

TARTU ÜLIKOOLI VILJANDI KULTUURIAKADEEMIA

Pärandtehnoloogia õppekava

Ehituse eriala

Matis Kalm

**LIHTTEHNOLOOGILISTE TÕSTEMEHHANISMIDE RAKENDAMINE
TRADITSIOONILISE PRUSS-SÕRESTIKKONSTRUKTSIOONI PÜSTITAMISEL**

Lõputöö

Juhendaja: Tarmo Tammekivi, MA

Konsultant: Grigg Mullen III

Viljandi 2025

Resümee

Lihttehnoloogiliste tõstemehhanismide rakendamine traditsioonilise pruss-sõrestikkonstruktsiooni püstitamisel. Loov-praktilise lõputöö uurimisprobleem tuleneb uurimise autori isiklikest erialastest väljakutsetest: Vajadus tõsta ning paigaldada palju kaaluvaid konstruktsiooniosasid endast kõrgemale sageli asukohtades, kuhu ei pääse ligidale kaasaegsete autokraanadega. Eesmärgiks on õppida valima, konstrueerima ning kasutama lihttehnoloogilisi tõstemehhanisme sõltuvalt ümbritsevast keskkonnast ja püstitatava konstruktsiooni eripäradest. Lõputöö on struktureeritud lineaarses vormis, kus iga peatükk käsitleb järgmiste peatükkide käsitlemiseks vajalikku lähteinformatsiooni. Lõputöö tulemusel on edukalt püstitatud pruss-sõrestikkonstruktsioon ning leitud kinnitust lihttehnoloogiliste tõstemehhanismide kasutusväärtuses.

Võtmesõnad: Lihttehnoloogia, Pruss-sõrestikkonstruktsioon, A-kraana

Abstract

Implementation of low technological lifting mechanisms in the erection of a traditional timberframe construction. The research problem of this creative-practical thesis arises from the researcher's personal professional challenges: the necessity to lift and install heavy structural components to heights that exceed manual reach, as well as to do so at sites where modern truck-mounted cranes cannot gain access. The aim is to learn how to choose, design and use a low technological lifting device that is adapted to both the surrounding environment and the nature of the structure being erected. The thesis is structured in a linear format, with each chapter providing the essential background information necessary for the discussion in subsequent sections. As a result, a traditional timberframe construction has been successfully erected, thereby validating the practical value of low technological lifting mechanisms.

Keywords: Low technology, Timberframe construction, A-crane

Sisukord

Resümees	2
Abstract	2
Sisukord.....	3
Sissejuhatus	5
1. Uurimismetoodika kirjeldus	7
2. Traditsiooniline pruss-sõrestik konstruktsioon ja selle asukoht.....	7
2.1. Asukoha kirjeldus.....	8
2.2. Traditsiooniline pruss-sõrestikkonstruktsioon ja selle omadused.....	10
2.2.1. Arhitektuur	10
2.2.2. Traditsioonilise pruss-sõrestikkonstruktsiooni omadused	11
2.2.3. Tõstetavate elementide tabel	14
3. Kasutatavad tõstemehhanismid konstruktsiooni püstitamisel.....	15
3.1. Kasutatavad köied	15
3.2. Mehhaanilist eelist võimaldavad tehnoloogiad ja vahendid	17
3.2.1. Plokisüsteem.....	18
3.2.2. Vints	20
3.2.3. Konstruktsiooni püstitamiseks vajalikud mehhaanilist eelist võimaldavad vahendid	22
3.3. Tõstekonstruktsioon	25
3.3.1. A-kraana konstrueerimine	30
3.4. Tugiliinid ja ankrud.....	33
3.4.1. Tugiliinid.....	34
3.4.2. Ankrud.....	37
3.5. Kasutatavad sidumissõlmed	39
3.6. Troppimine	48
4. Tõstekava ja praktiline teostus	51

4.1. Ruumikasutus	52
4.2. Tõstekonstruksiooni püstitamine ja langetamine püstitustöödel.....	54
4.3. Tööde järjekord	54
4.4. Praktiline teostus ja tähelepanekud	71
Kokkuvõte	80
Kasutatud allikad.....	82
Lisa 1	85

Sissejuhatus

Käesolev loov-praktiline lõputöö on jätku-uurimus minu seminaritöös uuritud teemale „Lihttehnoloogilised tõstevahendid, nende kasutamine alalisel- ning objektipõhisel töötamisel”. Seminaritöö uurimus keskendus erinevatele lihttehnoloogilistele tõstemehhanismidele ning nende ehitamise, kasutamise tehnoloogiate kirjeldamisele. Lõputöö raames lähen seminaritöös uuritust sammu kaugemale, kus valin välja sobivad tõstemehhanismid ning katsetan neid praktikas traditsioonilise pruss-sõrestikkonstruktiooni püstitamisel. Praktiline tehnoloogiate katsetamine tõstab esile ka väljakutseid, mida teoreetilise uurimise käigus ei nähtud ning selliste väljakutsete lahendamisel omandatakse selgemad teadmised lihttehnoloogiliste tõstemehhanismide kasutamisest.

Lõputöös otsitakse lahendusi lihttehnoloogiatest. Lihttehnoloogiale pakub definitsiooni low-tech lab (s.a.), mille kohaselt tähendab see mõiste midagi, mis on

- A) Kasulik – lahendab üksikisiku või kogukonna jaoks olulisi probleeme.
- B) Ligipääsetav - lihttehnoloogia peab olema kättesaadav võimalikult paljudele inimestele, nii tehnoloogiliselt kui ka rahaliselt. Selliseid vahendeid peaks olema võimalik lihtsasti valmistada ning parandada.
- C) Jätkusuutlik - taaskäideldav, parandatav, disainitud arvestades ökoloogilisi aspekte.

Seega peab olema lihttehnoloogiline tõstevahend lihtsasti ehitatav ja parandatav, selle osad võimalikult taskukohased ning taaskasutatavad. Samas peab see olema tõhusalt rakendatav, et täita seatud eesmärki.

Uuritavat teemat näen aktuaalsena eelkõige väikestele maapiirkondades tegutsevatele ehitusettevõtetele, maa-arhitektuuri taastajatele ning isehitajatele. Uuritavate tõstemehhanismide kasutamine võib osutada vajalikeks oskusteks olukordades, kus tõstetööde mahu, asukoha või kestvuse tõttu ei ole võimalik või otstarbekas tõstetehnikat rentida.

Uurimisprobleem tuleneb autori isiklikest väljakutsetest: Vajadus tõsta ning paigaldada palju kaaluvaid konstruktsiooniosasid endast kõrgemale sageli asukohtades, kuhu ei pääse ligidale kaasaegsete autokraanadega.

Lõputöö eesmärgiks on õppida valima, konstrueerima ning kasutama lihttehnoloogilist tõstevahendit sõltuvalt ümbritsevast keskkonnast ja püstitatava konstruktsiooni olemusest.

Lõputöö uurimisküsimused on järgmised:

- Milliseid tõstemehhanisme vajan tõstetööde läbi viimiseks?
- Millised füüsikalised jõud mõjutavad tõstetegevusi ja kuidas nendega arvestada tõstevahendi konstrueerimisel?

- Milliseid kõisi ja sidumissõlmi on ohutu ning tõhus kasutada?

Esimeses peatükis käsitlen projekti elluviimiseks vajalikku taustinformatsiooni.

Esimese peatüki teemaks on püstitatava konstruktsiooni ning asukoha kirjeldus. Selleks, et leida sobivad viisid tegevuse läbiviimiseks, on tähtis esmalt teadvustada konstruktsiooni ja asukoha poolt seatud eeltingimusi.

Teises peatükis kogun informatsiooni kasutatava tõstevahendi konstrueerimise põhimõtete kohta. Saadud teadmiste tuginedes konstrueerin püstitatava pruss-sõrestik konstruktsiooni omadustele ning asukohale vastava tõstevahendi.

Kolmandas peatükis koostan konstruktsiooni püstitamiseks tõstmiskava ning viin ellu konstruktsiooni püstitamise. Tõstmiskava peatükis planeerin läbi ruumikasutuse ehitusplatsil, tööde järjekorra koos tõstemehhanismide käsitusviisidega ning analüüsin püstitustöödel saadud tähelepanekuid.

1. Uurimismetoodika kirjeldus

Loov-praktilise lõputöö teostamiseks olen projekteerinud kindlale asukohale 30 m² suuruse traditsioonilisel pruss-sõrestikul põhineva suveköögi. Lõputöö elluviimiseks on vajalik konstruktsiooni lihttehnoloogiliste vahenditega püstitamise kavandamine ning püstitustööde läbiviimine. Pruss-sõrestikkonstruktsiooni elemendid on ette valmistatud ning objektile tappelide abil kokku pandavad. Lõputöö on struktureeritud kolmeosaliselt ehk kolme sisupeatükki. Kõikidel peatükkidel on erinevad lähenemisviisid:

- 1) Sisupeatükk: Taustinformatsiooni käsitlemine
- 2) Sisupeatükk: Uurimuslik - andmete kogumine ja analüüsimine
- 3) Sisupeatükk: Uuritu projektile kohandamine ning praktiline katsetamine

Lõputöö on ülesehituselt lineaarne, ehk peatükkides välja selgitatav informatsioon on lähtepunktideks järgmistes peatükkides. Praktilise osa läbiviimisel omandatud oskustele ja tähelepanekutele tuginedes on pöördutud tagasi varasematesse peatükkidesse uurimisteooria täiendamiseks.

Uurimuses on kogutud empiirilist teavet tegevuste kohta. Informatsiooni on kogutud kirjalikest allikatest, vaadeldud ja tõlgendatud veebiallikatest leitavaid video ning pildimaterjale, samuti intervjueritud käsitletava teema koolitajat Grigg Mullen III ning läbitud tema juhendamisel praktilise koolituse.

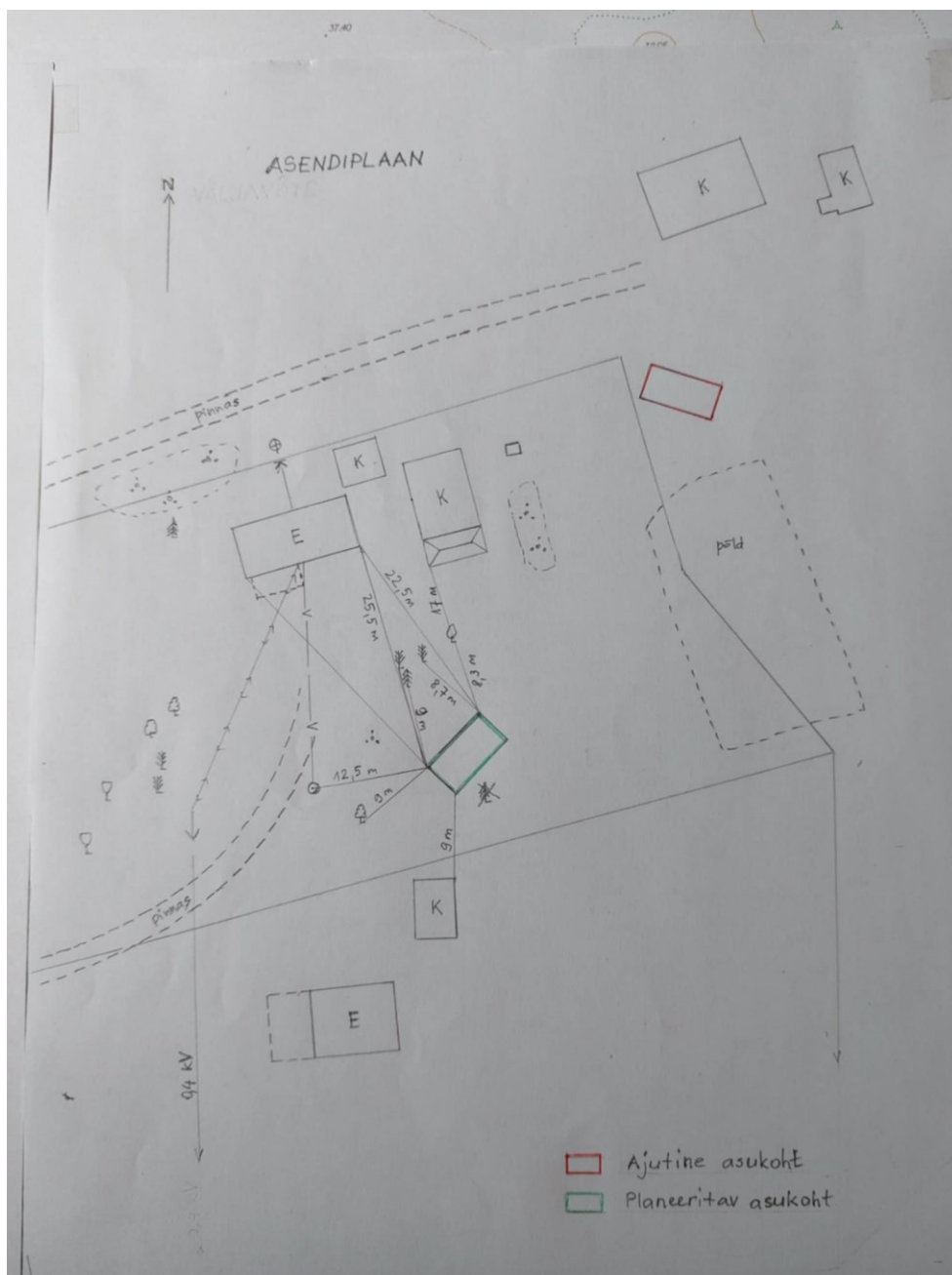
2. Traditsiooniline pruss-sõrestik konstruktsioon ja selle asukoht

Et oleks võimalik valida konstruktsiooni püstitamiseks vajalikke lihttehnoloogilisi tõstevahendeid, on oluline teha kindlaks, millised on püstitatava konstruktsiooni ja ehitusplatsi omadused. Püstitatava konstruktsiooni elementide ja liidete omadustega arvestades on võimalik tuletada ehitise püstitamise tööde järjekord, elementide kaalu ning lõppkõrgusega arvestades on võimalik teha kindlaks, milliste omadustega peavad olema tõstemehhanismid, et oleks võimalik püstitustöid läbi viia. Asetades ehitise keskkonda, on võimalik arvestada keskkonnast tulevate mõjuritega. Keskkonna mõjurite hindamisel saab planeerida ruumi kasutust püstitustöödel ning otsida võimalusi tõstevahendi osade asetsemiseks ja kinnitamiseks.

2.1. Asukoha kirjeldus

Suveköögi asetusel ja arhitektuuri planeerimisel on arvestatud ilmakaari, krundi põhilisi liikumissuundasid ning vahemaid teenindavatest hoonetest ja rajatistest.

Konstruksioon on määratud paiknema puhta õueala servale ning on avatud kagusuunalisele hommiku- kuni pealelõunapäikesele (joonis 1). Avatud pikisein kagusuunda on mõeldud soodustama ka liikumisteid perspektiivselt rajatava tiigi ning suveköögi vahel. Suveköögi edelapoolsest nurgast 12,5 meetri kaugusel paikneb salvkaev, mille kaudu viiakse varjualusesse hooajaliselt kasutatav veevarustus. Lähim hoone paikneb 9 meetri kaugusel rajatava suveköögi lõunapoolsest nurgast. Elumaja paikneb suveköögist loodes 22 meetri kaugusel ning garaaž 17 meetri kaugusel põhjasuunal. Elumaja ja garaažipoolsest küljest on planeeritud liikumissuund kahe neljameetrise vahekaugusega männipuu vahelt. Suveköögi kinnised seinuosad (edela- ning loodesuund) on vaatega 100 meetri kaugusel oleva sõidutee suunas, jätmaks eemalt vaatajale mulje suletud hoonest. Suveköögist loodesuunal paiknevad 9 meetri kaugusel kaks seedermandi ning põhjasuunal 8 meetri kaugusel vana õunapuu. Kagusuunal paiknev kuusk eemaldatakse rajatise tehnilise säilivuse huvides.



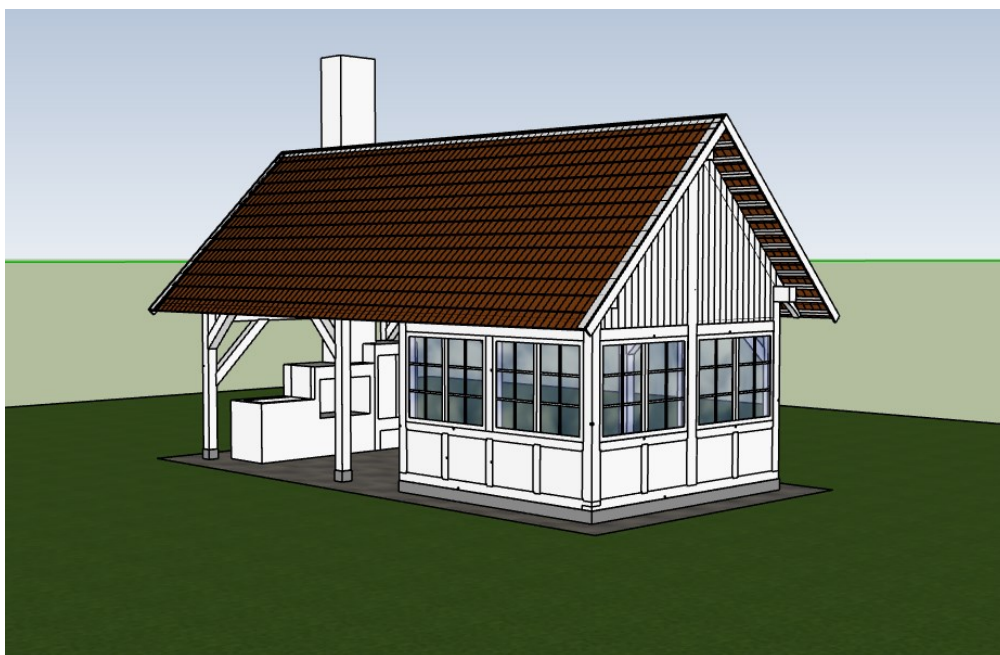
Joonis 1. *Suveköögi paiknemine (M. Kalm)*

Ilmaolude ning ajapuuduse tõttu ei õnnestunud suveköögi originaalsele asukohale lõputöö teostamise ajaks vundamenti rajada. Et lõputööd siiski esitada, rajasin teisele asukohale ajutise vundamendi, mida kasutatakse rajatava suveköögi sõrestiku katsepüstitamise tarvis (joonis 1). Ajutine vundament on rajatud 1,5 meetri pikkustest puupakkudest, kaevatuna vähemalt 0,8 meetri sügavusele maa sisse. Katsepüstitamise asukoht on valitud lähedale konstruktsioonidetailide ladustamise asukohale ning lagedale alale, et vähendada erinevate faktorite mõju tõstetööde läbiviimisel.

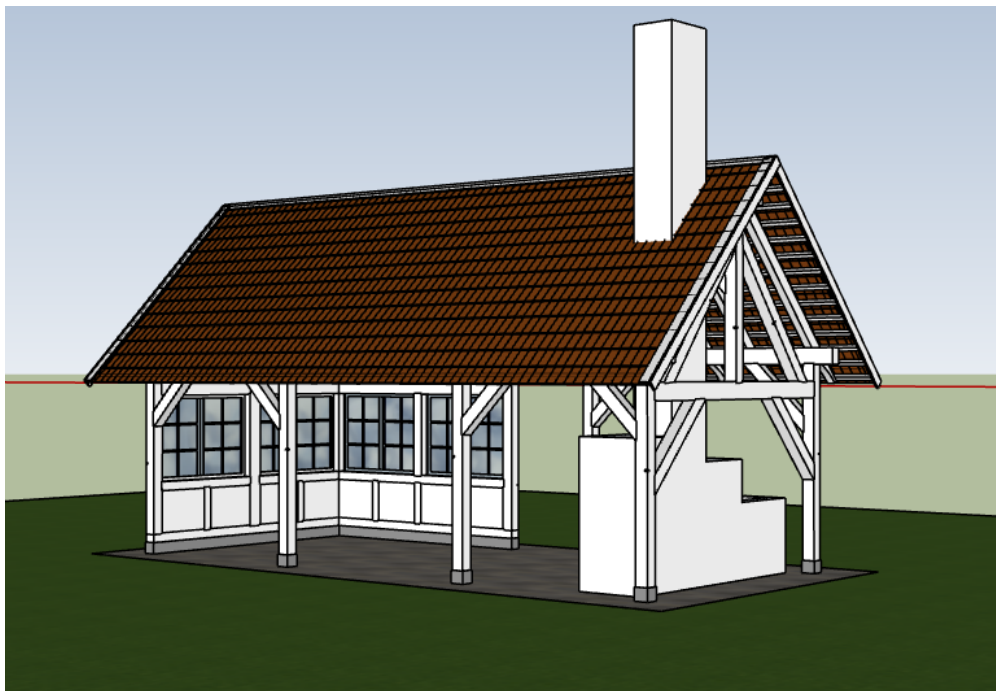
2.2. Traditsiooniline pruss-sõrestikkonstruktsioon ja selle omadused

2.2.1. Arhitektuur

Püstitatava konstruktsiooni arhitektuur on kavandatud avatud hoonena, millel on üks otsasein kinni ehitatud ning üks pikema külje sein osaliselt kinni ehitatud, et piirata tuule läbivust katuse all. Ehitis on 45 kraadise viilkatusega. Kinnistesse seinaosadesse on kavandatud puitraamid aknad. Kinni ehitatavate seinade aknaalustesse osadesse sõrestiku vahele on kavandatud tellismüüritis, mis kaetakse lubikrohviga ning kinnisesse viiluotsa (akende kohale) paigaldatakse puitlaudis. Lahtisesse otsaseina on kavandatud punastest savitellistest kamin koos pliidi, grillimisaluse ja korstnaga. Katusekatteks on planeeritud puit-kimm. Hoone kandekonstruktsioonid koosnevad 150x150 mm postidest, 150x200 mm taladest ja 120x150 pöönadest. Sarikad valmistatakse 150x100 mm puidust. Ehitise lahtise osa alla on kavandatud postvundament ning kinniste seinade alla lintvundament. Ehitis on 8 meetrit pikk ning 3,7 meetrit lai, ehk pindalaga 29,6 m². Ehitis on 4,8 m kõrge. Vundament jääb 20 cm ulatuses maapinnast välja ulatuma ning maapind kaetakse sillutiskividega (Joonis 2 ja 3).



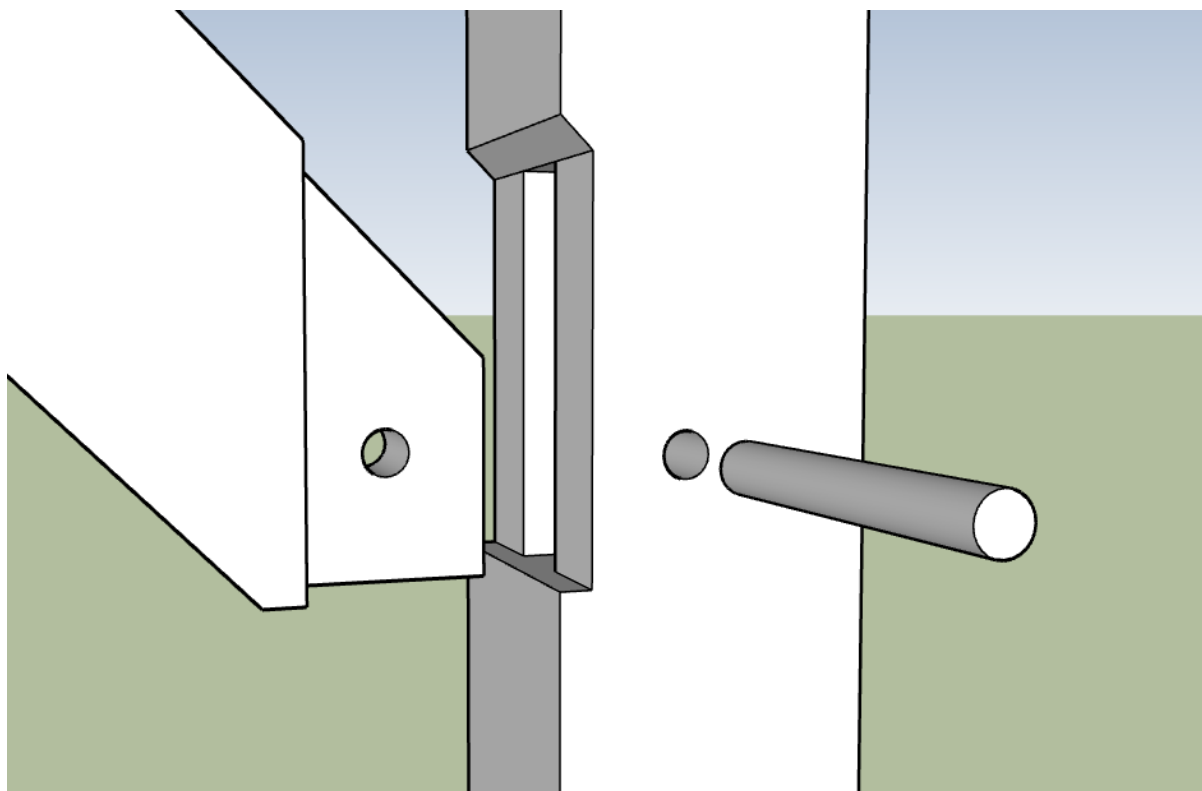
Joonis 2. *Suveköögi vaade läänesuunalt (M. Kalm)*



Joonis 3. *Suveköögi vaade idasuunalt (M. Kalm)*

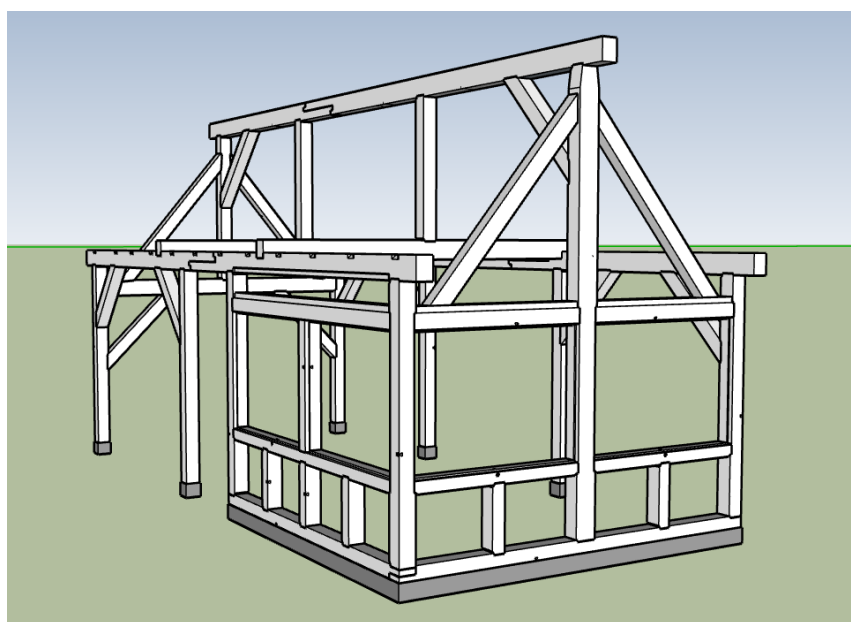
2.2.2. Traditsioonilise pruss-sõrestikkonstruktsiooni omadused

Ehitise kandekonstruktsioonid koosnevad üksikdetailidest nagu postid, diagonaalid, talad, põõnad ja sarikad. Detailid on omavahel kokku liidetavad tapp-liidete abil. Tappliited jagunevad keeltapp-tapipesa liideteks, jätkuliideteks ning sarikatel hammastappideks. Keeltapp-tapipesa liited on omavahel fikseeritavad tammepuidust naaglite abil (joonis 4).



