitsetel konstruktsioonidel.

1.4. Märkuseid raudbetooni arenguloost

Raudbetooni tekkimise majanduslikud eeldused kujunesid välja 19. saj. keskpaigaks, kui oli küllaldaselt välja arenenud raudbetooni põhikomponentide (portlandtsemendi ja valtsterase) tootmine. Raudbetoonile eelnes sajandi esimesel poolel betooni tehnoloogia areng ja betoontehiskivide kasutamine.

Esimeseks teadaolevaks raudbetoonkonstruktsiooniks võib lugeda 1850. aastal Lambot' valmistatud paati, mis oli välja pandud ka 1854. aastal Pariisi Maailmanäitusel. Ligikaudu samal ajal tekkis mõte siduda betoon ja teras tulekindlaks paindele töötavaks ehitusmaterjaliks (ameeriklane T. Hyatt). 1861. aastal kirjeldas raudbetooni omadusi prantslane Fr. Coignet. Vaatamata raudbetooni juba küllaltki märkimisväärsele arengule võttis esimese sellealase patendi prantslastest aednik J. Monier 1867. aastal betoontoobrile. Esimesed raudbetooni arvutusalused publitseeriti 1886. aastal (sakslane M. Koenen). Järgnes raudbetooni teoria ja praktilise kasutamise kiire areng terves reas riikides – Saksamaal, Inglismaal, Prantsusmaal, USA-s, sajandivahetusel ka Venemaal. Suure panuse raudbetooni arengusse andis E. Mörsch, kelle teos "Raudbetoon, selle teoria ja rakendus" (1912) sai aastakümneteks raudbetooni arengu aluseks. Esimesed raudbetooni normid ilmusid 1904. aastal Saksamaal ja Šveitsis. Enne I maailmasõda leidis raudbetoon kasutamist peamiselt tööstus- ja sillaehituses, hiljem järgnes sellele laialdane kasutamine ühiskondlikes hoonetes ja elamutes.

Pingbetooni loojaks peetakse prantslast E. Freyssinet'd. Pingbetooni idee oli tuntud juba varem, kuid selle elluviimine viibis kõrgtugevusega terase puudumise taga.

Monteeritava raudbetooni levik algas 20. sajandi kolmekümnendail aastail ja jõudis haripunktile N. Liidus kuuekümnendail ja seitsmekümnendail aastail, kus monoliitne raudbetoon tsiviil- ja tööstusehitusest tõrjuti praktiliselt kõrvale. Praeguseks on meil normaalne suhe monoliitse ja monteeritava raudbetooni vahel jälle taastunud.

Õhukeseseinaliste suureavaliste raudbetoonkonstruktsioonide (raudbetoonkoorikute) ehitamine algas juba enne I maailmasõda, kuid nende laiem levik on seotud vastava arvutusteooria väljatöötamisega neljakümnendail aastail ja hiljem.

Raudbetooni teoria on arengus läbinud rea erinevaid etappe, mida põgusalt käsitletakse edaspidi.

1.5. Näiteid Eestist

Eestis algas raudbetoonkonstruktsioonide levik 20. sajandi esimesel-teisel aastakümnel. Euroopa ulatuses silmapaistvateks ehitisteks olid Kasari sild (valminud: 1904), Tallinna Miinisadama koorikud (valminud: 1917), Vene-Balti tehaste monoliitsed silindrilised koorikud, Tallinna merekindluse rajatised jne. Projekteerima hakati Eestis raudbetoonkonstruktsioone 30ndatel aastatel, näiteks Kadrioru staadioni tribüün (valminud: 1937; ins. August Komendant), Pärnu rannahoone (valminud: 1939; ins. Tarmo Randvee), arvukad raudbetoonsillad (ins. Ottomar Maddison jt) jne. Raudbetoonkonstruktsioonide areng pärastsõjaegses Eestis on lahutamatult seotud inseneri, teadlase ja pedagoogi Heinrich Laulu nimega, kes on osalenud peaaegu kõigi sellel perioodil püstitatud silmapaistvate raudbetoonehitiste kavandamisel.

20. sajandi kuuekümndatel aastatel algas Eestis intensiivne monneeritava raudbetooni kasutamine ja monoliitne raudbetoon jäi järjest rohkem tahaplaanile. Taasiseseisvunud Eestis on see tasakaal taastunud ning oluliselt on mitmekesistunud erinevate betoonkonstruktsioonide kasutamine.