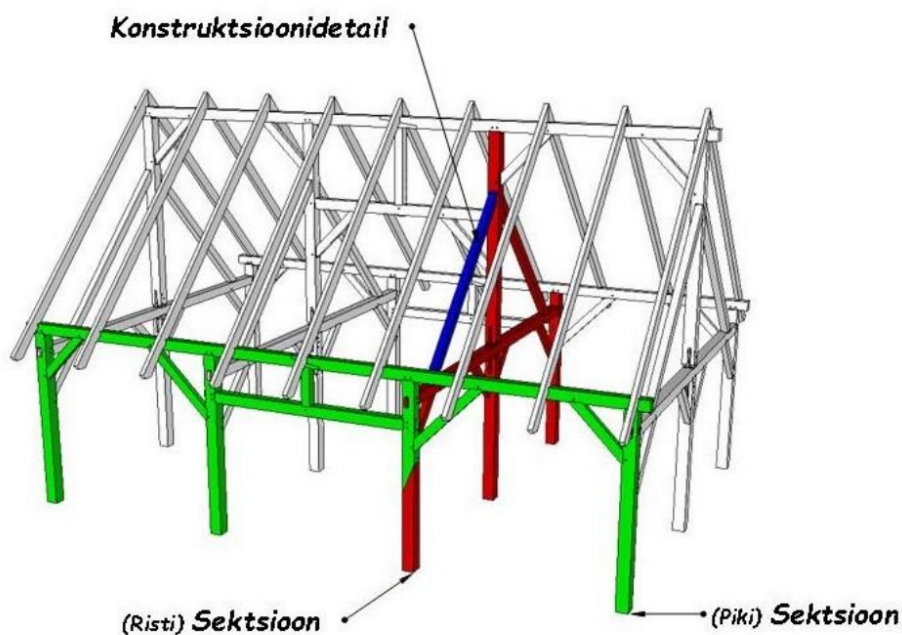
Joonis 4. Keeltapp-tapipesa liide koos fikseeriva tammenaagliga (M. Kalm)

Tähtsaks osutub konstruktsiooni kokku panemise järjekord, kuna tapikeeled sobituvad tapipesadesse ühesuunaliselt. Selleks, et diagonaaltugesid sobitada konstruktsiooniga, tuleb need esmalt liita postidega ning seejärel taladega. Et paigalda konstruktsiooni talasid, peavad esmalt olema paika sobitatud postid koos diagonaalidega.



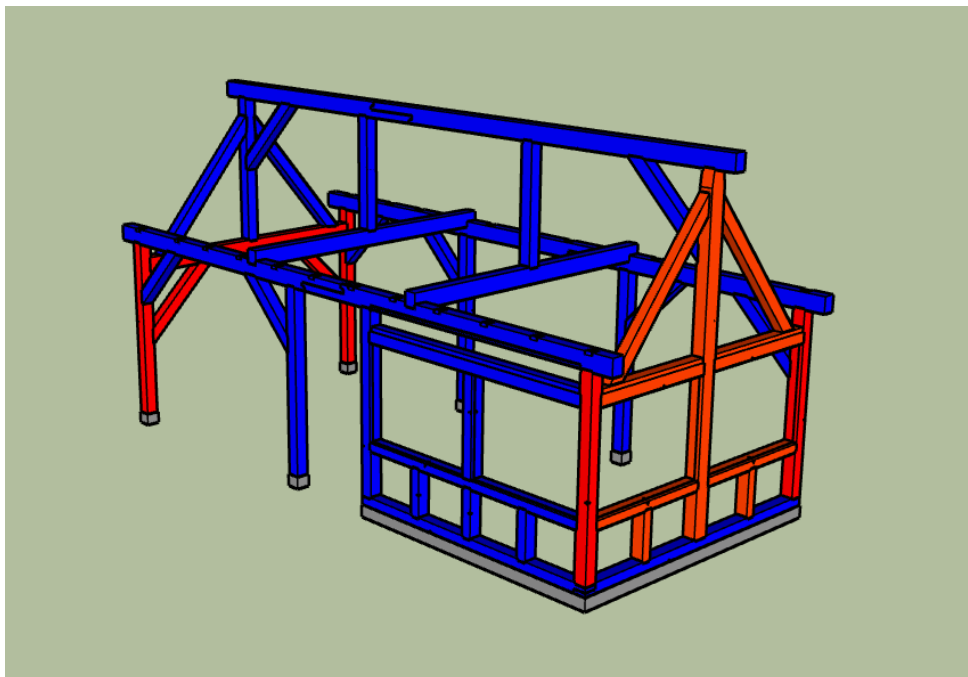
Joonis 5. Püstitatava konstruktsiooni kandeskelett ilma sarikateta (M. Kalm)

Et Joonis 5. kujuteldavas otsaseinas sobituksid kõik detailid õigetes kohtadesse, tuleb esmalt kokku sobitada akende alused põõnad nende aluste väikeste postidega. Seejärel tuleb liita põõnad keskmise postiga, post diagonaaltugedega ning seejärel post ning diagonaaltoed taladega. Järgmiseks on võimalik paigaldada nurgapostid. Kinni ehitatava konstruktsiooni seinade osade hulka kuuluvad ka alumised vööprussid, mis on ühenduses postidega fikseerivate tapikeel-tapipesa liidete abil. Püstitatava konstruktsiooni puhul on võimalik neid ühendada alles siis, kui kõik postid on juba põõnade ja taladega liidetud, sest vastasel juhul ei sobituks enam detailid oma pesadesse. Alumised vööprussid on määratud kinnituma keermelattide ja mutrite abil lintvundamendi külge. Et, keermelatt kinnituks vundamendi külge, puuritakse keermelatile vastav auk vundamendi sisse ning valatakse see peale keermelati sisse asetumist liimiva seguga kinni. Peale keermelati paigaldamist on võimalik vundamendiga liita alumised vööprussid ning seejärel pealmised konstruktsiooniosad.



Joonis 6. Näide traditsioonilise sõrestikkonstruktsiooni sektsioonideks lahutamise võimalustest (Tammekivi, 2015).

Püstitatava konstruktsiooni osad on võimalik jagada sektsioonideks ning üksikuteks konstruktsioonidetailideks. Sektsioonid võivad jaguneda piki- ning risti sektsioonideks (Joonis 6). Püstitatava konstruktsiooni jaotan joonis 7 peal näidatud viisil kaheks risti sektsiooniks ja kolmekümne kolmeks üksikdetailiks.



Joonis 7. Püstitatava konstruktsiooni osadeks jaotamine. Punasega märgitud risti-sektsioonid ja sinisega üksikud konstruktsioonidetailid. Halli värvusega tähistatud vundamendi osad (*M. Kalm*)

Konstruktsiooni püstitamisel lähtun põhimõttest, et kergemad ja madalamad konstruktsiooniosad paigaldan üksikdetailidena ilma tõstevahendit kasutamata. Kõrgemate tõstete läbiviimiseks kasutan tõstevahendit ja selleks, et katsetada erinevaid tõstmise tehnoloogiaid, olen moodustanud kaks ristisektsiooni, mida kokkupanduna püstitada.

2.2.3. Tõstetavate elementide tabel

Et oleks võimalik planeerida lihttehnoloogilise tõstevahendi vajalikke parameetreid ja omadusi, on tarvilik välja selgitada tõstetavate elementide mass, tõstmisel rakenduv jõud ja tõstekõrgus. Tõstetavate elementide tõstmiseks rakenduv jõud F on tuletatud konstruktori käsiraamatust (Rohusaar et al., 2014, lk 184) saadud informatsiooni põhjal, mis pakub õhkuiva okaspuu puidu omakaalu koormuseks keskväärtuse 5 kN/m^3 . Rakenduva jõu leidmiseks leian esmalt elemendi mahu ning seejärel kasutan valemit $F = \rho \times V$, kus F tähistab rakenduvat jõudu (kg), ρ (roo) tähistab tihedust (5 kN/m^3) ja V tähistab mahtu (m^3) (SensorsONE, 2025). Et tuletada massi rakenduva jõu kaudu, kasutan valemit $m = F/g$, kus m tähistab massi (kg), F rakenduvat jõudu (N) ja g gravitatsiooni konstanti, mille väärtuseks on $9,81 \text{ m/s}^2$ (Kirsman, 2025). Täielik tõstetavate elementide tabel on toodud välja lisa 1-s.

Tabel 1. Väljavõte kõige raskematest ja kõrgematest tõstetest				
Nimetus	Maht (m³)	rakenduv jõud (kN)	Mass (kg)	Tõstekõrgus (m)
Sektsioon1	0,506	2,53	258	4,1 (kõrgeim)
Sektsioon2	0,27	1,35	138	2,4 (kõrgeim)
Tala 9-2 (kõrgeim)	0,15	0,75	75	4,5

-Kõige kõrgem tõste on 4, 5 meetrit

-Kõige suurem koormus, millega arvestada tõstemehhanismide omaduste määramisel on 2,53 kN ja selle vinnamiskõrgus on 4,1 meetrit.

-Tõstevahendi olemus peab võimaldama selle liigutamist tõsteala piires või katma asukohta asetatuna ära kõikide vajalike tõstete tingimused, takistamata konstruktsiooni püstitamist

3. Kasutatavad tõstemehhanismid konstruktsiooni püstitamisel

Kasutatavad tõstemehhanismid peavad vastama keskkonnast ja ehitatavast konstruktsioonist seatud eesmärkidele. Tõstesüsteem peab võimaldama tõsteid vajalikele kõrgustele ning vastu pidama tõstetavatele raskustele. Kuna planeeritud on läbi viia sektsioonide vinnamisi ning üksikelementide tõstmisi, on oluline, et kasutatav tõstevahend võimaldaks nimetatud tegevusi. Lisaks on oluline, et kasutatav tõstevahend mahuks ehitatava konstruktsiooni läheduses tõstete läbi viimiseks vajalikkesse asukohtadesse ning oleks vajadusel võimalikult lihtsa vaevaga liigutatav ning tegevuseks valmis seatav. Käesolevas peatükis otsitakse vastust järgmistele küsimustele:

-Millist tõstekonstruktsiooni on vaja tõstetööde läbi viimiseks?

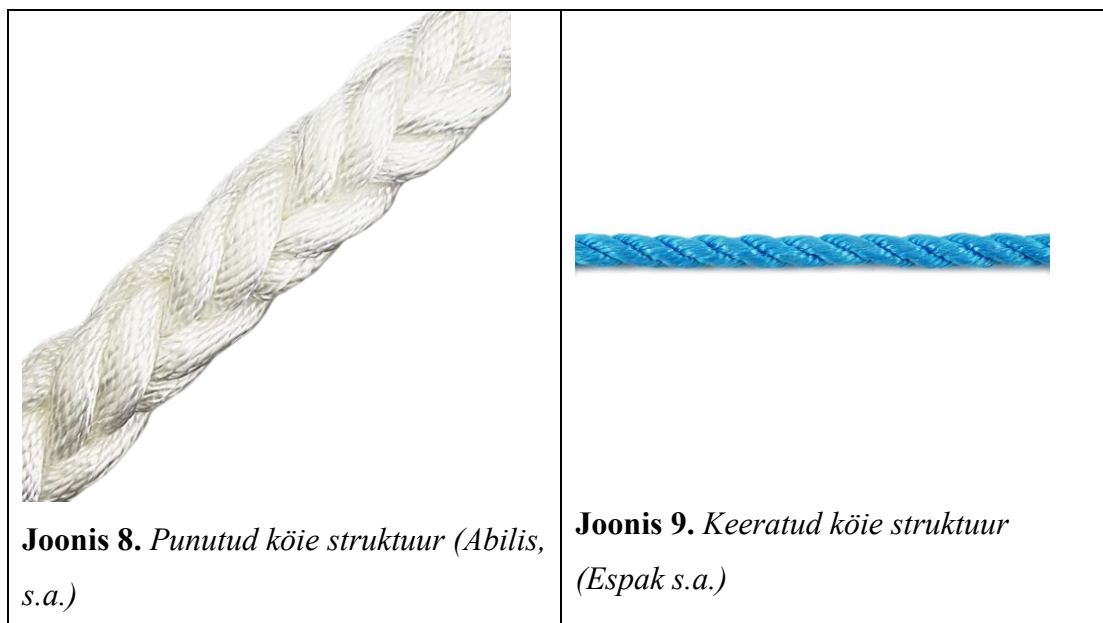
-Milliseid sidumissõlmi on ohutu kasutada ja millist köit kasutada?

-Millised füüsilised jõud mõjutavad tõstetegevusi ja kuidas nendega arvestada tõstemehhanismide konstrueerimisel?

3.1. Kasutatavad köied

Tõstmistöõde läbiviimisel osutuvad tähtsateks abivahenditeks erinevatest materjalidest köied, mida suurte raskuste tõstmisel asendatakse terasest trossidega. Köied jagunevad materjali

poolest naturaalseteks ning sünteetilisteks, venivuse poolest dünaamilisteks ja staatilisteks ning mustri järgi keeratud ning punutud köiteks (joonis 8 ja 9).



Tõstetööde läbiviimiseks on võimalik kasutada nii punutud kui keeratud struktuuriga köisi. Mugavaks töötamiseks on soovitatav siiski kasutada punutud struktuuriga köit. Keeratud struktuuriga köis keerdub plokirataste läbivusel kergemini ja võib keerata plokirataste vahelised köieosad vinti. Köie vinti minemist saab vältida ülemise plokiratta telje fikseerimisega tõstekonstruktsiooni külge (Mullen, koolitus 12.04.2025).

Suurte raskuste tõstmisel asendatakse köied terastrossidega. Terastrosse valmistatakse tsingitud terastraatidest, mis on kõrge süsinikusisaldusega. Sidumissõlmi terastrossidel ei kasutata, kuna kasutatavad teraseniidid on liialt jäigad ja nende liigne painutamine lõhub trossi struktuuri (Künnap, 2016, lk 18).

Department of the Army [DotA] (2013, lk 21) soovib kasutada tõstmistööl sisal- või manilla köit ning toob välja tabeli nende materjalide suutlikuse kohta raskuste tõstmisel. Mõlemad köied on ehitatud naturaalsestest kiududest ning valmistatakse keeratud struktuuriga. Manilla köis (joonis 10) on sisalköiest umbes 20% tugevam (Künnap, 2016, lk 16). Manilla köis on kõige tugevama ja vastupidavama loodusliku kiuga - tugevuselt sarnane kanepikiust valmistatud köiega, kuid pehkimisele vastupidavam (Künnap, 2016, lk 17). Uued manillaköied kahanevad märgudes, mille tõttu soovib Künnap (2016, lk 17) uue köie enne kasutamist vette uputada ning kuivatada. Manilla köie kokkutõmbumine olevat puuduseks sõlmede sidumisel.



Joonis 10. *Manilla köis (Manila Rope, 2014)*

DotA (2013, lk 21) hinnangul võib köie kasutusiga väheneda selle vale hoolduse tõttu. Köit tuleb hoiustada kuivas ja jahedas kohas ning tuuldumist võimaldaval viisil. Köit tuleb hoida liiva ning mustuse eest, kuna mustus lõhub köie kiudu. Samuti soovitatakse vältida külmunud köie kasutamist, kuna külm vähendab köie vastupidavust. Manilla köie venivus pingel on 6-8% (Künnap, 2016, lk17).

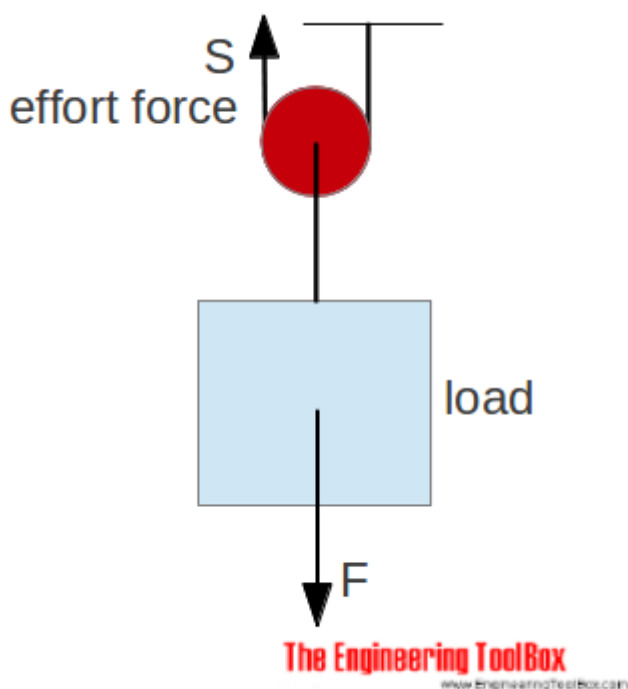
Liht-tehnoloogiliste tõstevahendite koolitaja Grigg Mullen III (koolitus 12.04.2025) nõuandele tuginedes on mugav kasutada tõstmistöodel sünteetilisi polüesterköisi, kuna need on ajas vastupidavamad naturaalsest köitest. Polüesterköis talub hästi äkilist koormust, mis tuleneb selle mõõdukast venivusest katkemiseni 12 kuni 15 protsendi juures, olles püsiva koormuse juures väheveniv (Künnap, 2016, lk 23). Samuti ei ähvarda polüesterköisi hallitus, mikroorganismid ega kahjurputukad (Künnap, 2016, lk 24).

3.2. Mehhaanilist eelist võimaldavad tehnoloogiad ja vahendid

Selleks, et tõstetegevusi läbi viia, on tarvilik kindlalt paigal seisev ese või konstruktsioon, mis asetub tõstetava eseme kohal ning selle külge kinnitatud tõmbeliin (tross või köis), mille liikumisel tõstetakse koormat. Toimetades lihasjõul, aitavad raskete koormate tõstmisel tõste läbiviijat lihtsate mehhaaniliste põhitõdede tundmine. Kasutades õigeid vahendeid ja tehnikaid, on võimalik vähendada tõstmiseks vajamineva jõu hulka. Mehhaanilist eelist pakuvad tõstmistöde teostamisel eelkõige plokisüsteemide ja vintside kasutamine. Järgnevas peatükis annan ülevaate plokide ja vintside olemusest ning selgitan välja konstruktsiooni püstitamiseks vajalike tõstmistöid abistavate mehhaanilist eelist võimaldavate vahendite hulga.

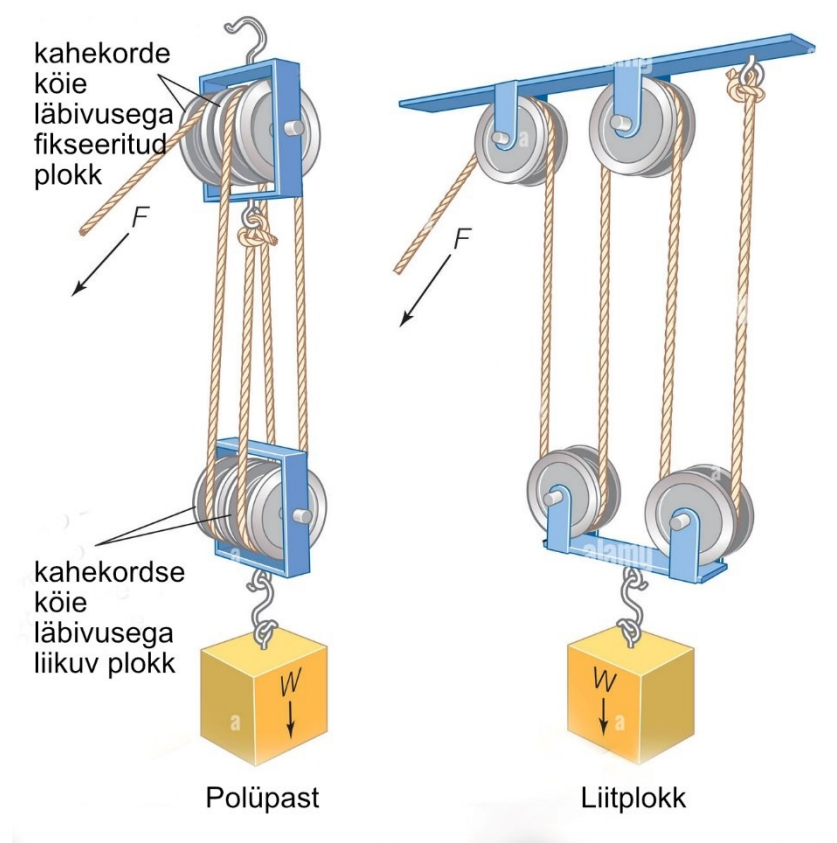
3.2.1. Plokisüsteem

Materjali ülessuunas liigutamiseks on tarvilik ese või konstruktsioon, mis asub tõstetava eseme kohal ning liigutatav tõmbeliin, mille tõmbamisel kergitatakse koormat. Et tõstmistegevus oleks käepärane ning jõukohane, on võimalik kasutada tõsteplokke. Tõsteplokiks nimetatakse köiele, trossile või ketile vastava soonega veoratast, millega saab muuta tõmbesuunda ning mille abil on võimalik erinevates kombinatsioonides vähendada eseme tõstmiseks rakendatavat jõudu (Merriam-Webster, 2025). Tõsteplokki on võimalik riputada selle küljes oleva konksu abil tõstetava eseme kohale ning selle ühendades tõmbeliini ja tõstetava esemega, on võimalik ise all olles tõsta koormat vertikaalsuunas. Sellisel viisil tõstes võrdub rakendatav jõud tõstetava raskusega, kuid eeliseks on plokki abil võimaldatav tõmbesuuna muutus (The Engineering Toolbox [TET], *pulleys*, 2007). Samasugust plokki kasutades teisiti või koostöös teiste plokiratastega, on võimalik vähendada eseme tõstmiseks rakendatavat jõudu. Kasutades ühte plokiratast joonis 11 näidatud viisil, jaotub raskus pooleks mõlemal pool plokiratast asuvale trossiosale. Selle tulemusena jääb raskuse tõstmiseks vaja rakendada mehaanilist jõudu poole vähem ($S=1/2F$) (TET, *pulleys*, 2007).



Joonis 11. Vajaminev jõud on võrdeline poole tõstetava eseme kaaluga (TET, *pulleys*, 2007)

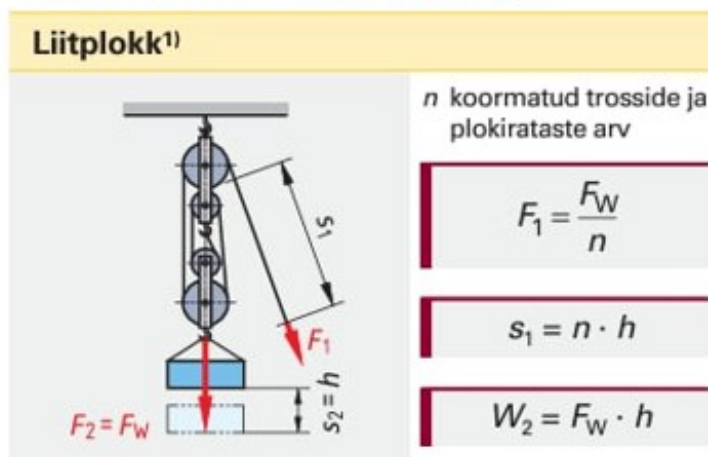
Plokkide vahel olevaid tõmbeliini osi nimetatakse niitideks (Veski, 1949, lk 249). Kasutades mitut erinevat plokiratast on võimalik vähendada eseme tõstmiseks vajaminevat jõudu suurusjärgus nii mitu korda, kui mitu niiti asub plokirataste vahel (joonis 13). Viimane tõmbeliini osa, mida kasutatakse tõmbesuuna muutmiseks, rakendatava jõu hulka ei vähenda. Plokirattad võivad olla ühe või mitmekordse niitide läbivusega. Plokisüsteemi, kus on palju erinevaid ühekordse läbivusega plokirattaid (joonis 12), nimetatakse liitplokiks (Gomeringer *et al.*, 2021). Plokisüsteem, mis koosneb kahest mitmekordse läbivusega plokist (joonis 12), nimetatakse polüpastiks (Veski, 1949, lk 249).



Joonis 12. Polüpast ja liitplokk (Universal Images Group North America LLC, 2025)

Kasutades plokisüsteeme rakendatava jõu vähendamiseks, suureneb tõmbeliini pikkus (joonis 13). Tõmbeliini pikkus on sõltuv koorma kõrguse kasvust ning plokirataste vahel asuvate niitide arvust. Sellist mehhaanilist asjaolu selgitab valem $s_1 = n \times h$, kus n iseloomustab niitide arvu, h koorma kõrguse kasvu ning s_1 tõmbeliini pikkust (Gomeringer *et al.*, 2021).

Lihtmehhanismid. Energia



Joonis 13. Liitploki toimimispõhimõtted (Gomeringer et al., 2021)

3.2.2. Vints

Vints on tähtis abivahend tõstmistöode läbiviimisel. Tänapäeval on võimalik kasutada erinevate jõuallikatega varustatud vintse, mille kasutamiseks ei ole vajalik rakendada lihasjõudu. Käsvintside kõige tähtsamateks osadeks on trummel, mille ümber kerib ennast vinnamistross või -kõis ning trumlit lihasjõul pöörlema panev käsitsi keeratav vânt. Ühe ainsa käsivintsi tõstejõud võib ulatuda tänapäeval kuni 10 tonnini (Veski, 1949, lk 253).

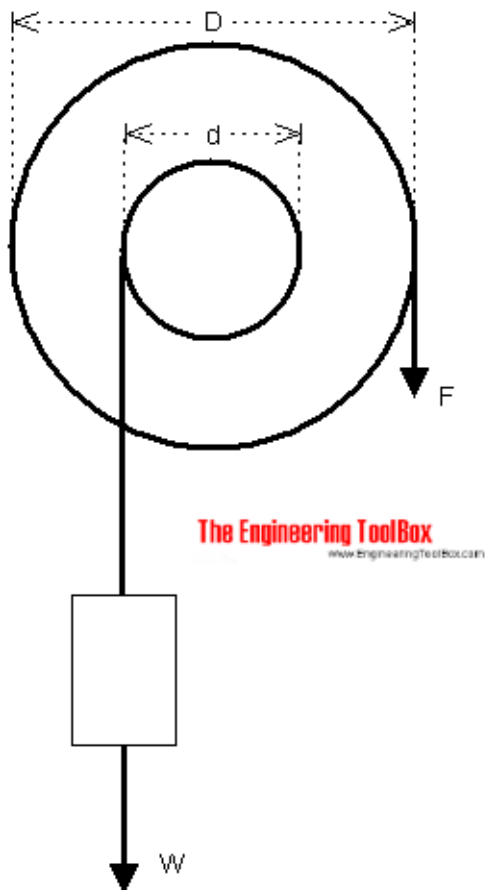
Käsvintsidele annab mehaanilise eelise jõu õla toimimise põhimõte. Jõu õlaks nimetatakse jõu mõjusirge kaugust toetuspunktist või pöörlemisteljest (Füüsikaleksikon, s.a.). Vintsisüsteemidel on määrav eelkõige mõjusirge kaugus pöörlemisteljest. Pöörlemisteljena käsitleme trumli keskpunkti ja kaks selle ümber rakenduvat mõjusirget on trumli diameeter ning käsitsi pööratava vända ringi diameeter (joonis 14). Vajamineva jõu vähendamisel mängivad rolli vända ning trumli diameetrite omavaheline suhe. Sellise mehhanismi saavutatavat jõueelist iseloomustav valem on $F = W \times d/D$ (TET, *lifting wheels*, 2008), kus

F = rakendatav jõud (N)

W = tõstetav raskus (kg)

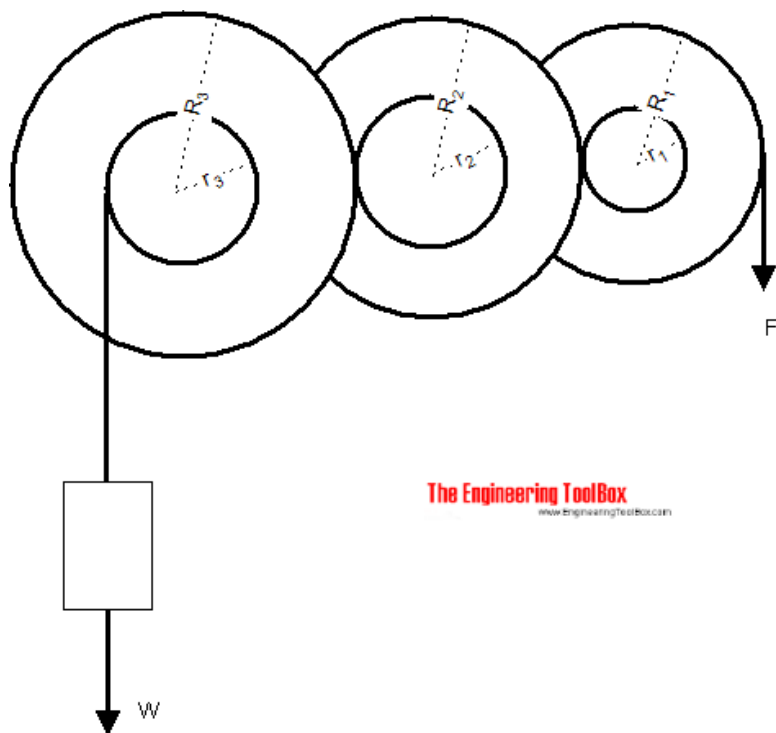
d = trumli diameeter (mm)

D = käsivända diameeter (mm)



Joonis 14. Käsivintsi trumli (d) ja vända (D) diameetrite/raadiuste erinevusest ning tõstetavast raskusest (W) sõltub rakenduv jõud raskuse tõstmiseks (TET, *lifting wheels*, 2008)

Jõueelist on võimalik veel suurendada, kasutades mitme ülekandega vintsi (Joonis 15). Tänapäeval toodetavate käsivintside hulgas on ka mitmest hammasrattast ja ülekandevõllist koosnevad käsivintsid. Lisaks on vintsid varustatud tõkestusrattaga, mis ei lase raskusel peale vinnamist tagasi alla vajuda (Veski, 1949, lk 253). Mida rohkem hammasrattaid ülekandesüsteemis paikneb ning mida suuremad on hammasratate sise- ja välisdiameetrite erinevused, seda vähem jõudu on vaja rakendada raskuse tõstmiseks (TET, *Gears*, 2008).



Joonis 15. Ülekannetega käsivintsi skeem (TET, Gears, 2008)

Sellise mehhanismi jõueelist aitab seletada valem $F = W (r_1 \times r_2 \times \dots \times r_n) / (R_1 \times R_2 \times \dots \times R_n)$ (TET, Gears, 2008). Antud valemi suured R-id tähistavad hammasrataste välimisi raadiuseid ning väikesed r-id sisemisi raadiuseid. Üheks suureks R-iks võib pidada ka käsitsi keeratavat vända, mis moodustab jõu õla sellega ühenduses oleva võlli suhtes. Mida suurem on väikeste ja suurte hammasrataste suuruste erinevus ja mida rohkem ülekandeid on vintsisüsteemis, seda rohkem väheneb vintsimiseks vajamineva jõu hulk. Teisalt suureneb ühe ühiku koorma liigutamiseks tehtavate vända pöörete arv, kuna väikesed hammasrattad kannavad pöördeid edasi suurtele hammasratastele ning need omakorda väikestele.

3.2.3. Konstruktsiooni püstitamiseks vajalikud mehhaanilist eelist võimaldavad vahendid

Kõrvutades käesolevas peatükis kogutud teavet püstitava konstruktsiooni andmetega, on võimalik leida lihttehnoloogiline lahendus püstitustöödel rakendatava jõu vähendamiseks. Et leida lahendus tõstetööde läbiviimiseks, kasutan kõige suurema rakendatava jõu väärtust, mis on tõstetavate elementide tabelis välja toodud.

Nimetus	Maht (m3)	Rakenduv jõud (kN)	Mass (kg)	Tõstekõrgus (m)
Sektsioon1	0,506	2,53	258	4,1 (kõrgeim)

Kõige raskem element püstitatavas konstruktsioonis on sektsioon 1, massiga 258 kg ning tõste läbiviimisel rakenduv jõud on ligikaudselt 2,53 kN.



Joonis 16. Lincoln käsi-kangvints (Boise Rigging Supply, s.a.)

Kasutatava käsi-kangvintsi (joonis 16) saavutatav mehhaaniline eelis on ühe kaabli kasutamisel ligilähedaselt 15 kordne ning kahe niidiga 30 kordne. Erinevus tuleneb kaabli liinil olevast tõstekonksuga plokirattast, mida on võimalik kasutada kaabli tõmbesuuna muutmiseks ($F=W$) või koorma külge kinnitamiseks ($F=1/2 W$). Kaabel on üheksa meetri pikkune. Kasutatava seadmega on lubatud tõsta ühe kaabliga kuni 680 kg ning kahekordse kaabliga kuni 1340 kg.

Ühe töötaja kohta lihtsasti talutav rakendatav jõud on kuni 200 N (Mullen, koolitus 12.04.2025). 2,53 kN suuruses vajamineva jõu jagades kasutatava käsi-kangvintsi 15- ja 30 kordse jõueelisega on vajaminev jõuhulk vastavalt $2530/15=169$ N ja $2530/30= 84$ N. Kasutades 15 kordset jõueelist, on võimalik trossi jooksul olevat plokiratast kasutada kraana tipus asetuva tõsteplokina (Mullen, koolitus 12.04.2025).

Käsivintsi on võimalik asendada/kombineerida plokisüsteemide kasutamisega. Kasutades kaheniidilist plokisüsteemi, väheneb jõud tõmbeliinile kaks korda ehk tõmbeliinile mõjuv koormus on $2,53/2=1,26$ kN. 4,1 meetri kõrguse tõste juures suureneb kaheniidilise plokisüsteemiga tõmbeliini pikkus kahekordseks ehk 8,2 meetri pikkuseni. Kasutades neljaniidilist plokisüsteemi on tõmbeliinile mõjuv jõud $2,53/4= 0,63$ kN ja tõmbeliini pikkus on 16,4 meetrit. Kasutades neljaniidilist plokisüsteemi, on tarvilik selle käitamiseks kasutada kolme töötajat, et tõstetavate raskustega toime tulla. Plokisüsteemi on võimalik kasutada ka koos vintsi, kui vintsi trummel mahutab tõmmatava köie pikkust.

Tõstete läbiviimisel tekib köies lasti kõikumise tulemusel pingemuutusi. DotA (2013, lk 20) õpetusel on vajalik mõjuvatele jõududele lisada ohutuks töötamiseks vähemalt 4 kordne varutegur. Olenevalt köie materjalist ja hoiustamise tingimustest võib köie vastupidavus vananedes väheneda. Et oleks ohutu töötada, on tähtis valida tõmbeliini jaoks köis, mille minimaalseks purunemiskindluseks on kaheniidilise plokisüsteemi kasutamise puhul vähemalt $1,26 \text{ kN} \times 4= 5,04 \text{ kN}$ ning neljaniidilise plokisüsteemi kasutamisel vähemalt $0,63 \text{ kN} \times 4= 2,53 \text{ kN}$.

Euroopas turustavate käsiajamiga tõsteseadmete ohutusnõuded sätestab EEN 13157 standard. Vastavalt standardile peab turustatavate käsiajamiga tõstmiseks toodetud seadmetele nähtavale kohale olema märgitud maksimaalne lubatud töövõime, mis ei tohi ületada 1/4 seadme maksimaalsest kandevõimest (EVS-EN 13157:2004+A1:2009). See tähendab, et 1000 kg märgisega seadmega võib tõsta ohutult kuni 1000 kg kaaluvaid esemeid ja varutegurite juurde arvutamine ei ole vajalik. Kõige raskema sektsiooni massiga 258 kg tõstmiseks on lubatud kasutada plokirataid, mille maksimaalne lubatud töövõime on 258 kg või kõrgem. Välja valitud kahekordse köieläbivusega plokirataste (Joonis 17) töövõime on 500 kg, mis on piisav käsilolevateks püstitustöödeks.

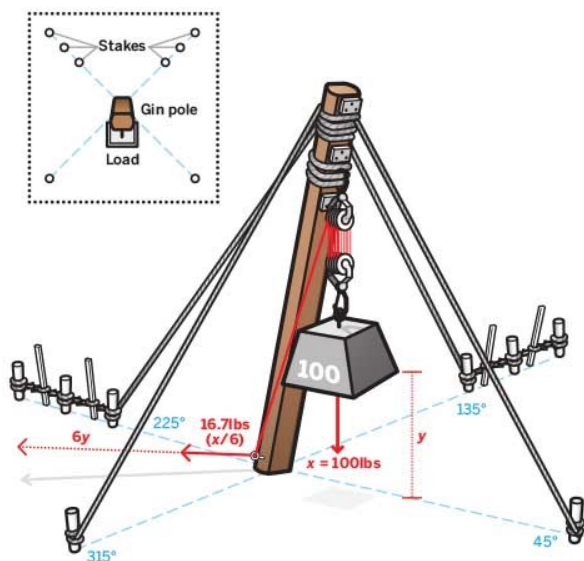


Joonis 17. Kahekordse läbivusega plokiratas. Maksimaalne lubatud töövõime 500 kg/4,9 kN, kuni 8 mm köis/tross (Tööriistamarket, 2025)

3.3. Tõstekonstruksioon

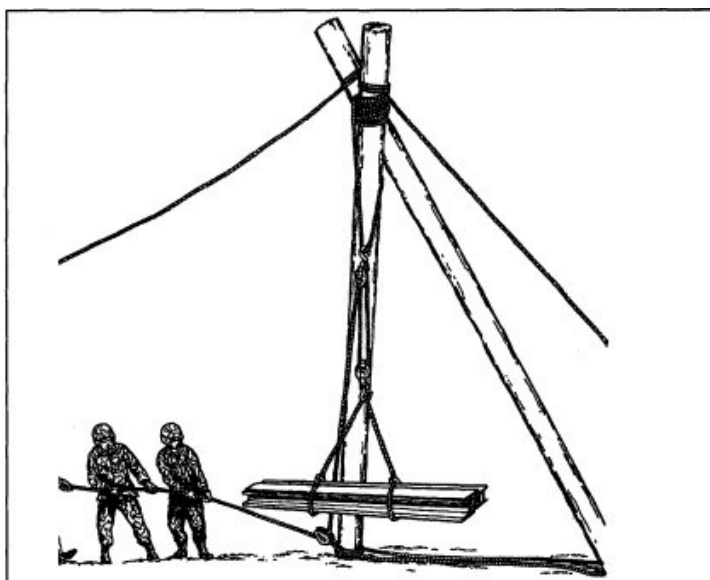
Käesolevas lõputöös käsitlen tõstekonstruksiooni tõstemehhanismide osana, mille peamine ülesanne on tagada vajalik tõstekõrgus. Tõstekonstruksiooni valikul ja konstrueerimisel lähtun põhimõttest, et see peab olema lihtsasti ehitatav, kasutatav ning ehitusplatsi piires liigutatav.

Üheks selliseks tõstekonstruksiooniks on montaažimast (joonis 18). Montaažimast on töösendis vertikaalset 10 kraadise kalde all seisev post. Montaažimasti hoiavad töösendis 4-6 tugiliini, milleks on võimalik kasutada terastrosse (vandid) või erinevatest materjalidest köisi. Masti ülemisse otsa kinnitatakse suuremate koormate tõstmiseks tavaliselt polüpast, mis on ühenduses eemal asuva vintsiga (Veski, 1949, lk 254). Montaažimast on sobilik ainult vertikaalsuunaliste tõstete läbiviimiseks (DotA, 2013, lk 144). Montaažimast on mugav lahendus tõstmistöodel, kuna seda on lihtne ning kiire valmistada.



Joonis 18. *Montaažimast (Gursthle, 2013)*

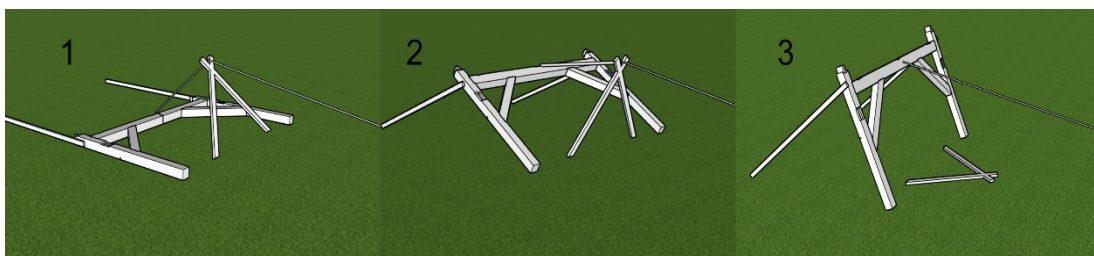
Teiseks sarnase põhimõttega lahenduseks on nn. A-kraana (joonis 19). A- kraana kujutab endas kahte püstist ladva ottest omavahel kinnitatud posti, mille tüvepoolsed otsad on stabiilsuse hoidmiseks harki asetatud. Sarnaselt montaažimastiga on A-kraana tööasend umbes 10 kraadise kalde all ning selle ülemisse otsa on riputatud tõstmiseks kasutatav plokk või plokisüsteem, mis on ühendatud eemal asuva vintsiga. Võrreldes montaažimastiga on sellise konstruktsiooni eelisteks parem stabiilsus, vastupidavus ning sellise kasutamiseks on vajalik kasutada ainult kahte tugiliini (Sobon & Shroeder, 1984, lk 135).



Joonis 19. *A-kraana (DotA, 2013, lk 156)*

Tõstmine toimub mõlema eeltoodud konstruktsiooniga sarnasel viisil. Mõlemal tõstekonstruktsioonil kasutatakse lihasjõu vähendamiseks ning tõmbesuuna muutmiseks plokisüsteeme ning vintsi. Vinnamisköie või -trossi suunda muudetakse tõstekonstruktsiooni jala külge kinnitatud plokiratta abil (DotA, 2013, lk 155). Vertikaalsuunaliste tõstete läbiviimisel asetatakse tõstetav koorem tõstekonstruktsiooni tööasendis oleva vertikaalist umbes 10 kraadise kalde all asuva tipu alla (Sobon, 2019, lk 207). See on vajalik koorma kõikumise vältimiseks ning tõstetegevuse võimalikult ohutu kulgemise tagamiseks. Tõstetav koorem tropitakse tõstekonstruktsiooni tipu külge kinnitatud rippuva polüpasti külge ning vinnatakse tavaliselt eemal asuva vintsiaga.

Kui montaažimasti kasutatakse soovituslikult ainult vertikaalsuunaliste tõstete läbiviimiseks (DotA, 2013 lk 144), siis A-kraana kasutamise võimalusi näib olevat rohkem. Shelter Institute (2025) õpetusel on võimalik kasutada A profiili sõrestikkonstruktsiooni tervikseksioonide vinnamisel. Pikali asetseva sektsiooni külge tropitakse vinnamisköis, tross või kett, mis suundub üle A profiili vintsini. Vints on ankurdatud kindlalt paigalseisva eseme, näiteks kaldvaiade või kasvava puu külge. A profiil seisab sektsiooni jalgade läheduses selle koha läheduses, kus hakkab paigaldatud sektsioon seisma. A profiil on vertikaalist pikali asetseva sektsiooni poole nähtu põhjal vertikaalist ligilähedaselt 25 kraadi võrra kaldu asetatud (Joonis 20).



Joonis 20. A profiili abil sektsiooni püstitamine (M. Kalm)

A profiili eesmärgiks on tõmbeliini suuna muutmine. Kui vintsimine toimub maapinna lähedalt, siis tõmbeliini jooksul asetuva A-profiili abil toimub trossi tõmme sektsioonile vertikaalsuunas. Vintsi abil tõstetakse sektsiooni järk-järgult püstisesse asendisse, samal ajal kui A-profiil liigub üle püstise asendi teises suunas kaldu, kuni lõpuks kaotab oma pidepunkti (Shelter Institute, 2025). Näib, et A profiili 90 kraadine asendi muutus üle vertikaali toob kaasa sektsiooni kerkimise umbes 90 kraadi võrra.

Sarnast tehnoloogiat kirjeldab A, Veski montaažimasti püstitamise abinõuna, nimetades seda langeva noole tehnoloogiaks (Veski, 1949, lk 255-257). Konstruktsiooni sektsioon kindlustatakse sektsiooni kõrgusest pikemate prussidega (joonis 20), naelutades need ühe

naelaga tõstmise ajaks külgede pealt sektsiooni ülemise osa külge ning suunaga tõstesuunast tahapoole. Vinnamise tegevuse kestel töötavad need kaldtugedena, liikudes sektsiooniga samaaegselt üha enam püstisesse asendisse (Shelter Institute, 2025).

Kui Shelter Institute (2025) videos kasutatud A profiil ei olnud kraana, vaid väiksem ja lihtsam versioon sellest, siis erinevatelt piltidelt nähtu põhjal kasutatakse sarnast vinnamistehnoloogiat ka A-kraanasid kasutades. Näitena on võimalik tuua Notre Dame koopia fermi püstitamise Washington D.C.-s (joonis 21).



Joonis 21. *Notre Dame koopiafermi püstitus Washington DC-s (Mullen et al., s.a.)*

Lisaks langeva noole tehnoloogiale on võimalik vinnata A-kraanat kasutades ka teisiti. Kui A-kraana on elemendi tõste lõppkõrgusest kõrgem ning seisab vinnatavale sektsioonile lähedal, on võimalik sektsioon tõsta vajalikku asendisse, muutmata A-kraana kaldenurka (joonis 22). Kasutades A-kraanat vinnamiseks, võib osutuda vajalikuks sektsiooni jalgade kindlustamine nihkumise eest. Tõmbeliin ei kinnitata tingimata vinnatava konstruktsiooniosa tipust - seda võib troppida asukohast, kus konstruktsiooni raskuskese on ületatud, et konstruktsiooni jalad püsiksid vinnamise ajal maapinnal (Mullen, Koolitus 12.04.2025).



Joonis 22. *Sektsiooni vinnamine fikseeritud A-kraana tööasendis (Mullen et al., s.a.)*

Kuna A-kraana toetub kahele jalale, on see oma omadustelt montaažimastist stabiilsem ja selle kasutamiseks on vajalik kasutada vähem stabiilsust tagavaid tugiliine. DotA (2013, lk. 152) õpetusel vajab A kraana toimimiseks olenevalt kõite või vantide tugevusest kahte tugiliini, millest üks paigaldatakse suunaga tõstealast taha- ning teine ettepoole. Sealjuures võtab tõstmise ajal tekkinud pinge vastu tahapoole suunatud tugiliin ning esimene hoiab A-kraanat tõstete ajal stabiilsena.

DotA (2013, lk 152) õpetusel on võimalik A-kraanat ehitada kahest palgist, terastorst, prussidest või jämedatest plankudest, olenevalt selle kasutamise tingimustest ning tõstetavatest raskustest. Lisaks on oluline A kraana postide pikkuse-läbimõõdu suhe (L/d), mis ei tohiks raskete koormate puhul ületada $1/60$, kuna tõstete läbiviimisel mõjub tõstekonstruktsiooni jalgadele surve. Sellise reegli kohaselt oleks 10 meetri pikkuste A-kraana jalgade minimaalne läbimõõt $16,7 \text{ cm}$ ($1000\text{cm}/60=16,67\text{cm}$). Sama suurt pikkuse ja läbimõõdu suhet pakub Department of the Army (2013, lk 144) ka montaažimasti ehitamiseks. J. Sobon ja R. Schroeder (1984, lk 135) paneb paika reegli, et pruss-sõrestik konstruktsiooni ehitamisel kasutatava montaažimasti ladva diameeter ei tohi mingil juhul olla väiksem kui 3 tolli ($7,6 \text{ cm}$). Samuti on J. Sobon ja R. Schroeder (1984, lk 135) hinnangul vajalik kasutada tugevat, kuid kergest puitu ning materjal peaks olema võimalikult oksavaba ning sirge süüga. Nii DotA (2013, lk 144), kui ka J. Sobon ja R. Schroeder (1984, lk 135) pakuvad sobivaks kasutatavaks puuliigiks kuuske.

A kraana jalgade alumine osa peab olema omavahel ühendatud kõiega, plankudega, prussidega või muul jäikust tagaval viisil, et takistada jalgade laiuli vajumist. Samuti peaks A-kraana jalgade omavaheline kaugus maapinnal olema ligilähedaselt pool tõstekonstruksiooni kõrgusest (DotA, 2013, lk 153). Mida suurem on A-kraana jalgade kaldenurk vertikaalist, seda tähtsamaks osutub nende kindlustamine maapinnale. Vertikaalse A-kraana asetumise korral toimub tõstete läbiviimisel surve otse maapinna poole, mis ei lase jalgadel ära liikuda, kuid mida suuremaks muutub A-kraana kaldenurk, seda tõenäolisemaks muutub jalgade libisemine (Mullen, koolitus 12.04.2025). Et jalgade libisemist ära hoida, peab kraana jalad fikseerima maa külge. Selleks on võimalik kaevata maa sisse tõstevahendi jalgadele vastavad augud. Jalgade aukude sügavused peavad olema omavahel samal kõrgusel, et tõstevahendi stabiilsust tagada (DotA, 2013, lk 153). Kraana jalgade jaoks kaevatud aukude sügavused võivad varieeruda 20 cm (Mullen, 2025) - 60 cm-ni (DotA, 2013, lk 146). Mõnel juhul on kasutatud ka A-kraana jalgade fikseerimist puidu külge näiteks olukordades, kus A-kraana on paigaldatud hoone vahelae peale (Mullen, koolitus 12.04.2025).

3.3.1. A-kraana konstrueerimine

Järgnevas alapeatükis kõrvutan uurimisest saadud teadmisi konstruktsiooni püstitamiseks vajalike tingimustega ning otsin võimalusi tingimustele vastava tõstekonstruksiooni planeerimiseks.

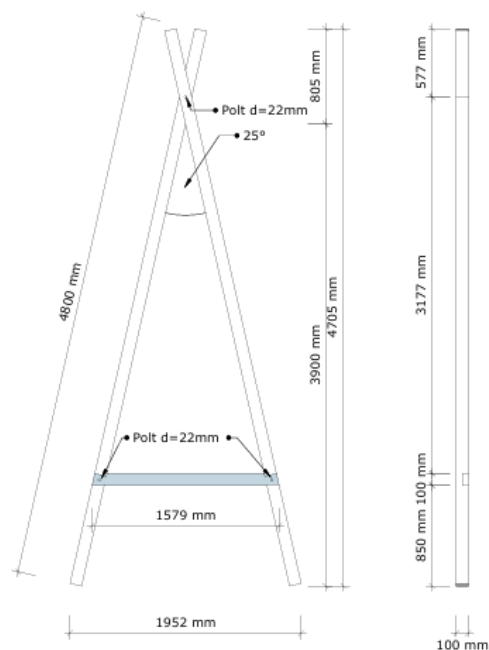
Tingimused tõstekonstruksioonile

- $L/d = 1/60$ või suurem
- Min $d = 7,6$ cm
- Kuusk, oksavaba ja sirge süü
- Jalgade omavaheline nurk mitte suurem kui 45 kraadi
- Peab võimaldama 4,1 meetri kõrguse sektsiooni vinnamist
- Kõige kõrgem tõste 4,5 m
- Soovituslikult inimjõul liigutatav ilma suure pingutuseta

Püstitav konstruktsioon

- Kõrgus 4,5 m
- Laius 3,7 m, sisemine laius 3,38 m
- Pikkus 8 m
- Laetalad $h = 2,9$ m, vahelae postide vahe 2,7 m

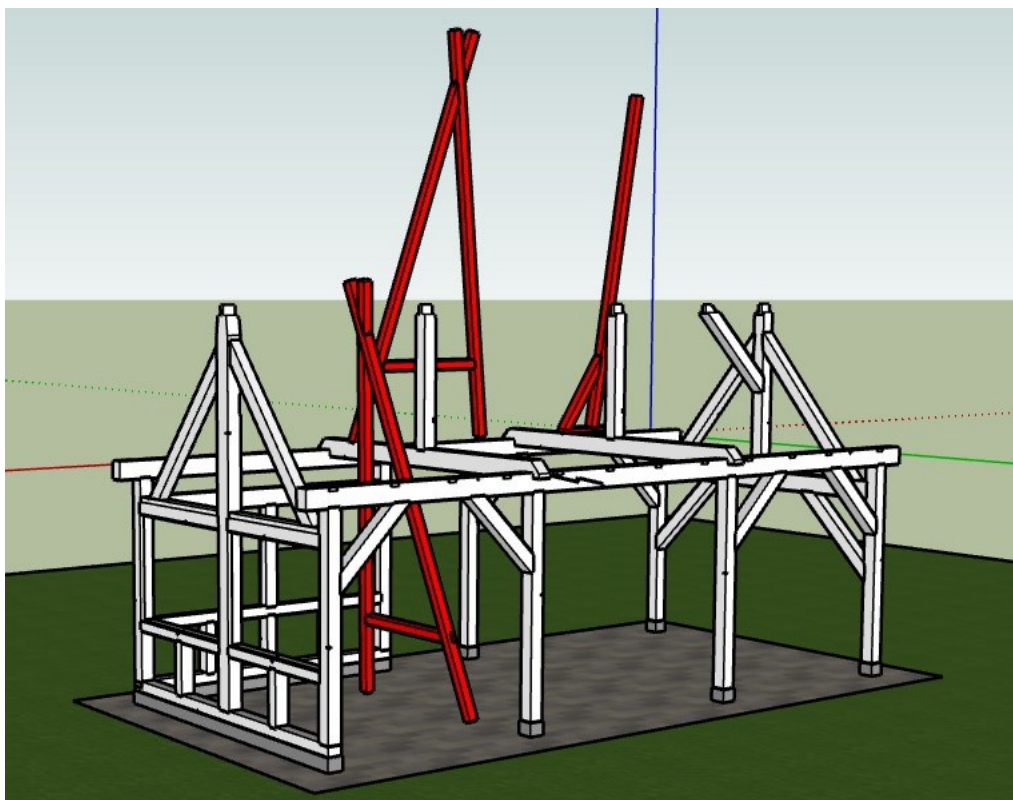
Et konstruktsiooni püstitamist oleks võimalikult mugav läbi viia, on vajalik tõstekonstruktsiooni sobivus kõikide tõstete läbi viimiseks. Mõistlik on tõstekonstruktsioon ehitada sellisena, et selle asukohta oleks võimalikult lihtne ehitusplatsil vahetada. Tõstekonstruktsioon peab mahtuma toimetama hoone teljega risti, et oleks võimalik läbi viia sektsioonide vinnamisi ning siduvate laetalade tõsteid.