Foto 1. Kasari sild vahetult pärast valmimist 1904. a



Foto 2. Kasari sild 2005. a

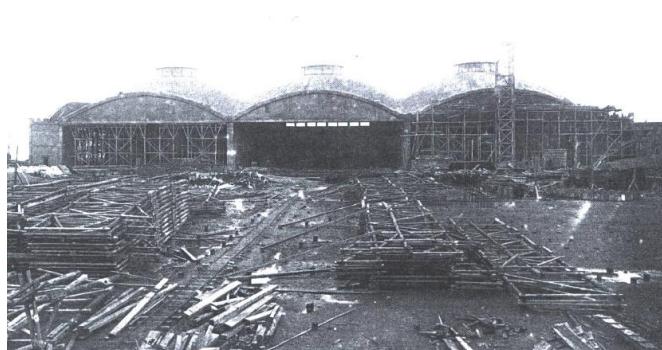


Foto 3. Tallinna vesilennukite angaar vahetult pärast tellingu eemaldamist 1917. a



Foto 4. Tallinna vesilennukite angaar 2013. a



Foto 5. Kadrioru staadioni tribüün 1944. a (valminud 1937)



Foto 6. Kadrioru staadioni tribüün 2009. a



Foto 7. Pärnu Suursild vahetult peale valmimist 1938. a



Foto 8. Pärnu Suursilla ehitamine 1937. a



Foto 9. Suure Munamäe vaatetorn vahetult peale avamist 1939. a



Foto 10. Suure Munamäe vaatetorn peale renoveerimist 2014. a



Foto 11. Pärnu rannakohvik 1939. a



Foto 12. Pärnu rannakohvik 2012. a



Foto 13. Vastvalminud paneelhooned Mustamäl (Akadeemia teel) 1963. a



Foto 14. Paneelhooned Mustamäl (Akadeemia teel) 2014. a



Foto 15. Hotell Viru ehitamise ajal (valminud 1972)



Foto 16. Hotell Viru 1984. a

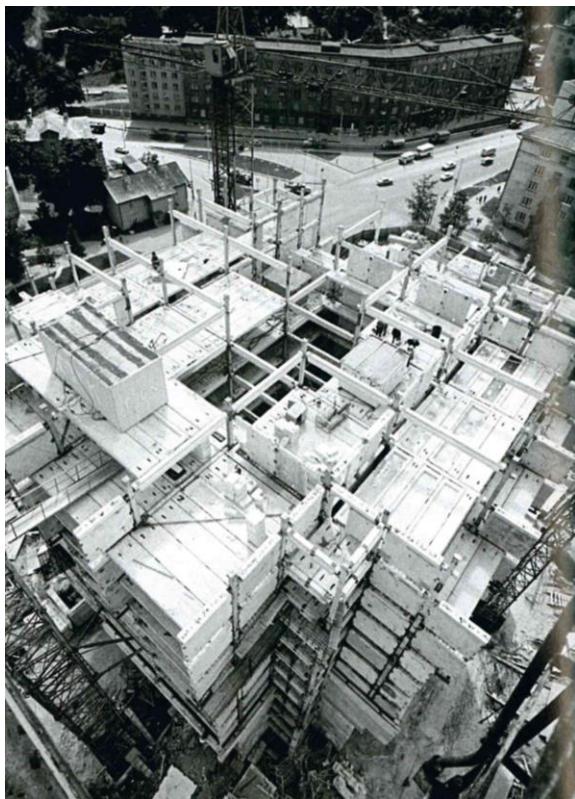


Foto 17. Hotell Olümpia ehitamise ajal 1978. a
(valminud 1980)



Foto 18. Hotell Olümpia 2006. a



Foto 19. Tallinna teletorn ehitamise ajal (valminud 1980)



Foto 20. Tallinna
teletorn 2014. a



Foto 21. Sõpruse sild Tartus ehitamise ajal (valminud 1981)



Foto 22. Sõpruse sild Tartus 2009. a



Foto 23. Puurmani 3 sild ehitamise ajal (valminud 2007)



Foto 24. Puurmani 3 sild 2017. a



Foto 25. Tornimäe kaksiktornid ehitamise ajal (valminud 2007)



Foto 26. Tornimäe kaksiktornid 2011. a