Joonis 23. Kasutatav tõstekonstruktsioon (M. Kalm)

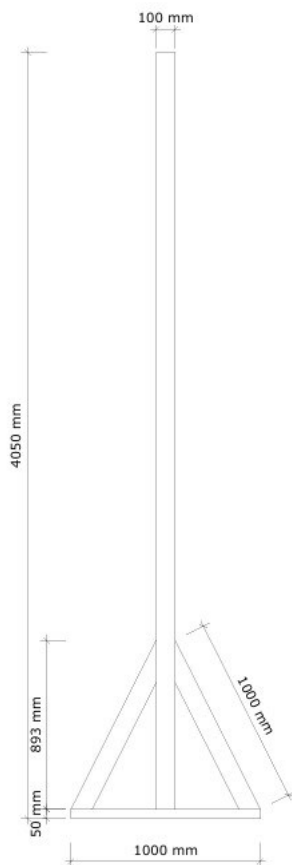
Sektsioonide vinnamisi ning laetalade tõsteid määratud asupaikadesse on võimalik hoone sisemises perimeetris läbi viia juhul, kui jalgade omavaheline kaugus on alla 3,3 meetri. Projekteeritud 1,95 meetri laiused A-kraana jalad annavad võimaluse ehitise sisemises perimeetris veel lihtsamini tõstekonstruktsiooni paigutada (joonis 23). Tõstekonstruktsioon on planeeritud 4,8 meetri pikkusest materjalist, mille minimaalne lubatud läbimõõt on 8 cm arvestades lubatud 1/60 pikkuse-läbimõõdu suhet. Seetõttu on valitud A-kraana ehituseks saadavaloleva 100mm x 100 mm kuuse prussid.

Arvestades keskmist õhukuiva okaspuu puidu tihedust 5 kN/m³, on tõstekonstruktsiooni massiks ligilähedaselt 60 kg. A-kraana liited on ehitatud lihtsasti kokku ja lahti ühendatavatest pool-poollega tappidest, mis on omavahel kinnitatavad poltidega. Tõstekõrgus projekteeritud A-kraanal on selle tööasendis ligilähedaselt 3,9 meetrit (joonis 22), mis võimaldab sektsioonide vinnamist, kuid maapinnale asetatuna ei võimalda harjatala paigaldamist (joonis 24).



Joonis 24. A-kraanad ja montaažimast ehitusplatsil (M. Kalm)

Kuna raskem harjatala on massiga ligilähedaselt 75 kg, on selle paika tõstmine ilma abivahendita raskesti teostatav. Püstitatava konstruktsiooni laetalade peale on võimalik tekitada tasapind, mille peal tõstet läbi viia. Kasutatava A-kraana paigutamine vahelae tasapinnale on võimalik, kuid selle suuruse ning raskuse poolest tülikas. Et lae tasapinnal oleks mugav harjatala paigaldamist läbi viia, kaalutakse vajadusel kasutada lihtsasti valmistatavat montaažimasti (joonis 24-25).



Joonis 25. *Montaažimast (M. Kalm)*

3.4. Tugiliinid ja ankrud

Tõstetööde läbiviimisel on vajalik kindlustada tõstevahendi püsti püsimine kindla asukoha peal. A-kraana asendi kindlustamisel kasutatakse selleks tugiliine ja ankruid. Suurte raskuste tõstmisel on tugiliinid üldjuhul valmistatud terastrossidest (vandid) ning väiksemate raskuste tõstmisel on võimalik kasutada erinevatest materjalidest köisi. Raskuste tõstmise ajal mõjub A-kraana suhtes jõud, mis osalt tekitab survejõu kraana jalgades ning osalt kandub tugiliinide kaudu ankrutesse. Kui tugiliinideks kasutatavad köied on valesti konstrueeritud, on oht köie purunemiseks, samuti võivad tõstmisel puruneda valesti konstrueeritud ankrud ning kraana jalad. Selleks, et kasutatavad tõstemehhanismid peaksid vastu tekkivatele jõududele, käsitlem käesolevas peatükis tugiliinide ning ankrute konstrueerimise põhimõtteid.

Nimetus	Maht (m3)	Rakenduv jõud (kN)	Mass (kg)	Tõstekõrgus (m)
Sektsioon1	0,506	2,53	258	4,1 (kõrgeim)

Kuna on tähtis, et tõmbeliinid ja ankrud peaksid vastu ka kõige raskematele tõstetele, kasutan kõige suuremaid jõu väärtusi, mis tõstete läbiviimisel ette tulevad. Selleks on sektsioon 1 vinnamisel rakenduv jõud suurusjärgus 2,53 kN. Tugiliinide ning ankrute konstrueerimisel toetun Department of the Army (2013) õppematerjalidele.

3.4.1. Tugiliinid

A-kraana vajab toimetamiseks olenevalt raskusest vähemalt kahte tugiliini. Kahe tugiliini kasutamisel soovitab DotA (2013, lk 155) paigaldada ühe tugiliini tõstealast otsesuunas tahapoole ning teise ette. Tõstete läbiviimisel võtab kõige rohkem jõudu vastu tagumine tugiliin. Järgnevalt toon välja Department of the Army (2013, lk 142) valemi tugiliinidele mõjuva tõmbejõu arvutamiseks.

$$T = (W1 + \frac{1}{2} Ws) \times D / Y$$

T - tõmbejõud tugiliinis (N)

W1 - Tõstetava elemendi kaal (N)

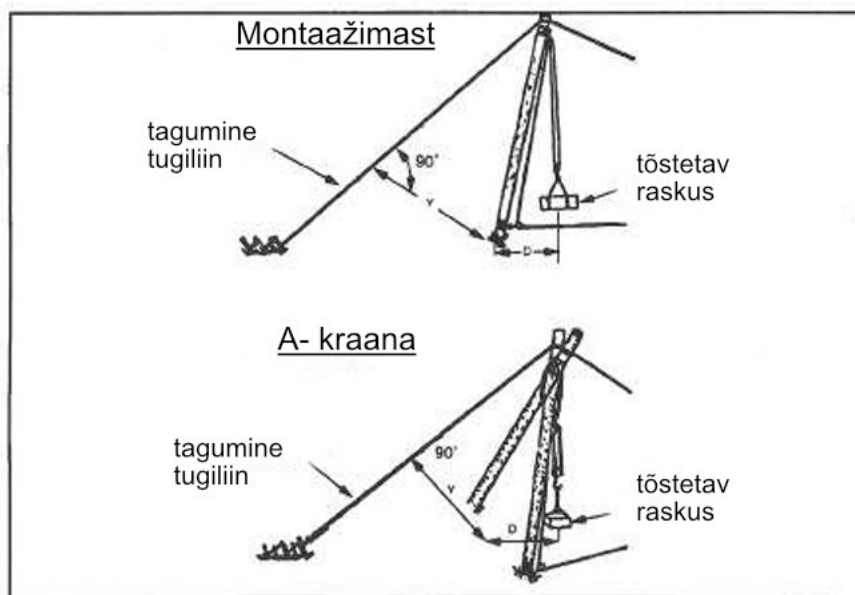
Ws - jalgade kaal (N)

D - Kaugus (M) kraana jalgade vahelt keskpunktist kuni rippuva koorma keskpunktini mööda maapinda (joonis 26).

Y - Ristkaugus (M) Tagumisest tugiliinist kuni kraana jalgade vahelise keskpunktini (joonis 26).

Märkused:

- Soovitav ankurdamise kaugus tõstekonstruksioonist on võrdeline kahekordse tõstekonstruksiooni kõrgusega (DotA, 2013, lk 143).
- A-kraana ja montaažimasti tugiliinide tõmbejõu arvutamise valem on sama, tugiliinide jõu erinevus tuleneb tõstekonstruksiooni jalgade kaalust (DotA, 2013, lk 142).



Joonis 26. Tugiliinide tõmbejõu arvutamiseks vajaminevad näitajad (DotA, 2013, lk 143)

Tugiliinidele mõjuva tõmbejõu leidmiseks tõstetööde läbiviimisel eeltoodud valemi põhjal on leitud vastavad väärtused järgmistel viisidel:

W1 - kõige suurema väärtusega tõstetava elemendi liigutamiseks vajamineva jõu hulk

Ws - tõstekraana maht (m³) korrutatud c24 kuiva okaspuu puidu tihedusega 5 kn/m³ (Rohusaar et al., 2014, lk 184)

D – Väärtus leitakse mudeli vaatluse teel, arvesse on võetud:

-Kraana jaldase sügavus 300 mm maapinnas

Tõstekonstruksiooni tööasend 10 kraadine kaldenurk vertikaali suhtes

Y - väärtus leitakse mudelivaatluse teel, arvesse on võetud:

-Kraana jalgade sügavus 300 mm maapinnas

-Ankurdamise kaugus 8,8 m kraana jalgade vahelt keskpunktist maapinnal

Saadud väärtused on järgmised:

$$W1 = 2,53 \text{ kN} = 2530 \text{ N}$$

$$Ws = 0,56 \text{ kN} = 560 \text{ N}$$

$$D = 720 \text{ mm} = 0,72 \text{ M}$$

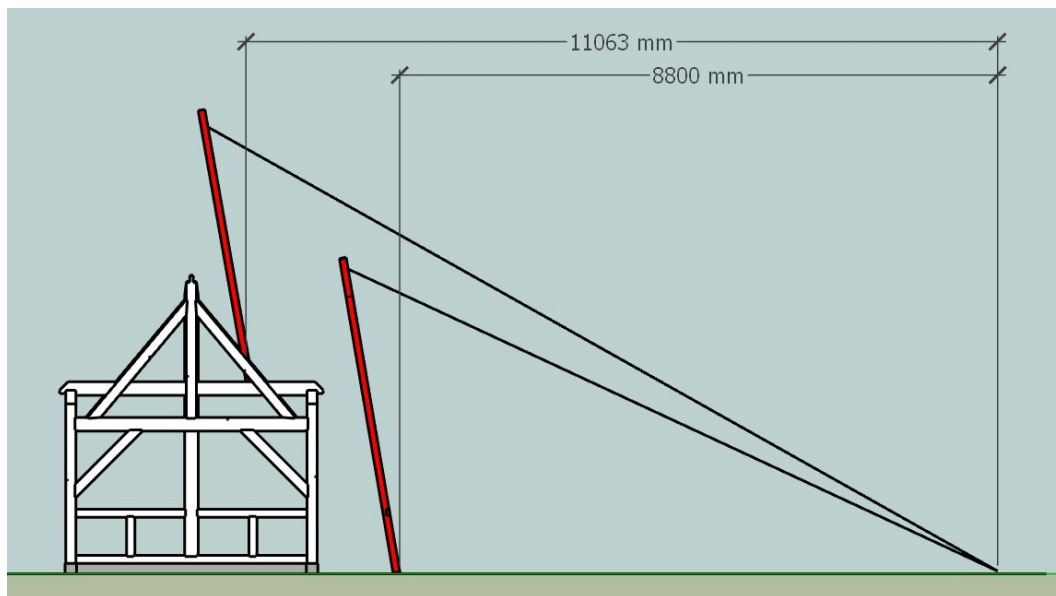
$$Y = 3565 \text{ mm} = 3,57 \text{ M}$$

$$T = (2530 + \frac{1}{2} \times 560) \times 0,72 / 3,57 = 567 \text{ N}$$

Kuna tõstetegevuse kestel võib tekkida tõsteelemendi kõikumist, võib tõmbejõu suurus tugiliinis muutuda. Et vältida tugiliini purunemist sellistes olukordades, peab kõiele mõjuva

tõmbejõu korrutama ülekoormusteguriga 4 (DotA, 2013, lk 143).

$$T(\text{ohutu}) = 567 \times 4 = 2268 \text{ N} = 2270 \text{ N} = 2,27 \text{ kN}$$



Joonis 27. samade ankrute kasutamine erinevate tõstekonstruktsioonide asetuste korral (*M. Kalm*)

Montaažimasti kasutamisel arvestan, et saan kasutada samu ankruid, mida kasutan A-kraana puhul (joonis 27).

$$T = (W_1 + \frac{1}{2} W_s) \times D / Y$$

T = tõmbejõud tugiliinis

$$W_1 \text{ (tõstetav raskus)} = 0,75 \text{ kN} = 750 \text{ N}$$

$$W_s \text{ (montaažimasti kaal N)} = V \times \rho = 0,3 \text{ kN} = 300 \text{ N}$$

$$V \text{ (montaažimasti maht m}^3\text{)} = 0,1 \text{ m} \times 0,1 \text{ m} \times 6 \text{ m} = 0,06 \text{ m}^3$$

$$\rho \text{ (tihedus)} = 5 \text{ kN/m}^3 \text{ (Rohusaar et al., 2014, lk 184)}$$

$$D = 0,7 \text{ m}$$

- Kaugus montaažimasti jala alt kuni koorma alla mööda maapinda
- Väärtus leitakse mudelivaatluse teel
- $Y = 2,93 \text{ m}$
- Ristkaugus tugiliinist montaažimasti Jalani
- Väärtus leitakse mudelivaatluse teel
- $T = (750 + \frac{1}{2} \times 300) \times 0,7 / 2,93 = 215 \text{ N}$
- $T(\text{ohutu}) = 215 \times 4 = 860 \text{ N}$

Ohutuks töötamiseks on tähtis valida tugiliinideks köis, mille purunemiskindlus on 2,27 kN või suurem. Ankruid on mõistlik paigaldada selliselt, et neid oleks võimalik kasutada mitme erineva kraana asetuse korral. Selleks võib markeerida hoone välise kraana asetuse korral ankrute asukohad 8,8 m kaugusele ning kasutada samasid ankruid ka püstitatava konstruktsiooni perimeetri sees asetuva kraana ankurdamiseks.

3.4.2. Ankrud

Ankrud võtavad vastu läbi tugiliinide ning tõsteliini siirduvat tõmbejõudu. Ankrutena on võimalik kasutada keskkonnast tulenevaid soodsaid tingimusi puude ning teiste kindlalt paigal seisvate esemete näol (joonis 28). Kui keskkonnast tulenevad soodsad tingimused puuduvad, on võimalik konstrueerida tingimustele vastavad ankrud.

Võimalusel tasub kasutada naturaalseid ankruid nende hea vastupidavuse ja kiire kohandatavuse poolest. Vältima peab kahjustunud kasvavaid puid ning kändusid. Samuti on võimalik ehitada mugavalt kasutatav ning vastupidav ankur, sidudes kahe kasvava puu vahele horisontaalse palgi või jämedama prussi. Ankru sidumine on ohutum teha alati maapinna lähedale, et ankur oleks paindumisele vastupidavam (DotA, 2013, lk 122).

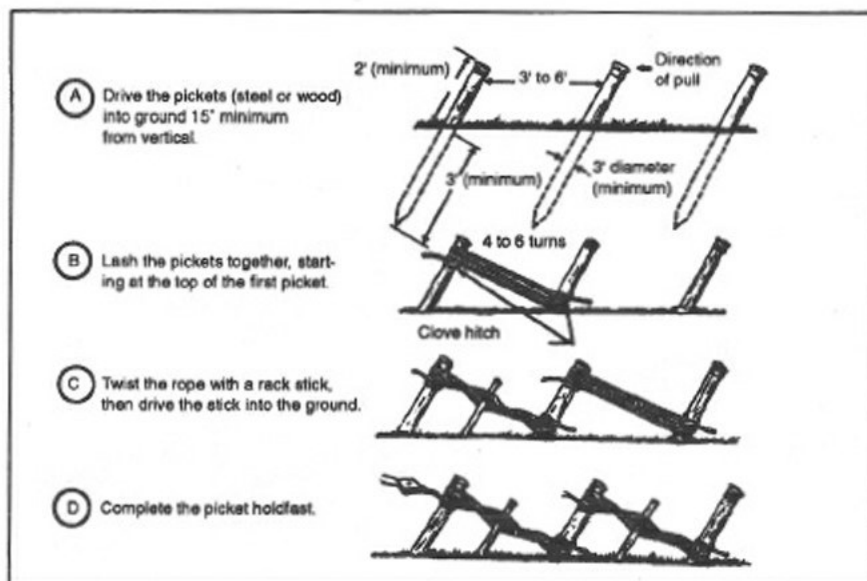


Joonis 28. *Puuankrud (DotA, 2013, lk 123)*

Kui puuduvad võimalused kasutada naturaalseid ankruid, on võimalik ehitada ankrud olenevalt vajadustest. Kõige levinum ankurdamise viis on kaldvaiade kasutamine (joonis 29). Vaiad peavad olema vähemalt 7,5 cm jämedused ning 1,5 meetri pikkused. Kaldvaiad tuleb lüüa maa sisse vähemalt 90 cm sügavusele ning vähemalt 15 kraadise kaldenurga all maapinnast, olles kaldega tõmbesuunast eemale (DotA, 2013, lk 126).

Kaldvaiade vastupidavus koormusele sõltub paljudest teguritest. Määravateks teguriteks on ankrumaterjali jämedus, ankurdamise sügavus ja kaldenurk, samuti tugiliinide ja maa vaheline kaldenurk. Tähtsaks osutuvad ka pinnase omadused (DotA, 2013, lk 124-125). Kaldvaiadest ankrute vastupidavust koormusele saab suurendada, kui lisada ankrusüsteemile

lisanduvaid kaldvaiu ning need omavahel kokku siduda (joonis 29). Näiteks toob A. Veski (1949, lk 254), et 1,2 meetri sügavusel pinnases olev 26 cm diameetriga kaldvai võib vastu võtta kuni 2 tonnise jõu ning samade mõõtudega kahekordne ankur võtab vastu kuni 5 tonni jõudu. Department of the Army (2013, lk 125) õpetab, et kasutades ankruid, mis on 7,5 cm jämedused ning löödud 90 cm sügavusele, võtab ühekordne ankur vastu 3,1 kN jõudu, kahekordne ankur 6,2 kN ja kolmekordne ankur 7,9 kN jõudu, sealjuures märja saviliivast pinnase puhul on vastavad väärtused poole väiksemad.



Joonis 29. Kaldvaiadest ankrud (DotA, 20132, lk 125)

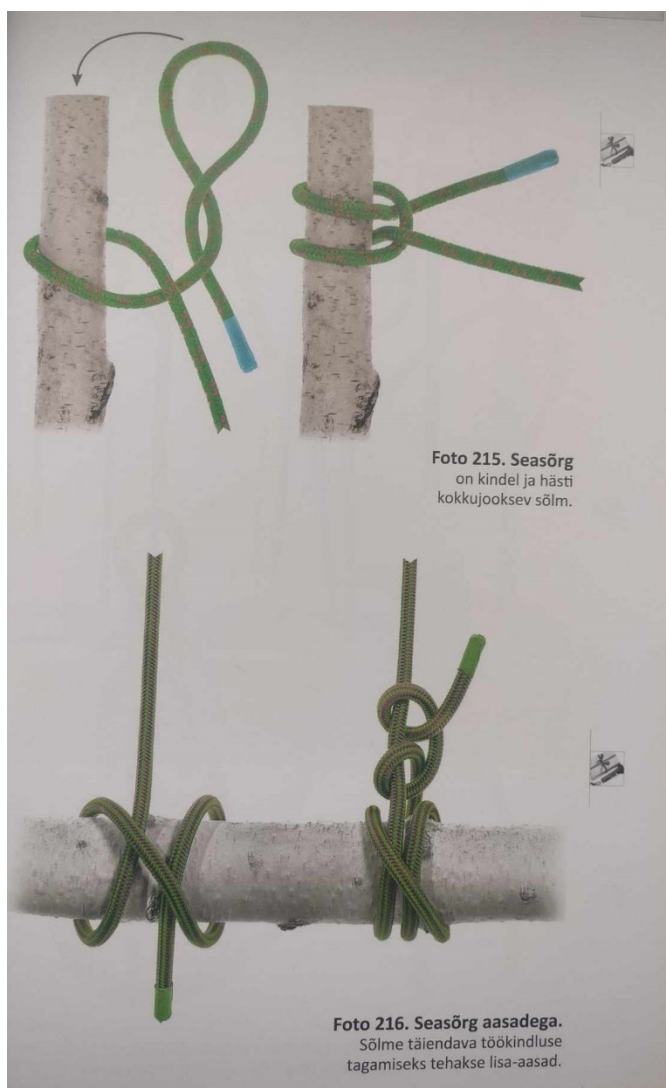
Kasutades mitmekordseid kaldvaiadest ankruid, tuleb kaldvaiad lüüa üksteisest vähemalt 90 cm kaugusele ning siduda need omavahel kokku. Selleks soovitab DotA (2013, lk 126) siduda koormust vastuvõtva vaia ülemise osa külge köis ning teha ümber vastuvõtva vaia ülemise osa ning abivaia alumise osa köiega neli kuni kuus tiiru. Seejärel siduda köis seasõra sõlmega teise vaia alumise osa külge kinni. Et vaiade sidumiseks kasutatud köit pingutada, võib kasutada lisanduvat väiksemas mõõdus vaia, paigaldades selle esimese ja teise vaia vahele, keerates sellele koos läbiva köiega ringi peale ning torgates otsa maa sisse.

Kuna tugiliinidest kanduv tõmbejõud koos ülekoormusteguriga on püstitava konstruktsiooni puhul kuni 2,27 kN, sobib kasutada ühekordseid 7,5 cm jämedaid vaiasid lööduna 90 cm sügavusele. Kuna vintsimiseks kasutatavale tõmbeliinile mõjuv jõud on 0,63 kN, sobib ka tõmbeliini ankurdamiseks samasugune ühekordne kaldvaiast ankur.

3.5. Kasutatavad sidumissõlmed

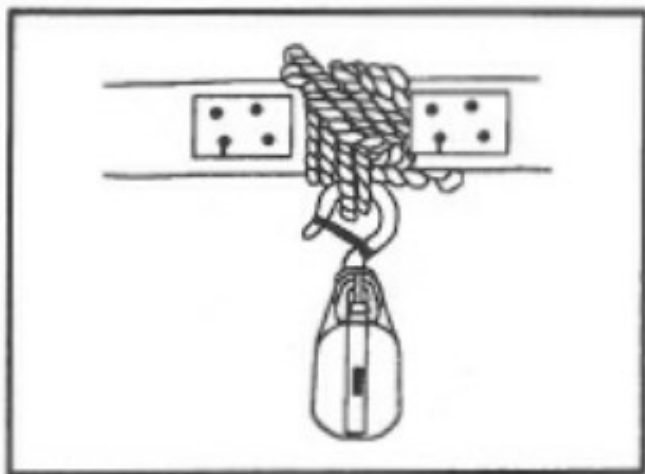
Lihttehnoloogilise tõstemehhanismi toimimine eeldab mitmete erinevate sidumissõlmede kasutamist ning liinide oskuslikku käsitlemist, et oleks võimalik tõstetegevusi ohutult läbi viia. Tõstetöödel kasutatavad sõlmed peavad olema tugevad, kuid lihtsasti seotavad ning lahti arutatavad (Mullen, koolitus 12.04.2025). Kasutades selliseid sõlmi on võimalik läbi viia tõstetegevusi ohutult, samas kulutamata liiga palju tööaega sidumissõlmede käsitlemisele. Järgnevalt selgitan välja tõstetöödel kasulikuks osutuvad sidumissõlmed ning liinide käsitlemiseks vajalikud pleissid ja margid.

Tugiliinide kinnitamisel tõstekonstruksiooni külge soovitab DotA (2013, lk 61) kasutada seasõra sõlme (joonis 30). Seasõrg on hea sõlm kõie sidumiseks puude, postide ning torude ümber. Seda on lihtne siduda ja lahti võtta ning seda sõlme on võimalik teha kõie igas osas. Kui sõlm ei ole pideva pinge all, aitab selle kindlustamine lisa aasadega. (Künnap, 2016, lk 175)

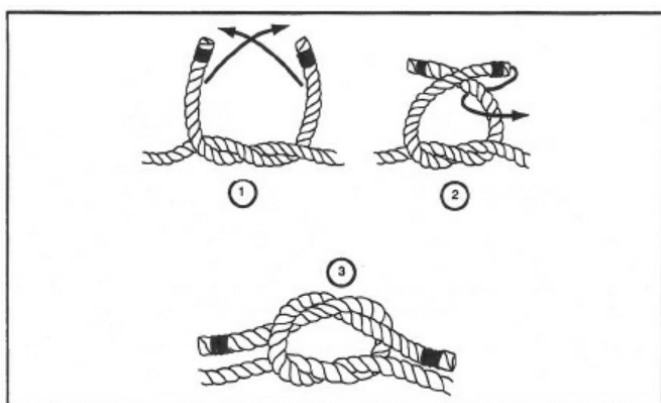


Joonis 30. Seasõrg ja seasõrg aasadega (Künnap, 2016, lk 175)

Plokiratta sidumiseks kraana külge (joonis 31) soovitab DotA (2013, lk 68) teha köiega kolm ringi ümber posti selle asukoha, kuhu plokk kinnitatakse. Seejärel teha kaks ringi ümber posti koos ploki konksu/karabiini ning pingutada. Järgmiseks teha veel kolm ringi ümber posti ja siduda kaks köie otsa kokku, kasutades meremehesõlme. Meremehe sõlmele on võimalik lisada kontrollsõlme, tehes mõlema lahtise otsaga lisa silmuse ümber pingestatud köie osade (Künnap, 2016, lk 128). Kasutades ploki kinnitamiseks konksu ilma fikseeriva kinnitita, on vajalik konksu sidumine kahelt küljelt peenikese traadi või tugevama peenikese nõoriga. Selleks teha sidumismateterjaliga ümber konksu kahe külje 10 ringi ning seejärel fikseerida see paari ringiga risti sidumisega (DotA, 2013, lk 94). Selline lahendus on kujutatud joonisel nr 31 ümber tõsteploki konksu.

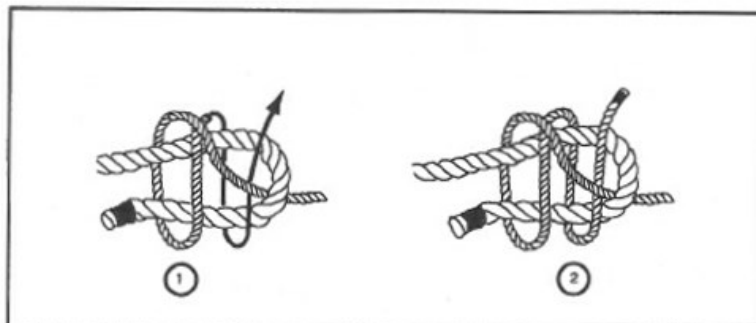


Joonis 31. Plokiratta sidumine tõstekonstruktsiooni külge (DotA, 2013, lk 69)



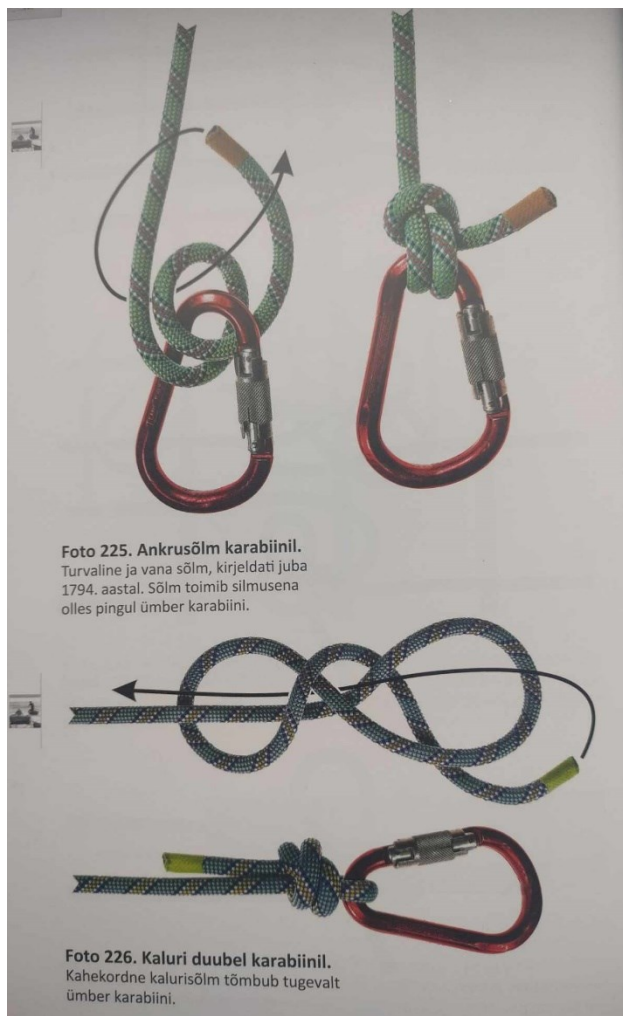
Joonis 32. Meremehesõlm (DotA, 2013, lk 8)

Köie otsa sidumist teise köiega on võimalik teha joonis 32 näidatud meremehesõlmega. Heaks sõlmeks köie jätkamiseks teise köiega on joonis 33-l kujutatud mitmekordne soodisõlm (Künnap, 2016, lk 57). Kirjeldatav sõlm on kindel viis ühendamiseks samasuurusi ning ka erinevate suurustega köisi (DotA, 2013, lk 47).



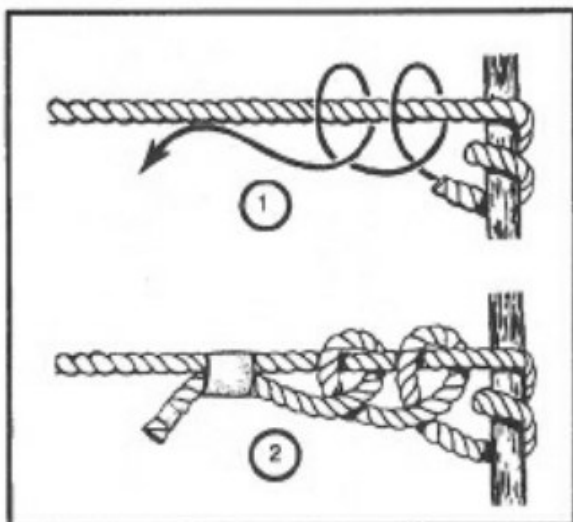
Joonis 33. *Mitmekordne soodisõlm (DotA, 2013, lk 48)*

Köie sidumiseks konksu, karabiini või ankru külge, on üheks võimaluseks kalurisõlm (joonis 34). DotA (2013, lk 66) soovib kasutada kalaurisõlme kohtades, kus köie pingutamine on vahelduva iseloomuga.



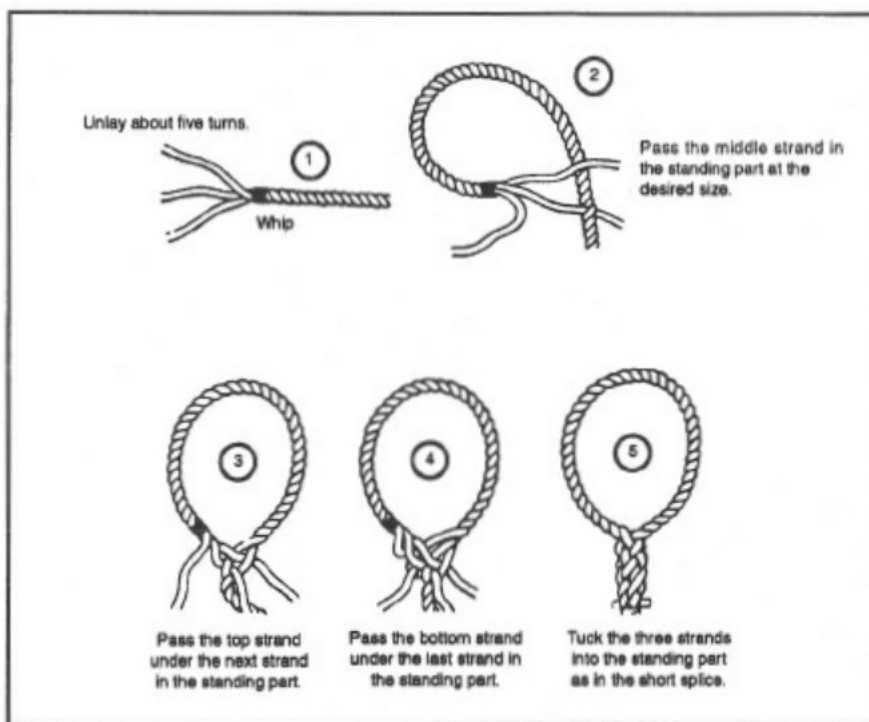
Joonis 34. Kalurisõlm. (Künnap, 2016, lk 180)

Tugiliini kinnitamiseks ankrute külge soovitab DotA (2013, lk 147) kasutada sõlme round turn and two half hitches, mille eestikeelseks vasteks pakub Künnap (lk 48) „Lihtaas lengiga” (joonis 35). Sõlme sidumiseks tuleb keerata täispöörde ümber ankru ning teha vähemalt kaks lihtaasa kõie jooksole.



Joonis 35. Lihtaas lengiga (DotA, 2013, lk 60)

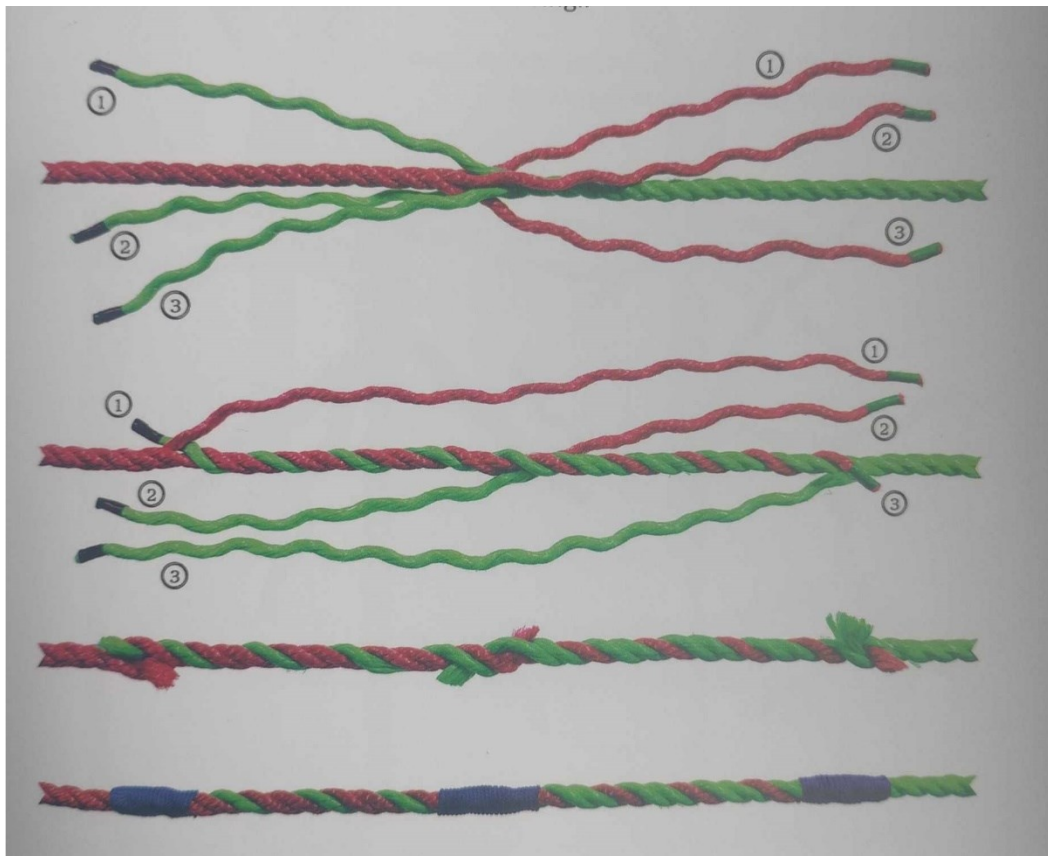
Kõige puhtamaks meetodiks ühendamiseks konksu või karabiini kõiega, on valmistada kõiele püsiv silmus konksu kinnitamiseks. Selleks kasutatakse joonis 36 peal kujutatud pleissi punutud trossil (Künnap 2016, lk 95). Sellise pleissi punutud osa pikkus peab vastama vähemalt 20 kordsele kõie läbimõõdule (Künnap, 3026, lk 95).



Joonis 36. Pleiss punutud trossil (DotA, 2013, lk 71)

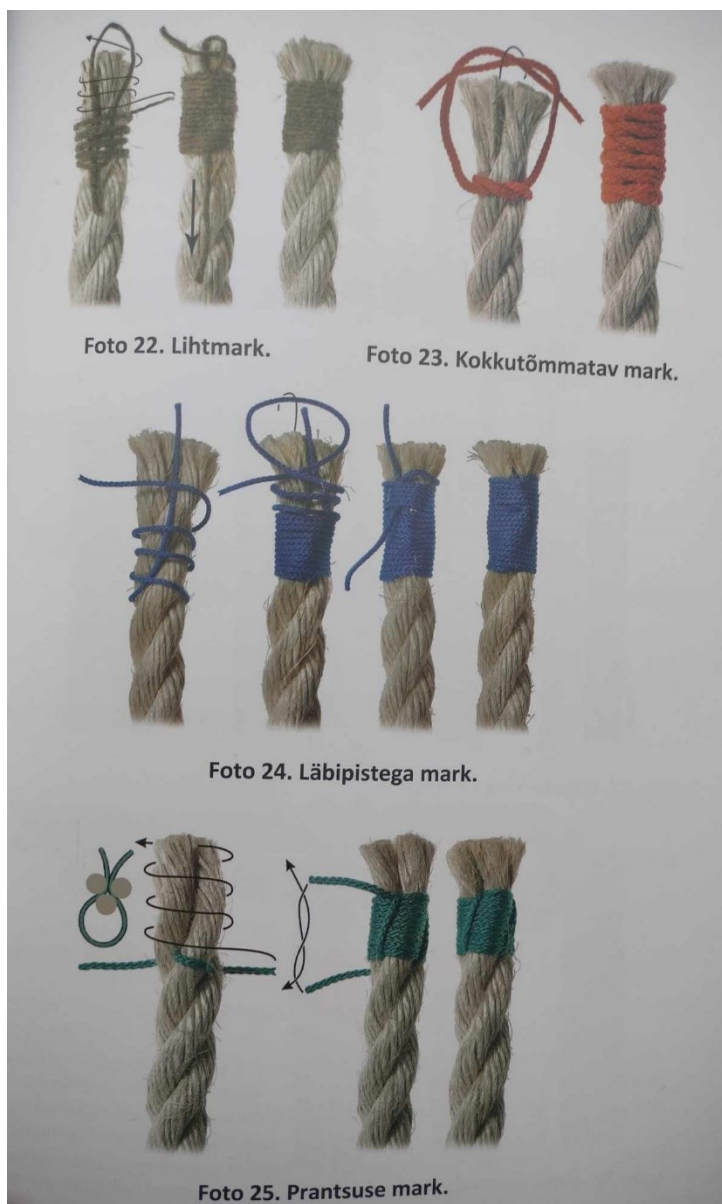
Soovides kõie jätkamisel saavutada head tulemust, kus ei teki takistavat sõlme kõie pinnale, on võimalik kasutada lühikest ja pikka pleissi. Et kõiel oleks võimalik läbida

plokirattaid, on parem võimalik lahendus pikk pleiss (joonis 37). Pika pleissi pikkus peab vastama vähemalt neljakümnele köie läbimõodule (Künnap, 2016, lk 93). Pikk pleiss on oma tugevuselt sama usaldusväärne ning osaval sidumisel sama läbimõõduga kui terve köis (DotA, 2013, lk 72-73).



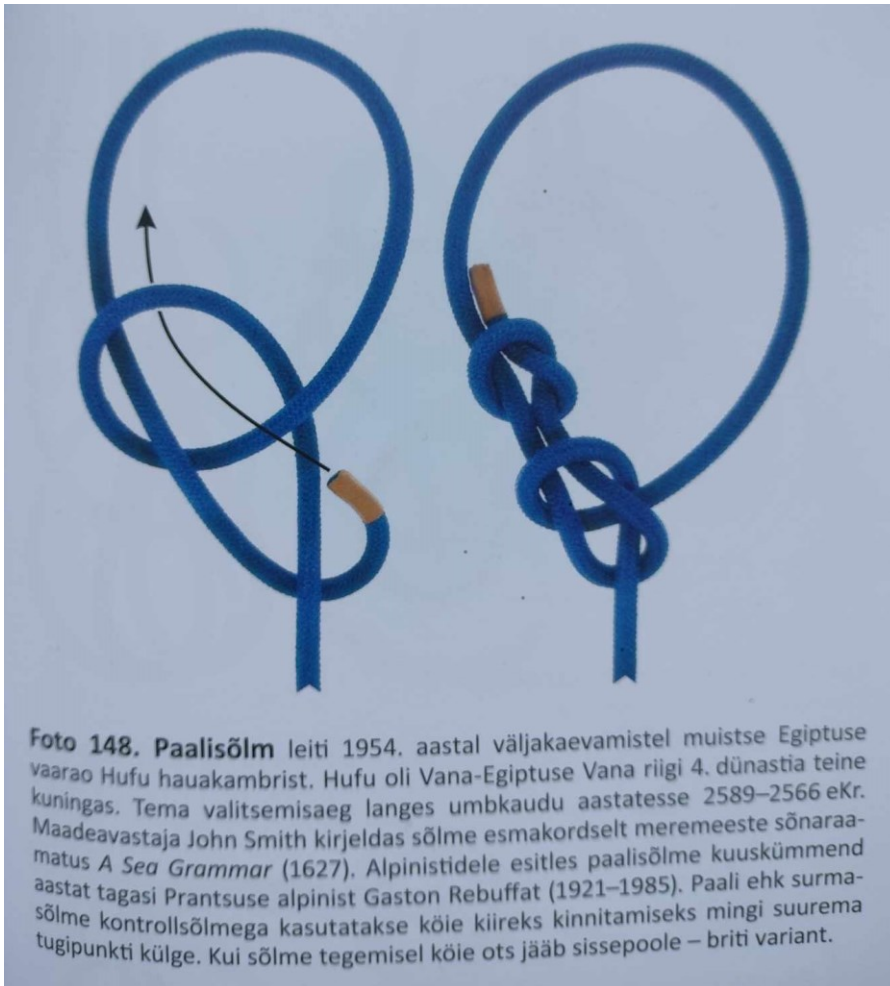
Joonis 37. Pikk pleiss (Künnap, 2016, lk 93)

Et vältida järgatud köie otsa kiudude lahtihargnemist, kasutatakse marke. Markide tegemiseks kasutatakse vastupidavat niiti või pehmet, peenikest traati (Künnap, 2016, lk 55). Markide valmistamiseks on illustreeritud joonis 38-l mitu erinevat moodust.



Joonis 38. *Margid (Künnap, 2016, lk 55)*

Paalisõlm (joonis 39) on hea ning kiire mittetihenev sõlm moodustamiseks aasa kinnitatava eseme külge. Paalisõlme on sobiv kasutada tõstetöödel tugiliinide ja plokirataste kinnitamiseks tõstekonstruktsiooni ning ankrute külge (Mullen, koolitus 12.04.2025).



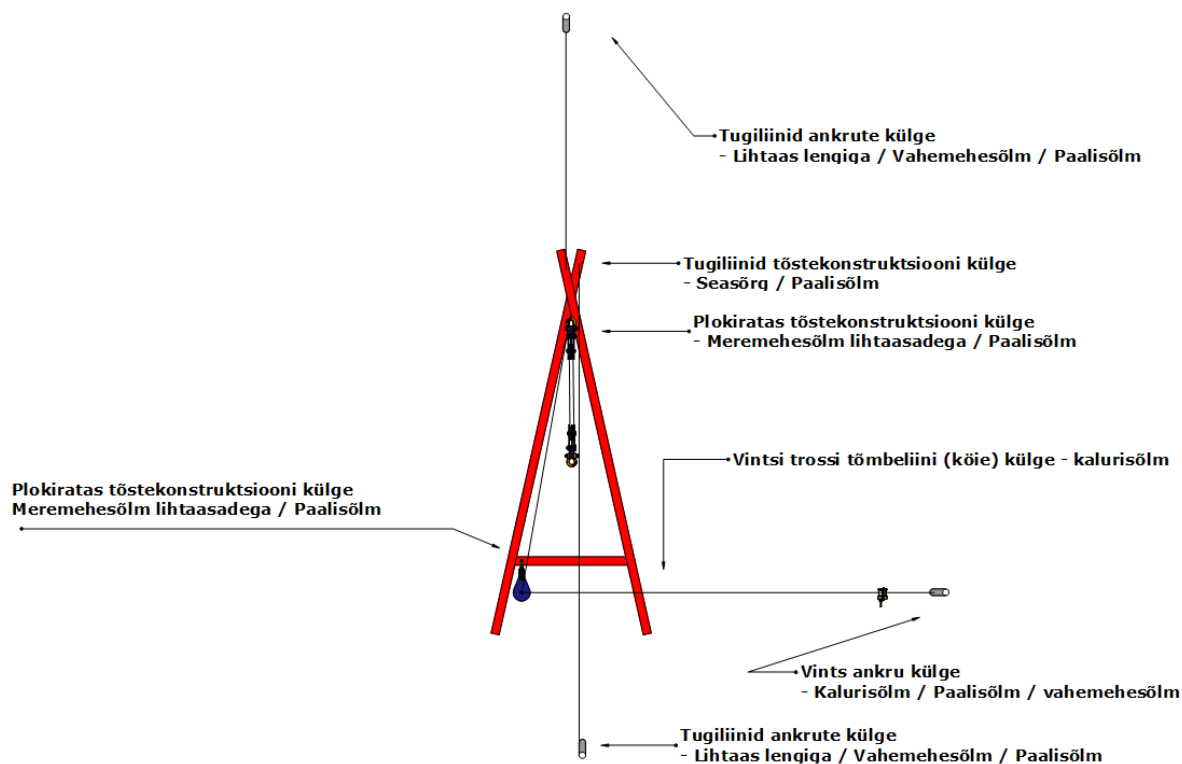
Joonis 39. *Paalisõlm kontrollsõlmega. (Künnap, lk 133)*

Vahemehesõlm (joonis 40) on kiiresti moodustatav ja lihtsasti lahti arutatav sõlm, mida kasutatakse köie jooksu keskel mittelibiseva aasa valmistamiseks. Tõstetöödel võib vahemehesõlm osutada kasulikuks tugiliinide kinnitamisel ankrute külge, kui köis on pikem tugiliinide vahemaast (Mullen, koolitus 12.04.2025).



Joonis 40. Vahemehesõlm (Künnap, lk 83)

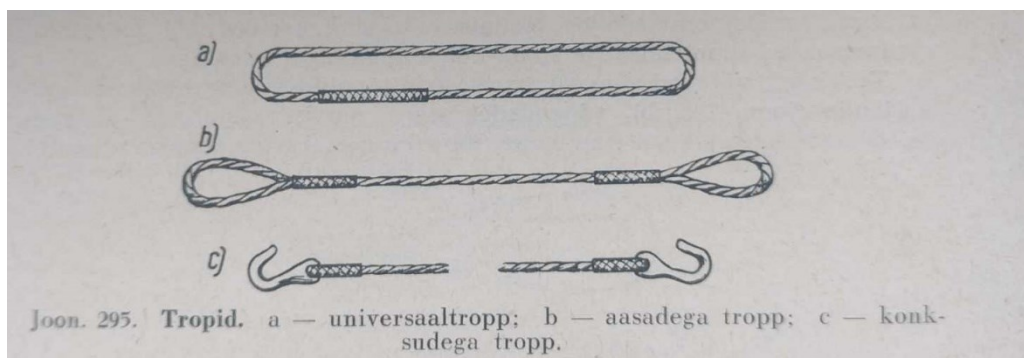
Et tõstevahendi sisseseadmine oleks enne tõstetegevuste alustamist võimalikult lihtne ja kiiresti teostatav, olen koostanud skemaatilise kava (joonis 41). Koostatud kava koondab soovituslikud sidumissõlmed ja paigutab need tõstesüsteemi.



Joonis 41. Tõstesüsteemi skemaatiline kava soovituslike sidumissõlmedega (M. Kalm)

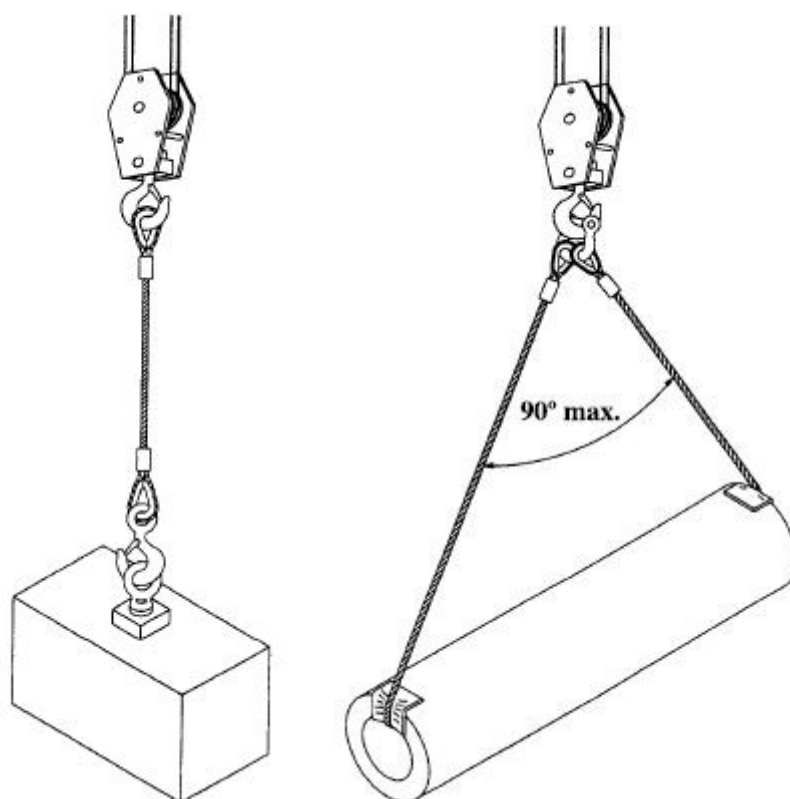
3.6. Troppimine

A.Veski (1949, lk 247) nimetab troppideks lühikesi aasade ja konksudega varustatud kõisi, mille abil tõstetav element kinnitatakse tõstevahendi külge (joonis 42). DotA (2013, lk 94-95) õpetusel on troppimist võimalik teostada kasutades trossi, ketti, köit ning spetsiaalselt troppimiseks toodetavaid rihmasid. Köie kasutamist troppimisel soovitatakse vältida suurte koormate tõstmisel, sest koorma teravad servad võivad köie kiudu läbi lõigata. Kõige vastupidavam troppimaterjal on terastross selle hea kulumiskindluse poolest (DotA, 2013, lk 94-95).



Joonis 42. Troppide liigid kuju järgi (Veski, 1949, lk 247)

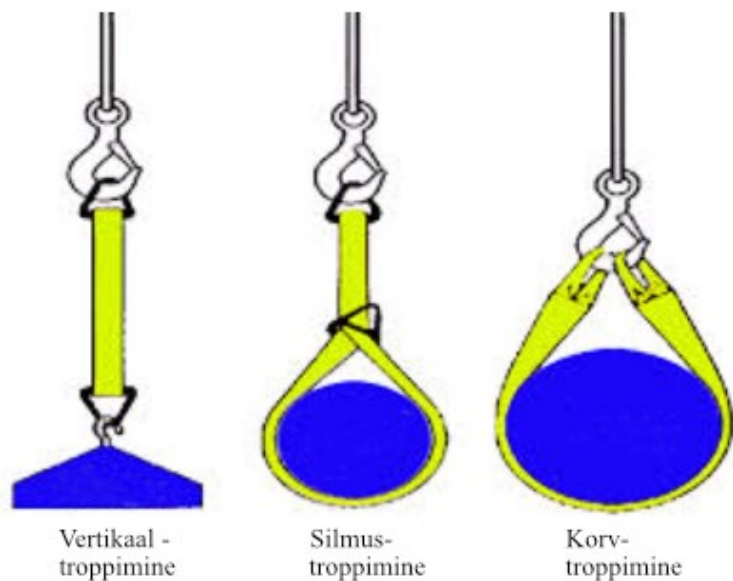
EHSDB (s.a.) õpetuse põhjal saab troppimist tõstmistööl jaotada ühe- ning mitmejalgseteks. See tähendab, et elemendi tõstmiseks kasutatakse ühte või rohkem tõstmistroppe. Mitme jalaga troppimine võib tavaliselt sisaldada kahte kuni nelja jalga ning see kindlustab stabiilsema elementide tõstmise, kuna sellise tõstmise stabiilsus sõltub vähem tõstetava elemendi raskuskeskme asukohast (joonis 43).



Joonis 43. Ühe ning mitmejalgne troppimine (EHSDB, s.a.)

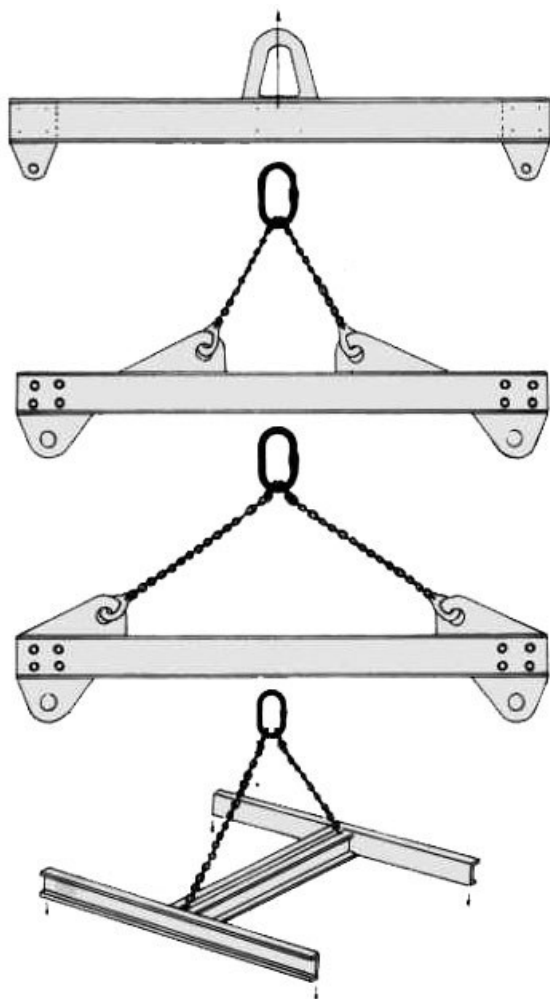
Samuti jaotub troppimine EHSDB (s.a.) õpetuse kasutusviisi järgi korvtroppimiseks, silmustroppimiseks ning vertikaaltroppimiseks (joonis 44). Kui silmustroppimisel tiheneb tõste läbiviimisel tropp tõstetava elemendi vastu tihedaks, siis korvtroppimisel puudub

pinguldav funktsioon. vertikaalne troppimine tähendab seda, et tropid ei ole ümber tõstetava elemendi, vaid on kinnitatav tõstetava elemendi pealt, näiteks konksu abil.



Joonis 44. Troppimise liigid kasutusviisi järgi (EHSDB, s.a.)

Raskete, pikkade ja haprate esemete tõstmisel on üheks võimalikuks lahenduseks õlpmete kasutamine (joonis 45). Õlpmed koosnevad tavaliselt ühest või mitmest pikemast talast ning mitmest tropist (A. Veski, 1949, lk 248). Õlpmete kasutamise tulemusel jaotuvad tõstmisel tekkivad jõud ühtlaselt tõstepunktide vahel ja see võimaldab kontrollitumat, stabiilsemat ning ohutumast tõstetegevust (UESUAE, 2024).



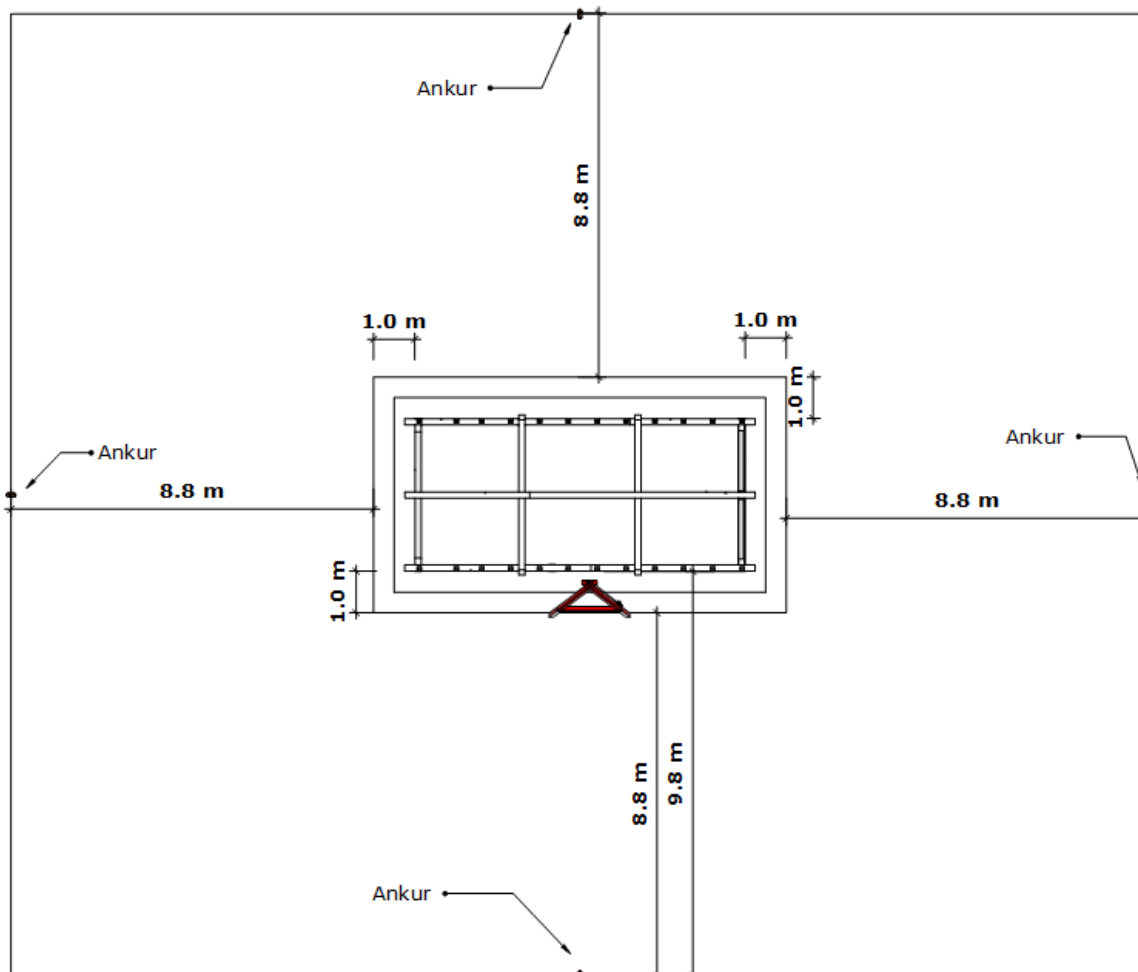
Joonis 45. *Õlpmehd. (Anglia Handling, s.a.)*

4. Tõstekava ja praktiline teostus

Kogutud informatsiooni praktikas läbi viimiseks on tähtis tegevused detailideni läbi planeerida, et praktiline tegevus ei takerduks läbi mõtlemata väljakutsete ees. Tõstekava koostamisel planeerin läbi tööde järjekorra, tõstevahendi püstitamise-langetamise meetodid ning ruumikasutuse ehitusplatsil. Tulemuseks on läbimõeldud tegevuskava, mille alusel on võimalik püstitustegevuste kiire ning ohutu läbiviimine.

4.1. Ruumikasutus

Konstruksiooni püstitamise kestel on kasulik paigutada püstitatava konstruktsiooni osad ehitusplatsi lähedusse, et neid väikese vaevaga valmis seada tõstmiseks ning konstruktsiooniga liitmiseks. Samuti on oluline, et konstruktsioonidetailide paigutus ei takistaks tõstevahendi kasutamist. Aja ning materjali kokkuhoidu silmas pidades on mõistlik kasutada võimalikult palju samasid ankruid erinevate tõstekonstruktsiooni paigutuste korral.

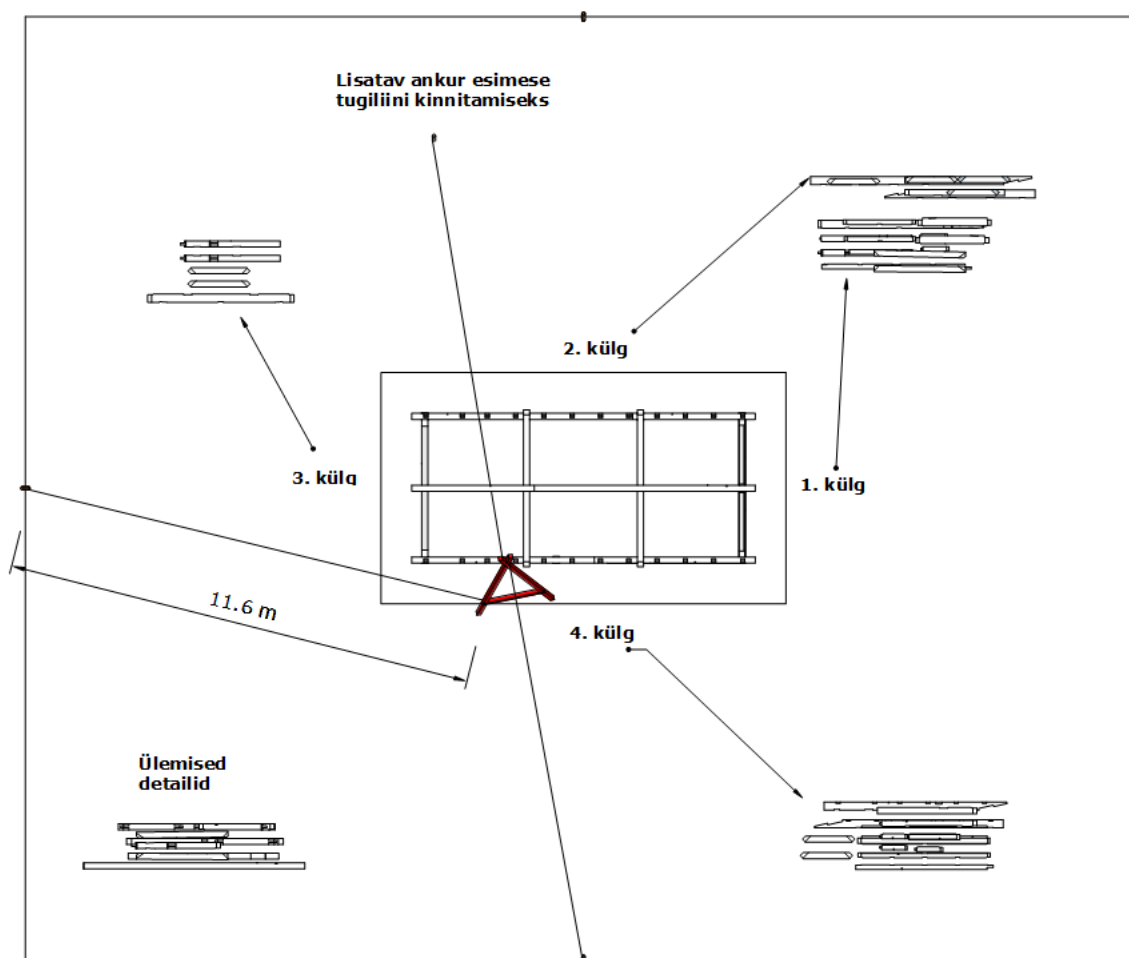


Joonis 46. Kraana ankrute paigutus ehitusplatsil (M. Kalm)

Tõstekonstruktsiooni jalad on vundamendist väliste piirete paigaldamisel ligilähedaselt 1 meetri kaugusel. Arvestades soovituslikku ankrudamise kaugust, mis võrdub kahekordse tõstekonstruktsiooni kõrgusega, on tõstekonstruktsioon ankrutest 8,8 meetri kaugusel ning vundamendi perimeetrist 9,8 meetri kaugusel. Tõstevahendi toimimiseks kasutatakse nelja ankrut, paigutatuna vundamendi perimeetrist seina keskele, teljega risti suunas 9,8 meetri kaugusele (joonis 46). Samu ankruid kasutatakse ka ehitise sisemises perimeetris ning vahelae peal tehtavate tõstete läbi viimiseks. Paigutades tõstekonstruktsiooni hoone pikiteljel

keskosast eemale, lisatakse ankruid ettepoole suunatud tugiliinide kinnitamiseks, et tugiliinide suund oleks otse suunas tõstekonstruktsioonist eemale. Kuna ehitusplatsil sobivates kaugustes ei ole teisi ankrutena kasutatavaid puid ega kindlaid esemeid, kasutatakse ankrutena kaldvaiasid.

Vintsi on võimalik kasutada tõstekonstruktsiooni külge kinnitatuna, kui kasutatakse tõmbetrossil asetsevat plokiratast kraana tipus rippuva tõsteplokina. Sellisel viisil vintsi kasutades on võimalik saavutada 15 kordne jõueelis, mis püstitatava konstruktsiooni raskemaid tõsteid arvestades on piisav. Soovides paigutada ennast ohutuse eesmärgil tõstealast eemale või saavutada suuremat jõueelist, on võimalik kinnitada vint külgsuunale jääva ankru külge ja kasutada lisanduvaid plokisüsteeme raskuste tõstmisel.



Joonis 47. Tööala planeerimine (M. Kalm)

Püstitustöid ette valmistades ladustatakse konstruktsiooni detailid selliselt, et need ei jää ette tõstemehhanismi osadele ja kaasnevatele tegevustele. Detailid paigutatakse konstruktsiooniosade kaupa eraldi virnadesse ning nende paigaldatavatele asukohtadele

võimalikult lähedale, et need kerge vaevaga konstruktsiooniga liita ja tõstetegevusteks valmis seada (joonis 47).

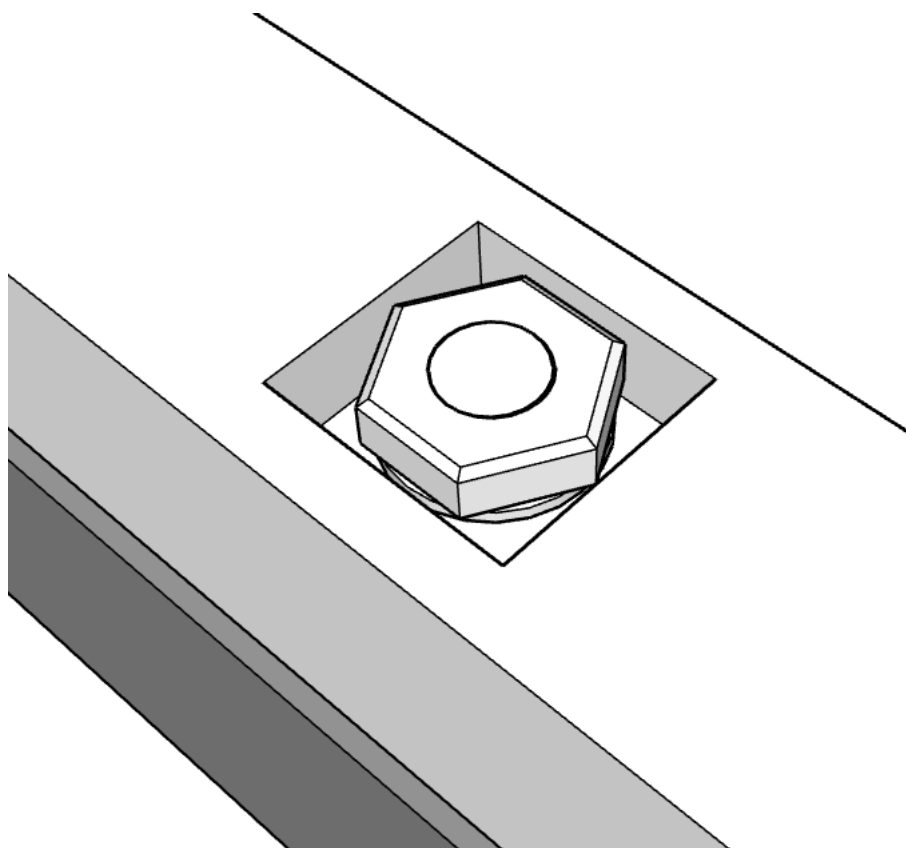
4.2. Tõstekonstruktsiooni püstitamise ja langetamise püstitustöödel

Kuna kasutatav tõstekonstruktsioon on inimjõul liigutatav ja püstitustegevust teostatakse mitmekesi, püstitatakse tõstekonstruktsioon tööasendisse käsitsi. Selleks paigaldatakse esmalt tõstekonstruktsioon horisontaalasendisse selle koha peale, kus hakatakse tõstet läbi viima. Järgmiseks kinnitatakse tõstekonstruktsiooni külge tugiliinid ja tõmbeliin koos tõsteplokiga, vajadusel alumise osa külge alumine plokk või käsivints. Tõstekonstruktsioon tõstetakse tööasendisse ja hoitakse seda tööasendis kahe töötaja osalusel, kuni kolmas töötaja kinnitab tagumise ja esimese tugiliini sõlmede abil ankrute külge.

Tõstekonstruktsiooni langetamiseks eemaldatakse eesmine tugiliin ning langetatakse A-kraana tagumise tugiliini suunas kahe töötaja osalusel käsitsi, seejärel eemaldatakse tagumise tugiliini kinnitus ankrude küljest. Tugiliinide köis keritakse kokku ning paigaldatakse tõstekonstruktsiooni tipu külge.

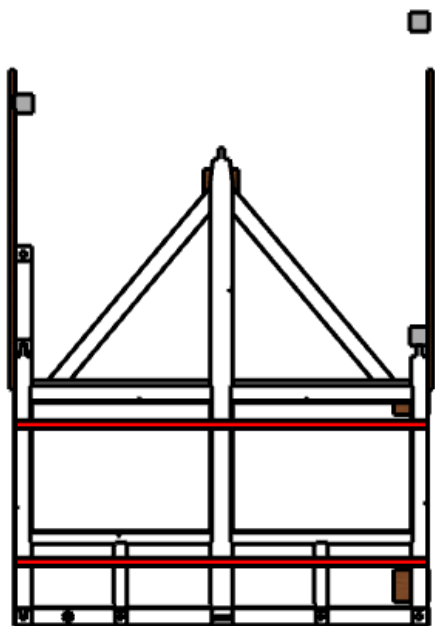
4.3. Tööde järjekord

Kui püstitustöödeks on ettevalmistused tehtud, alustatakse konstruktsiooniosade kokku liitmisega. Esmalt kinnitatakse kinniste seinaosade alumised vööprussid vundamendi külge. Selleks on puuritud vööprussidesse kinniste seinuosadega piirnevate postide välimistest servadest 475 mm ning vööprussiga ristisuunas 75 mm kaugusele ankurvaiadele vastavad augud. Ankurvaiad on kinnitatud vundamendi sisse, läbivad alumisi vööprusse ning on seibi ja mutri abil pinguldatavad. Kinnitus tehakse vööprussi pealmisest tasapinnast madalamale, selleks peiteldatakse vööprussi pealmisse tasapinda mutrile ja seibile vastava kõrguse ja laiusega süvend (joonis 48).



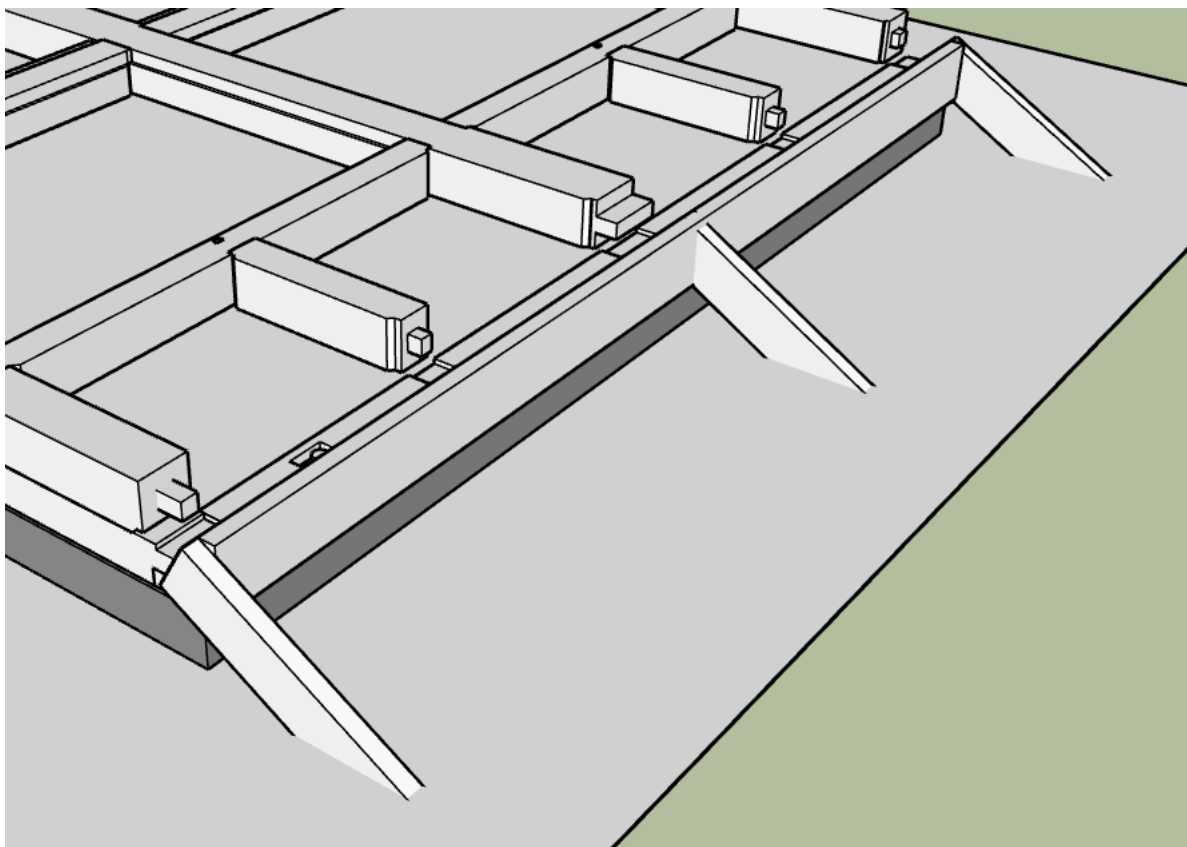
Joonis 48. Alumiste vööprusside kinnitus vundamendiga (*M. Kalm*)

Järgmisena paigaldatakse kinnine otsasein tervikseksioonina. Selleks liidetakse seinosa detailid horisontaalasendis kokku ning pingutatakse koormarihmadega tihedaks. Koormarihmad jäävad sektsiooni külge ka selle paika vinnamise ajaks, et kindlustada sein koos püsivuse tõste läbiviimise ajal. Külgmiste postide külge ülemisse ossa naelutatakse 2,5 meetri pikkused tugiprussid, mis jäävad sektsiooni vinnamist tagumisest suunast toetama (joonis 49).



Joonis 49. *Sektsioon 1 enne vinnamist (M. Kalm)*

Vinnatava sektsiooni postide keeled peavad sobituma alumise vöö sees olevatesse tapipesadesse. Et see saaks juhtuda, peab sektsiooni asetama enne vinnamist alumise vöö pealmisele tasapinnale. Seetõttu liidetakse sektsioon 1 horisontaalasendis kokku hoone perimeetri sees, kuna olemasolev vundament ning külgeina alusvöö lihtsustavad püstituseks vajaliku tasapinna loomist (joonis 49).



Joonis 50. Kindlustav tugi postide suunamiseks (M. Kalm)

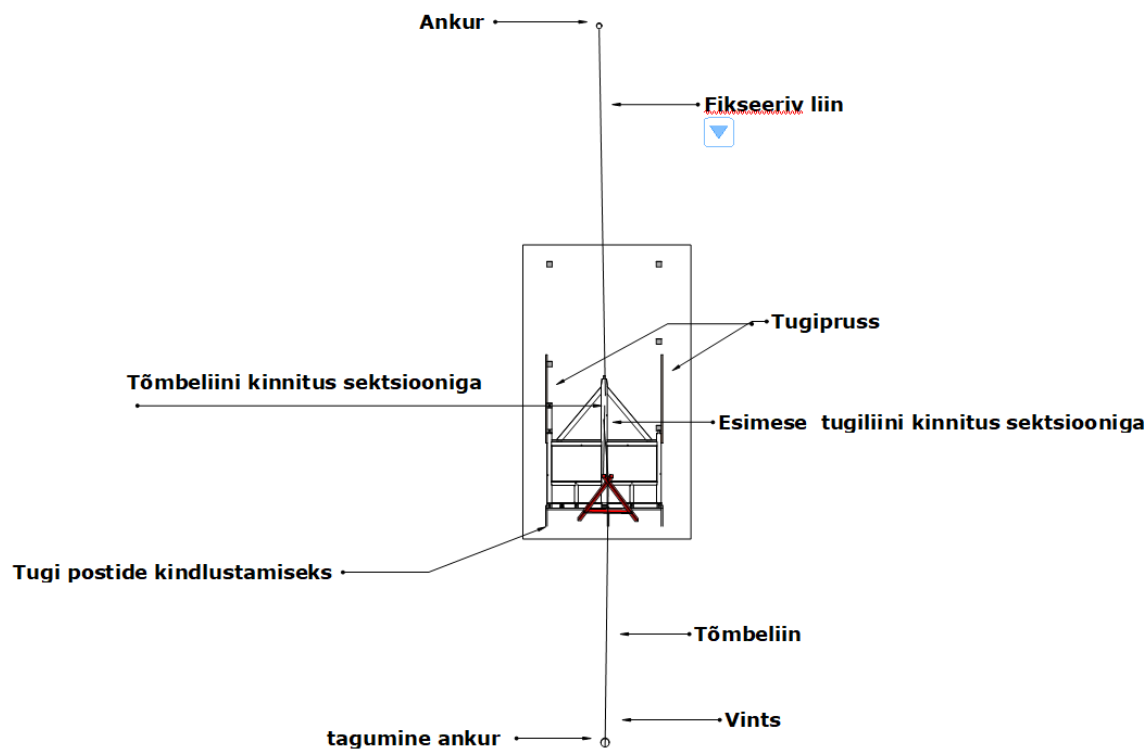
Et kindlustada sektsiooni vinnamise kestel sektsiooni postide püsimise vööprusside kohal, kinnitatakse kruvide abil vööprussi esiküljele piire ning kindlustatakse need diagonaaltugedega (joonis 50). Vajadusel suunatakse tapikeeled sõrgkangi abil kohakuti tapipesadega.

Kuna sektsioon 1 on A-kraanast kõrgem, kasutatakse sektsiooni püstitamiseks langeva noole tehnoloogiat (vt. lk 29). Käsivints kinnitatakse tagumise ankru külge, vabastatakse tõmbetross umbes 8 meetri ulatuses ning ühendatakse trossi vaba ots köiega. Köis viiakse üle pikali asetuva A-kraana postide ristumiskoha. Tõmbeköie ning kraana tipu vahele paigaldatakse puidust klots, millele on köiele vastava suurusega soon sisse uuristatud. Klotsi peale on kinnitatud pikisuunas pooleks lõigatud plastiktoru, et soodustada köie libisemist soones ja vältida köie kuumenemist libisemisel (joonis 51). Kindlustamiseks sektsiooni peale tõstetegevust ette suunas kukkumise eest, kinnitatakse laua otsa köis ning paigaldatakse see ajutiselt sektsiooni lõppasukohas õigele kõrgusele ning seotakse teine köie ots ankru külge. Seejärel langetatakse laud ning seotakse laua küljes olnud köie ots sektsiooni ülemise osa külge.



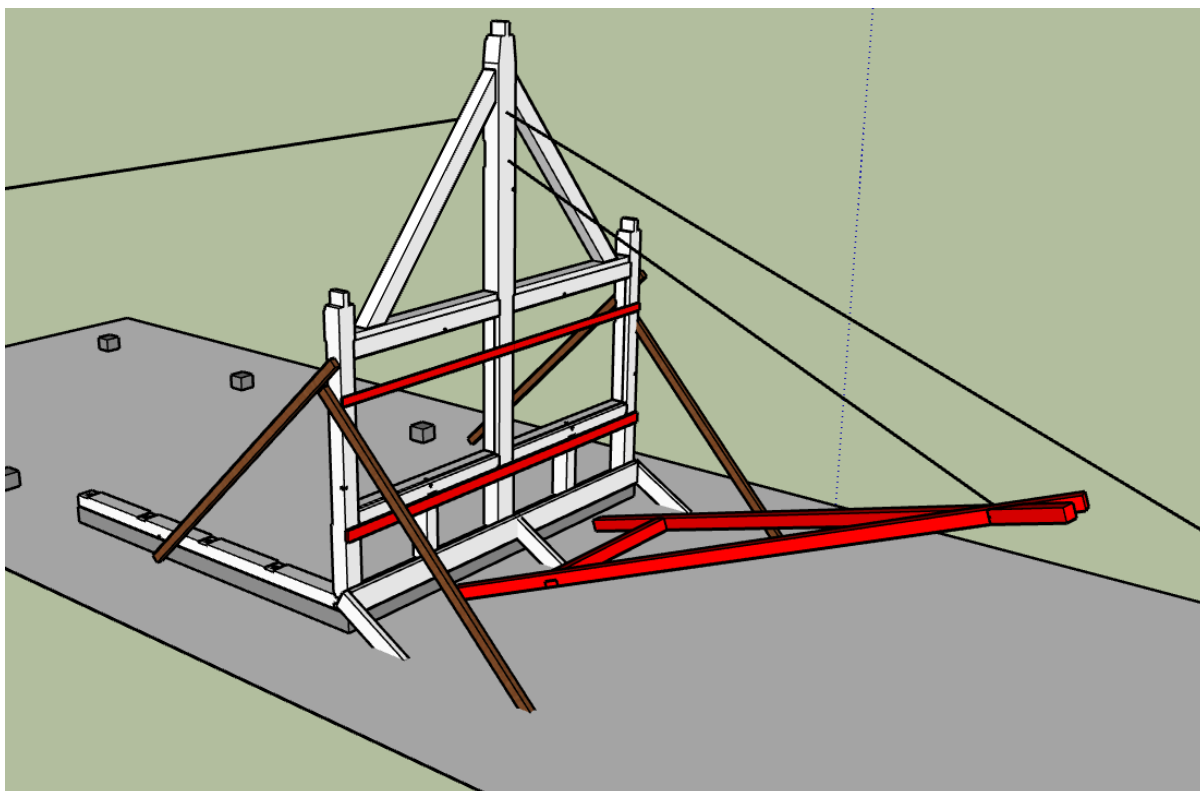
Joonis 51. *Köiele vastav soon tõstekonstruktsiooni tipus (M. Kalm)*

Seejärel kinnitatakse eesmine ja tagumine tugiliin A-kraana tipu külge ning püstitatakse A-kraana. Selleks tõstetakse lihasjõu abil A-kraana vertikaalist umbes 10 kraadise kalde alla püstitatava sektsiooni suunas. Seejärel kinnitatakse eesmine tugiliin ja tõmbeliin püstitatava sektsiooni külge, kõrgemale sektsiooni raskuskeskmest. A-kraana on tööasendis, kui tõmbeliin vintsitakse pingule (joonis 52). Tagumist tugiliini sektsioon1 vinnamisel ei kinnitata, kuna tõste kestel muudab A-kraana oma kaldenurka ja selle tulemusel tagumisele tugiliinile pinget ei avaldu.



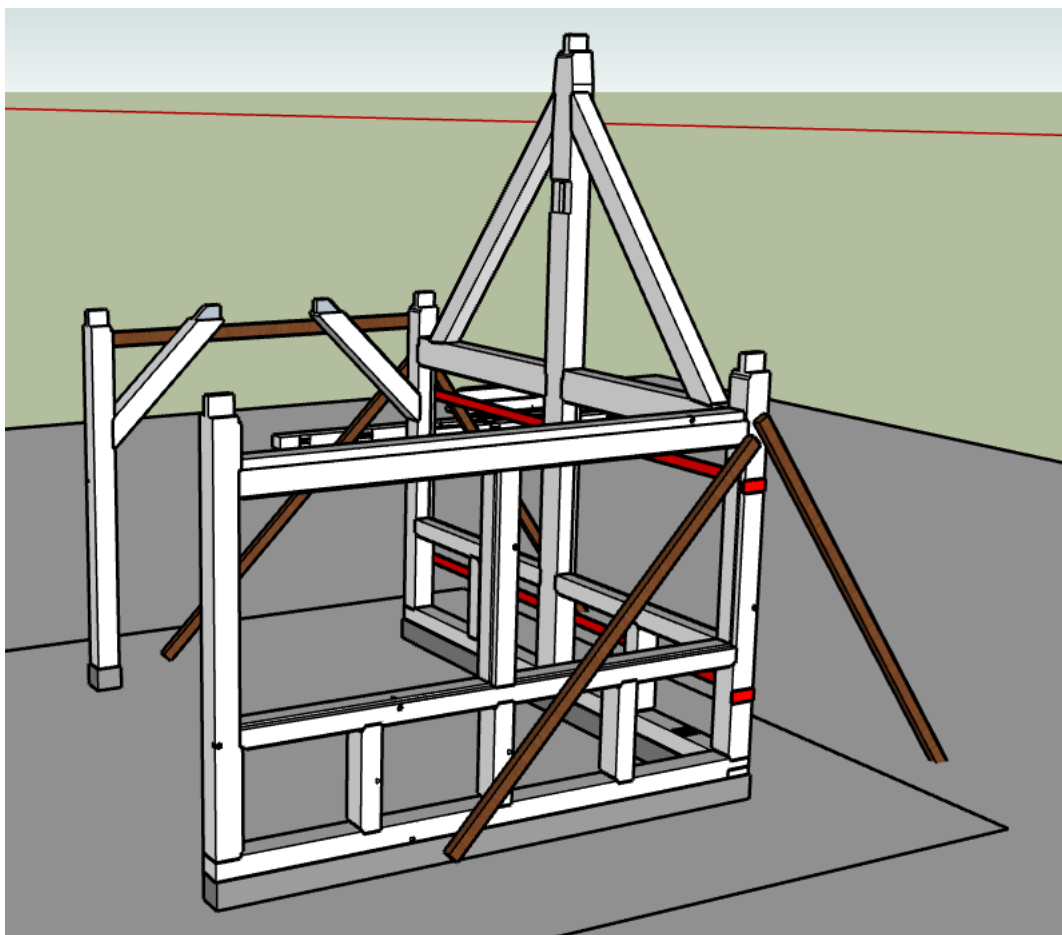
Joonis 52. *Seksioon 1 vinnamine (M. Kalm)*

Üks töötaja tegeleb tõmbeliini vintsimisega. Kui A-kraana on liikunud üle vertikaali ja on kaotanud oma pidepunkti, vabaneb tõmbeliin ja vintsimine toimub edasi otsetõmbel. Eesmine tugiliin ei lase tõstekonstruktsioonil maha kukkuda, vaid langetab seda kontrollitud viisil samaaegselt seksiooni vertikaalasendisse liikumisega (joonis 53). Vajadusel suunatakse vertikaalasendisse jõudnud seksiooni all olevaid tapikeeli sõrgkangi abil tapipesadesse. Kui seksioon on vertikaalasendis ja tapikeeled on omale määratud tapipesades, kinnitatakse seksiooni ette lisanduvad diagonaaltoed, eemaldatakse ajutine piire ning ühendatakse lahti tugi- ning tõmbeliinid.



Joonis 53. *Sektsioon 1 peale vinnamist (M. Kalm)*

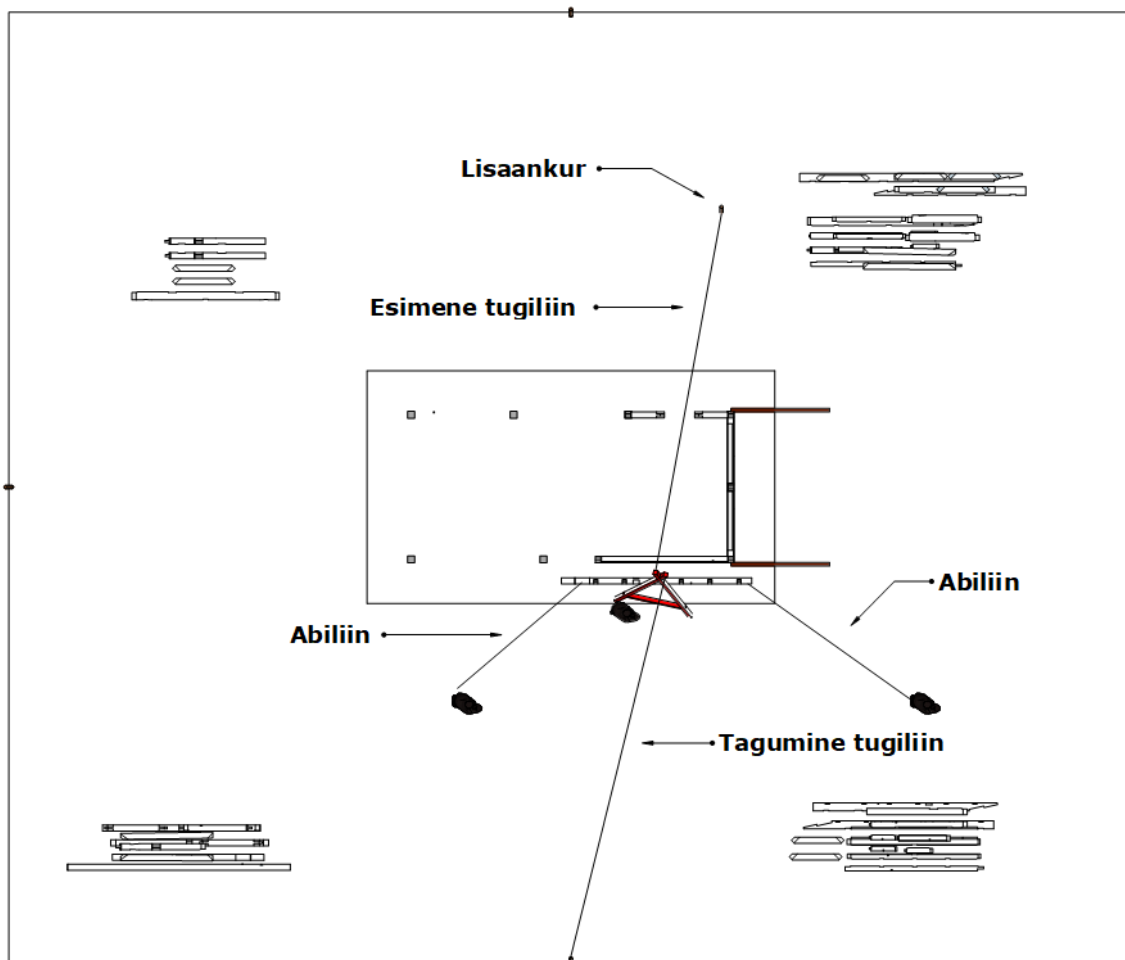
Järgmisena paigaldatakse käsitsi paigaldatud sektsiooniga piirneva kinnise pikiseina osa ning selle vastaskülje üks pikiseina post koos kahe diagonaaltoega (joonis 54). Postid ja diagonaaltoed fikseeritakse õigetesse asenditesse ajutiste põõnade paigaldamise abil. Eesmärgiks on paigaldatud sektsiooniga piirneva konstruktsiooniosa kokku liitmine selle püsivama stabiilsuse saavutamiseks.



Joonis 54. Käsitsi paigaldatavad detailid peale seksioon 1 vinnamist (M. Kalm)

Pärast eelpool kirjeldatud toimingute lõpetamist, paigaldatakse A-kraanat kasutades kaks pikiseina ülemist võõtala käsitsi paigaldatud konstruktsiooniosade peale ning nende peale omakorda siduv laetala. Selleks on vajalik A-kraana asetamine iga tõste jaoks erinevatesse asukohtadesse.

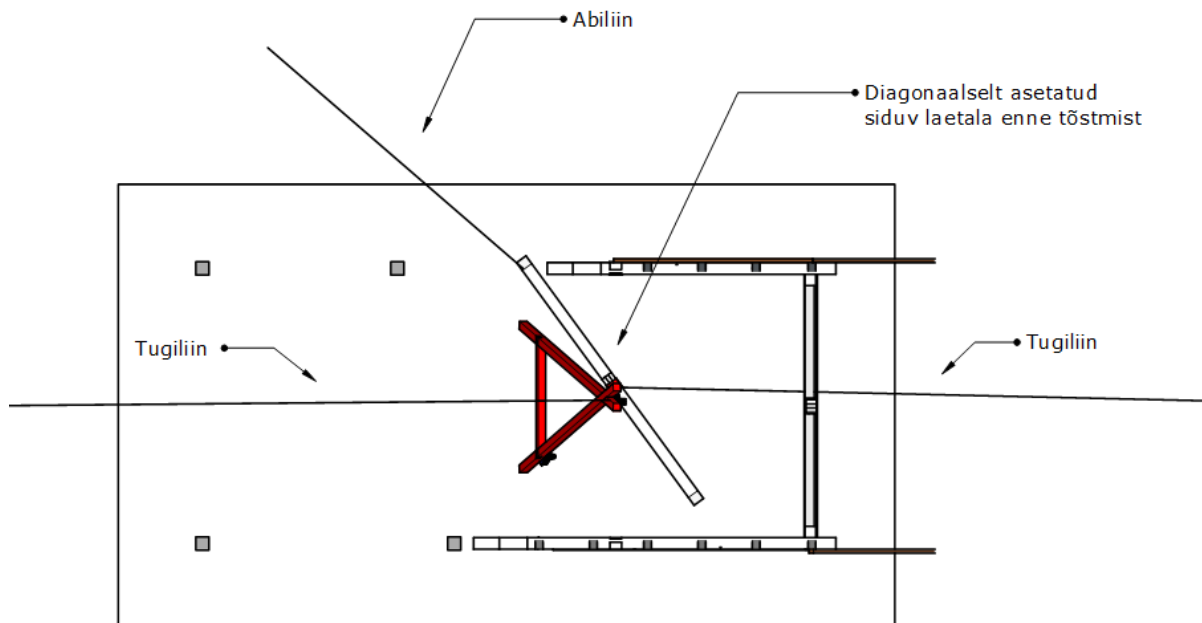
Tõstete läbiviimiseks paigaldatakse tõstekonstruktsioon pikiseina vundamendist ühe meetri kaugusele ning püstitatakse see tööasendisse. Üksikdetailide tõstmiseks kinnitatakse kasutatav käsivints tõstekonstruktsiooni külge ning tõsteplokina kasutatakse vintsi trossi jooksul asetuvat plokki. Kuna paigaldatavad pikiseina võõtala ja kasutatav A-kraana ei asu pikiseina keskel, on vajalik paigaldada eesmise tugiliini kinnitamiseks lisanduvad ankrud või kinnitama võimalusel eesmise tugiliini vastasseina külge. Tõstetava tala ottesse kinnitatakse abiliinideks köied, millega kaitstakse tõste ajal tala konstruktsiooni vastu põrkamise eest ning juhatakse tala oma õigesse asukohta (joonis 55). Talasid tõstetakse keskosast ning kasutatakse silmustroppimist. kõikide ülemiste võõtala paigaldamiseks kasutatakse samu põhimõtteid ja meetodeid.



Joonis 55. Ülemise võõtala paigaldamine (M. Kalm)

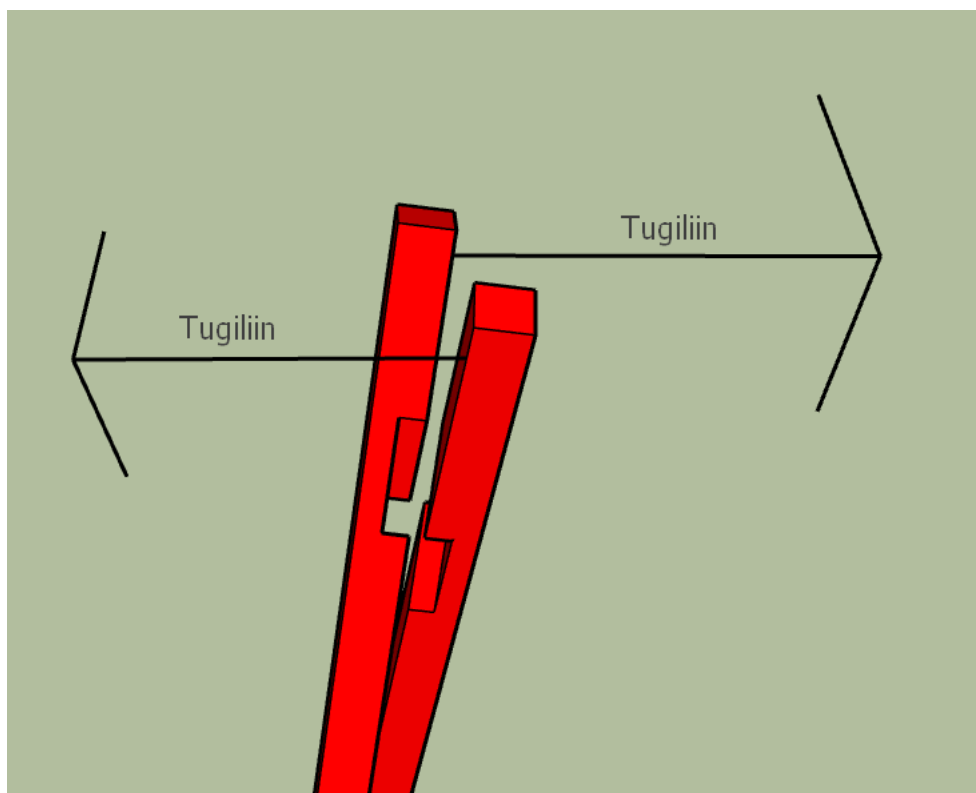
Järgmisena tõstetakse ülemiste võõtala peale kaks siduvat laetala (joonis 56). Kahe siduva tala ühe kraana asetusega tõstmine aitab säästa tööaega, kuna nii toimides on võimalik vahele jätta ühe kraana ümber liigutamise võrra tööd. Esimene siduv tala tõstetakse võõtala peale ning nihutatakse juba paigaldatud konstruktsiooniosa otsa poole, et see ei jääks ette järgmisele tõstele. Teine tõstetav tala asetatakse sellele määratud tappidesse.

Tõstekonstruktsioon paigaldatakse püstitatava konstruktsiooni perimeetri sisse risti. Kuna siduv laetala on mõõtmetelt pikem hoone laiuusest, peab seda tõstma nii, et see ei jää kinni varasemalt paigaldatud ülemiste võõtala taha. Selleks paigutatakse siduv tala enne tõstmist diagonaalselt ja juhitakse tõste ajal ühte otsa paigaldatud abiliiniga. Talad tropitakse keskosast silmusega.



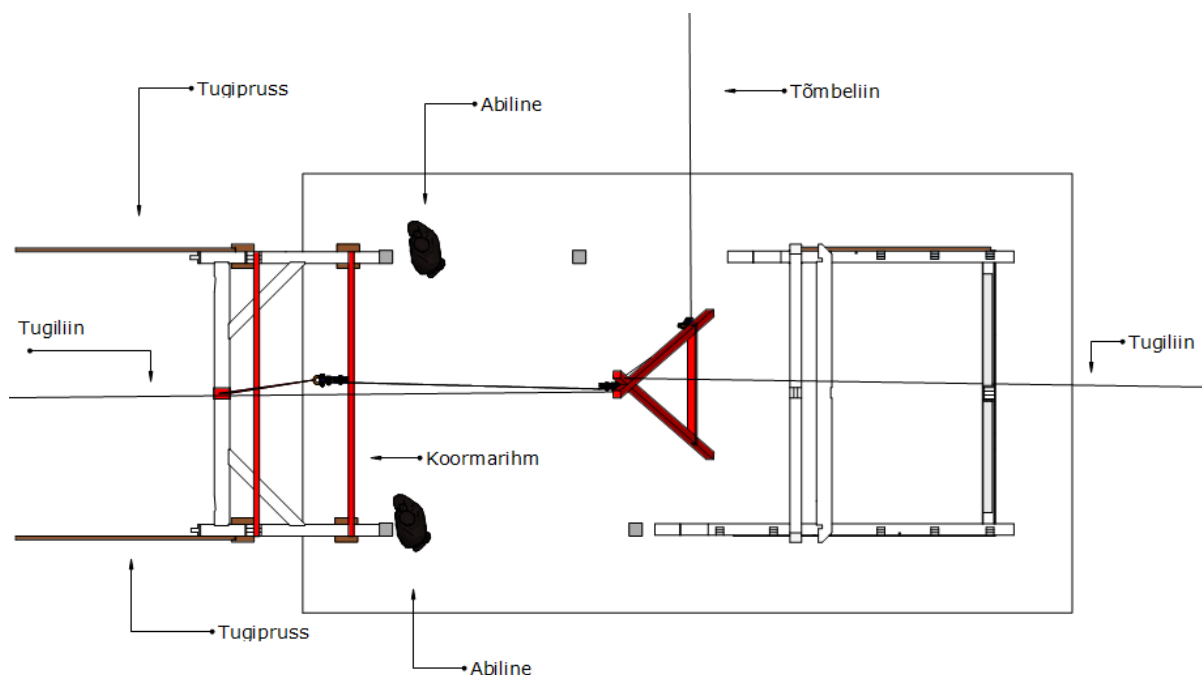
Joonis 56. Siduvate talade tõstmine (M. Kalm)

Peale siduvate talade paigutamist ülemistele vöötaladele vinnatakse paika teine otsmine sektsioon (joonis 58). Selleks pööratakse esmalt kraana konstruktsioon ringi - eemaldatakse tõmbe- ning tugiliinid ja langetatakse tõstekonstruktsioon horisontaalseks, pööratakse ümber ja püstitatakse uuesti. A-kraana ümber pööramisel peab tähelepanu pöörama ka tugiliinide kinnitusele – tugiliinid peavad olema kinnitatud tõstekonstruktsiooni külge nii, et nende tõmbesuunad on pool-poolega tappühendust tihendavad (joonis 57). Selleks võib ühendada tugiliinide ankrutsad vastaskülje ankrutega või vahetada tõstekonstruktsiooni küljes olevad tippude sidumiskohad omavahel.



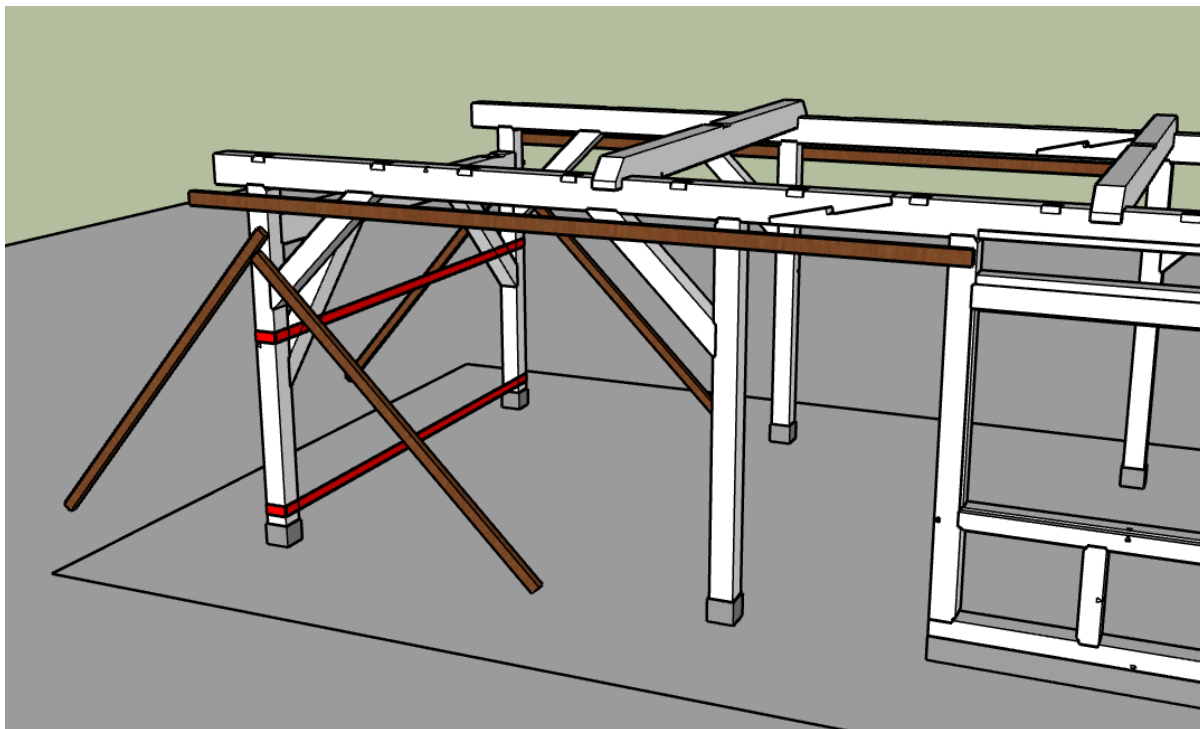
Joonis 57. Tugiliinide tõmbesuunad tõstekonstruktiooni suhtes (M. Kalm)

Järgmiseks tehakse vundamendi postide kõrguses horisontaaltasapind, mille peal pannakse kokku vinnatav sektsioon. Horisontaaltasapind tehakse hoone perimeetrist välja ning sektsioon vinnatakse ehitise suunas. Sektsiooni postide ülemistele osadele kinnitatakse tugiprussid, mis vinnamise kestel ja paika asetatuna sektsiooni tagant poolt toetavad (joonis 58). Sektsiooni ette poole vajumise vältimiseks kinnitatakse ankru ning sektsiooni külge ka fikseeriv liin. Kaks töötajat tegelevad vinnamise ajal postide alumiste otste vundamendi peal hoidmisega ning vajalikule poole suunamisega. Peale tõste läbiviimist paigaldatakse lisanduvad ajutised diagonaaltoed sektsiooni ette, et kindlustada sektsiooni tasakaalu vertikaalasendis.



Joonis 58. *Sektsioon 2 vinnamine (M. Kalm)*

Järgmiseks paigaldatakse käsitsi puudu olevad postid koos diagonaaltugedega. Diagonaaltoed ja postid kinnitatakse ajutiste põõnade abil õigetesse asenditesse ja fikseeritakse (joonis 59). Siis paigaldatakse puuduolevad ülemised võotalad A-kraana abil samal viisil, nagu paigaldati esimesed. Võotaladel olevad hammas-kaldrapiid kiilutakse tihedaks puidust kiiludega. Peale võotalade paika asetamist ja kiilumist liigutatakse varasemalt võotaladele paigutatud siduv tala oma vastavatesse tapipesadesse. Selleks kasutatakse redeleid ehitise mõlemal pikiüljel, asetades need ehitisest väljapoole.



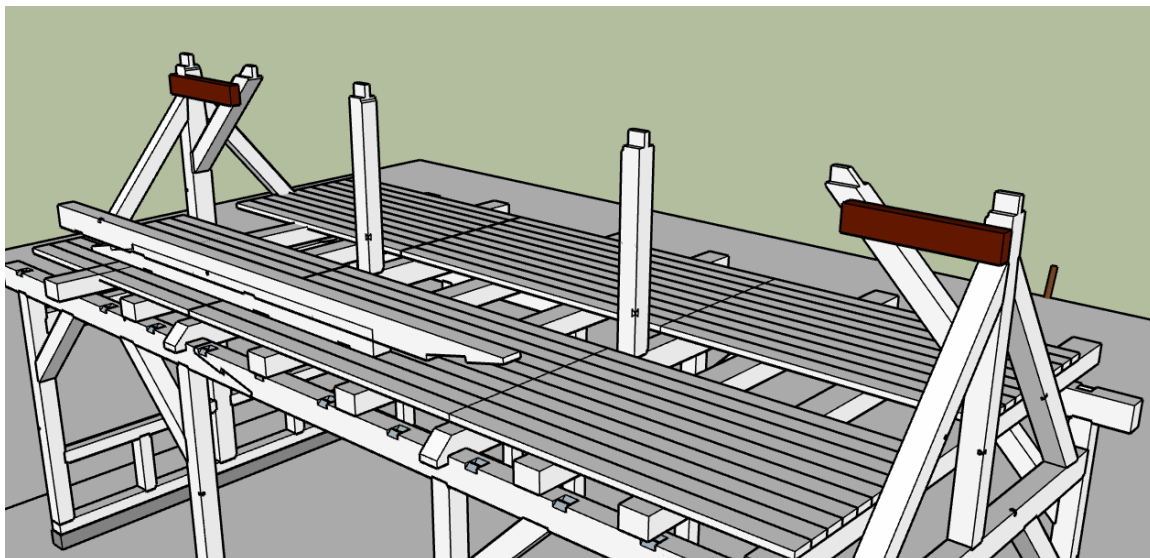
Joonis 59. *Ajutised põõnad ja toed koos paika asetatud taladega (M. Kalm)*

Ülemiste konstruktsiooniosade paigaldamiseks on seinade peale vajalik ehitada ajutine vahelagi. Selleks paigaldatakse ehitisega risti lisanduvad ajutised 150mm x 200mm puidust laetalad, kinnitatakse need pikitelje ülemistele vöötaladele ning seotakse need omavahel olemasolevate 50 mm x 150 mm prussidega. Ajutised vahelae talad tõstetakse üles konstruktsiooni otsast, et talasid oleks võimalik asetada konstruktsiooni ristiteljele vöötalade peale (joonis 60). Talad liigutatakse üleval sobivatesse kohtadesse käsitsi. Laetaladega ristuvad 50 x 150mm põrandana kasutatavad prussid viiakse laepeale lihasjõul.



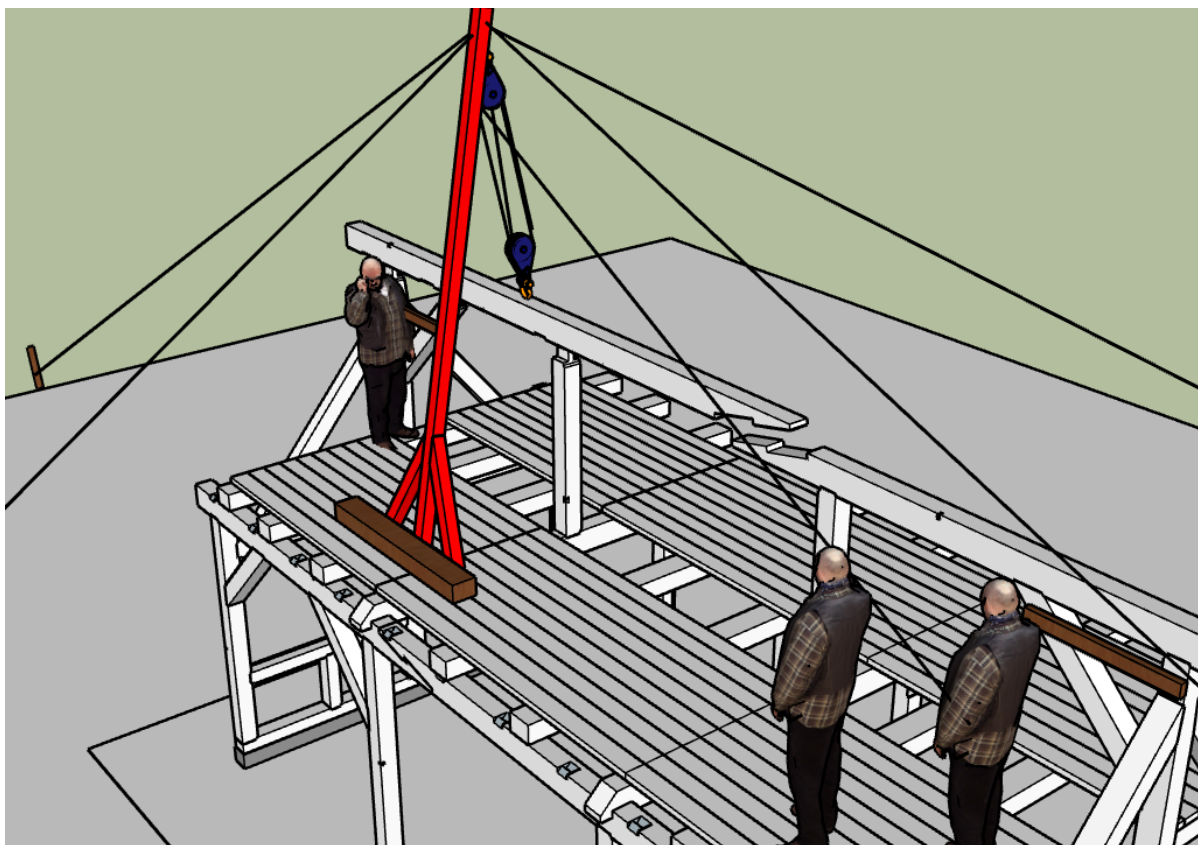
Joonis 60. A-kraana asetus vahelaie ehitusel (M. Kalm)

Ajutise vahelaie ehitusel on tähtis jätta katmata sektsioon 2 pealne ning pikitelje keskosa, kuna nendele aladele paigaldatakse järgmised konstruktsiooni detailid. Detailid tõstetakse ning ladustatakse vahelaiele, kasutades raskemate detailide tõstmiseks A-kraanat olemasoleval asukohal. Käsitsi paigaldatakse kolm posti ning neli diagonaali, kasutades vajadusel diagonaalide fikseerimiseks ajutisi põõnasid (joonis 61).



Joonis 61. Käsitsi paigaldatavad vahelae pealsed detailid (M. Kalm)

Harjatalad tõstetakse vahelae tasapinnast 1,5 meetri kõrgusele, ühendatakse postide ning diagonaalidega. Eelduslikult kaalub lühem harjatala detail ligilähedaselt 45 kg ning pikem 75 kg. Suure pingutuse tulemusena on tõenäoliselt nende mitmekesi käsitsi paigaldamine võimalik, kuid raskesti teostatav. A-kraana vahelael kasutamine on selle mõõtude ning massi poolst keeruline, seetõttu ehitatakse vajadusel sobivate mõõtudega montaažimast laepealsete tõstete läbiviimiseks (joonis 62).



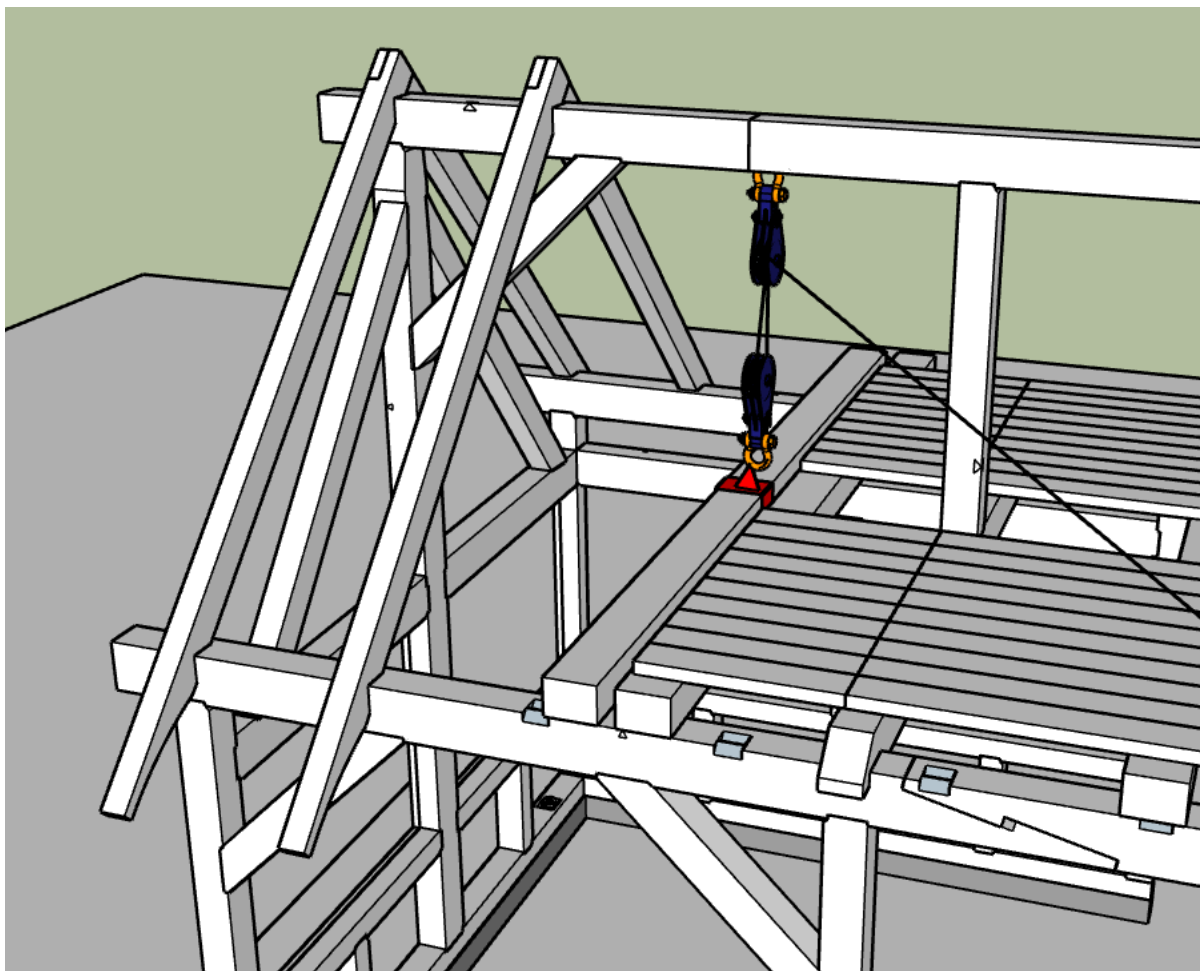
Joonis 62. Harjatala paigaldamine montaažimastiga (M. Kalm)

Montaažimast kinnitatakse nelja tugiliiniga ankrute külge. Tagumisele tugiliinile ankru lähedale paigaldatakse käsi-kangvints. Montaažimast tõstetakse käsitsi umbes 45 kraadise nurga alla ning vintsitakse tagumiselt tugiliinilt sobivasse asendisse. Masti jalus kindlustatakse nihkumise eest vahelaele kinnitatud prussi abil ning montaažimasti jalus kinnitatakse omakorda prussi külge. Tõmbeliini käsitletakse nelja niidilise plokisüsteemi abil käsitsi tõmmates. Üks töötaja tegeleb tõmbeliini käsitlemisega ning kaks töötajat juhivad harjatala sellele määratud asukohta (joonis 62).

Kui harjatalad on neile määratud tappides, langetatakse montaažimast. Esmalt ühendatakse lahti jaluse kinnitus vahelaele, seejärel külgmised ning eesmise tugiliinid. Tagumisel tugiliinil oleva vintsi abil langetatakse montaažimast ette suunas, kuni see jääb harjatala peale toetuma ja tugiliin vabaneb pingest. Seejärel ühendatakse tagumine tugiliin montaažimastist lahti ning paigaldatakse mast maapeale horisontaalsesse asendisse lihasjõul. Sarikate paigaldamisel eemaldatakse järk-järgult ajutine vahelagi (joonis 63-64).

Sarikamaterjalid tõstetakse lae peale ükshaaval käsitsi. Esmalt paigaldatakse ehitise mõlemad otsmised sarikad. Seejärel eemaldatakse järkjärgult ühest ehitise otsast põrandaprusside ja ajutiste vahelaetalade kinnitused. Põrandaprussid liigutatakse veel

kinnitatud oleva laetala peale ning fikseeritakse. Seejärel liigutatakse vabastatud laetala külgmise kinnitatud laetala kõrvale. Ajutiste laetalade langetamiseks riputatakse harjatala külge neljaniidiline plokisüsteem.

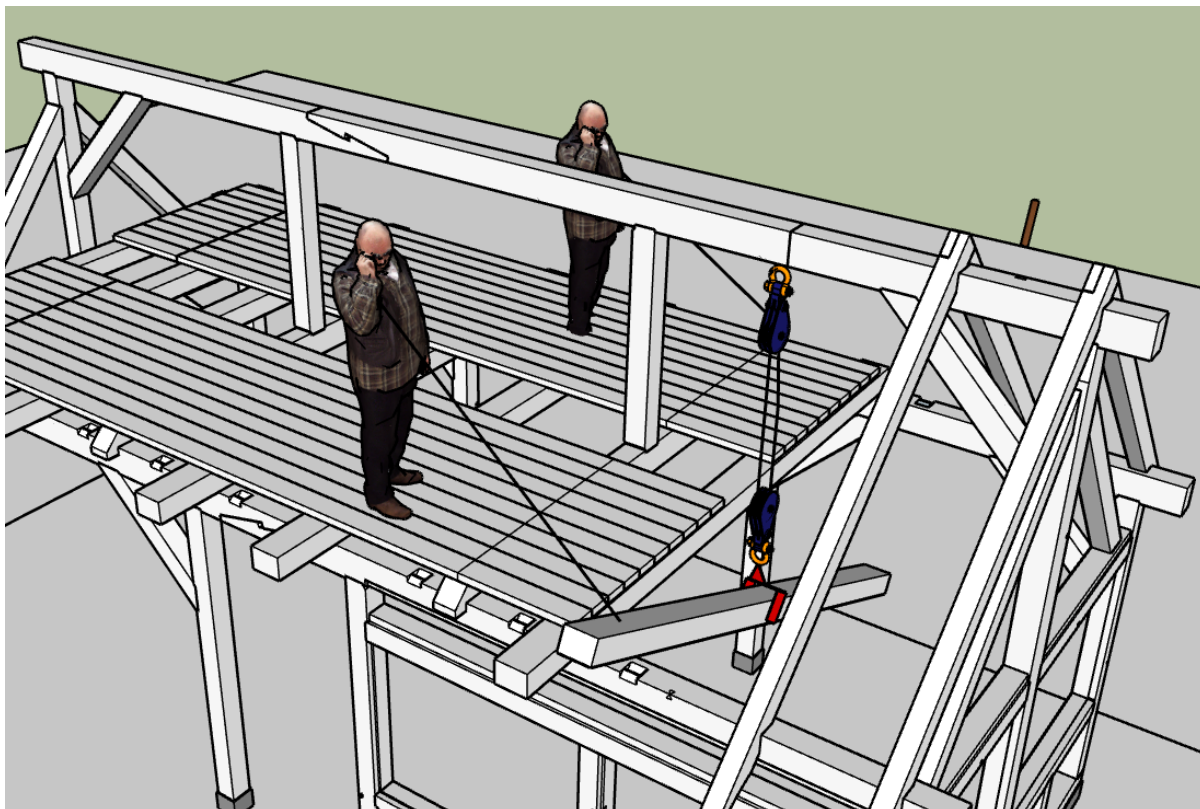


Joonis 63. *Vahelae talade langetamine (M. Kalm)*

Plokisüsteem kinnitatakse harjatala külge sõlmega, mis ei tihene jõu mõjul. See on soovitatav selleks, et rippuvat ploki oleks võimalik lihtsasti järgmise tala kohale liigutada ning lahti võtta, kuna tala jooksul paiknevad ka postid. Selleks on võimalik kasutada aasadega troppi, millega on tehtud täisringi ümber harjatala ning mõlemad aasad ühendatud rippuva ploki kinnitiga varustatud konksuga.

Tala tropitakse silmusega, mis tiheneb tõste ajal ja ei lase talal tropist välja libiseda. Tala üks ots tõstetakse ehitise seestpoolt üle serva ja langetatakse kontrollitult plokisüsteemile pinget järele andes. Viimasena langevale tala otsale kinnitatakse abiliin, mida käsitletakse vahelae pealt tala kõikumise vältimiseks (joonis 64). Plokisüsteemi pinget reguleeritakse käsitsi, ilma vintsita. Tegevuse ajal on vahelae peal kaks töötajat, kellest üks käsitleb

plokisüsteemi ning teine abiliini. Kolmas töötaja vabastab peale talade langetamist troppe vahelae all ning ulatab sarikaid vahelaele.



Joonis 64. *Ajutiste talade langetamine (M. Kalm)*

4.4. Praktiline teostus ja tähelepanekud

Lõputöö praktilise osa ettevalmistuseks liideti enne tõstetöödega alustamist horisontaalasendis kokku mõlemad ristisektsioonid, löödi maasse neli ankrut ja järgati kasutatav köis vajalikkesse pikkustesse (2 x 20 m, 2 x 10 m, 40 m).

Köie järkamisel osutus väga oluliseks markide sidumine, kuna järgatud keeratud struktuuriga köis hargnes ilma markideta suure kiirusega, vähendades köie kasutuskõlblikku pikkust (Joonis 65). Et olukorda tulevastel kordadel vältida, peab margid siduma enne köie järkamist mõlemale poole lõiget. Samuti hargnesid mõned margid kasutamise käigus laiali ja neid oli vaja uuesti siduda – tuleks kaaluda lihtmarkide asemel teiste markide kasutamist ja/või pöörata tähelepanu hoolikale sidumisele.



Joonis 65. *Markide olulisus köie järkamisel (M. Kalm)*

Kasutatud A-kraana tööasendisse seadmine kulges hõlpsasti kolme inimese osalusel. Tõstekonstruktsiooni tööasendisse seadmiseks kulus ligikaudselt 5 minutit, mil kaks töötajat tõstsid A-kraana soovitud asendisse ning kolmas inimene sidus tagumise ning esimese tugiliini ankrute külge.

Sidumissõlmedest kasutati peamiselt paalisõlme silmuse valmistamiseks köie otsale ning vahemehe sõlme köie keskossa silmuse valmistamiseks.

Sektsioon 1 püstitamiseks kasutati langeva noole tehnoloogiat. A-kraana saadi tööasendisse peale teist katset, kuna algselt katsetati tõstekonstruktsiooni püstitamist tööasendisse umbes 30 kraadi alla vertikaalasendist (Joonis 66). Tõmbetrossi pingutamisel sellise tõstekonstruktsiooni kalde korral hakkas jõud A-kraanat horisontaalasendi poole

suunama ning seetõttu oli vajalik uuesti katsetada. Teine katse õnnestus, kui tõstekonstruktsioon püstitati ligilähedaselt 10 kraadi alla vertikaalasendist ning pingutati tõmbetross.



Joonis 66. *A-kraana püstitamine seksioon 1 vinnamiseks (S. Urvak)*

Kindlustav ajutine tugi seksioon 1 vinnamiseks tehti 50mm x 150 mm prussist ning see kindlustati vöö küljele lihtsustatud viisil nelja pitskrugi abil (Joonis 67).



Joonis 67. *Ajutine tugi (S. Urvak)*

Seksioon 1 vinnamine kulges ilma tagasilöökideta (Joonis 68). Tapikeelte pesadesse suunamiseks kasutati sõrgkangi. Kui vinnamine oli lõpule viidud, paigaldati puuduolevad ajutised diagonaaltoed ja ühendati lahti tugi- ning tõmbeliinid.



Joonis 68. *Sektsioon 1 vinnamine langeva noole tehnoloogia abil (S. Urvak)*

Järgmiseks paigaldati planeeritud viisil käsitsi alumised konstruktsiooniosad. Käsitsi paigaldatud konstruktsiooniosad seoti sektsioon 1-ga, tõstes A-kraana abil neile ülemised võõtalad ning siduvad talad (Joonis 69). Kuna eesmised tugiliinid ei võta suuri koormusi vastu (pigem lõdveneivad tõste läbiviimise ajal), otsustati täiendavate kaldvaiade kasutamise asemel need kinnitada konstruktsiooni vastasseina külge.



Joonis 69. Siduvate talade tõstmine (S. Urvak)

Sektsioon 2 vinnamisel (Joonis 70) asetati tõstekonstruksioon püstitatava hoone perimeetri sisse. Tõste läbiviimisel tõdesime, et tõstetööde teostamiseks on vajalik kasutada võimalikult venimatut köit ning mida pikemaks osutub köie kasutamise korral tagumine tugiliin, seda rohkem venivust sellel on. Esimesel katsel vajus tõstekonstruksioon ligilähedaselt 45 kraadi alla enne, kui sektsioon püstise asendi poole liikuma hakkas. Otsustasime katse pooleli jätta ning paigaldasime tagumise tugiliini jooksule käsi-kangvintsi, et A-kraanat tõste ajal vajadusel püstisemasse asendisse vintsida. Teine katse õnnestus. Posti alumisi otsasid suunati vinnamise kestel sõrgkangi abil õigetesse asukohtadesse. Peale tõste läbi viimist kindlustati sektsioon seestpoolt lisanduvate diagonaaltugedega, paigaldati puuduolevad postid koos diagonaaltugedega, looditi ning ühendati ülejäänud konstruktsiooniga ajutiste põõnade abil.



Joonis 70. *Sektsioon 2 vinnamine (S. Urvak)*

Ajutise vahelae ning laepealsete osade ehitamiseks tõsteti materjalid üles sektsioon 2 poolsest konstruktsiooni otsast, et oleks võimalik asetada tõstetavad prussid hoone teljega risti vöötalade peale (Joonis 71). Harjatalad tõsteti tappidesse lihasjõul, kolme töötaja osalusel.



Joonis 71. *Laepealsete konstruktsiooniosade tõstmine hoone otsast (M. Kalm)*

Suveköögi konstruktsioon (Joonis 72) sai püstitatud 4 töötaja osalusel umbes 16 tunniga, millest esimesel poolel kulus palju aega tehnoloogiate kinnistamiseks ja analüüsimiseks. A-kraana oli tööde teostamisel suureks abiks, pakkudes säästlike ja võrdlemisi lihtsaid viise tõstetööde läbiviimiseks.



Joonis 72. Püstitatud konstruktsioon (*M. Kalm*)

Kokkuvõte

Lõputöö teostamiseks planeeriti ja teostati traditsioonilise pruss-sõrestikkonstruksiooni püstitamise lihttehnoloogiliste tõstemehhanismide abil. Tõstetöödeks vajaminevate tõstemehhanismide konstrueerimisel on vajalik tegevuste põhjalik läbimõeldus, et tagada tööohutus ja tööde kiire kulgemine. Kõige määravamaks teguriks kasutatavate lihttehnoloogiliste tõstemehhanismide konstrueerimisel on tõstetavate raskuste ning tõstekõrguste välja selgitamine, kuna see teadmine loob eeldused tõstesüsteemi erinevatele osadele.

Et tõstmiseks vajaminevat lihasjõudu vähendada, on suureks abiks mehhaanilist eelist võimaldavad käsivintsid ja plokisüsteemid. Tõstekonstruksiooni planeerimisel on oluline arvestada tõstekõrgustega, et valmistada selline tõstevahend, mis on sobilik võimalikult paljude tõstete läbiviimiseks. Sealjuures võib olla kasulik leida kesktee tõstekonstruksiooni suuruse ja liigutatavuse vahel, kuna väiksemat tõstekonstruksiooni on lihtsam inimjõul objektipiires liigutada, teisalt suurem tõstekonstruksioon võimaldab kõrgemaid tõsteid. Tõstekonstruksiooni valikul on mõistlik läbi mõelda ka kasutatavad tõstetehnoloogiad - Montaažimasti abil on soovitatav sooritada ainult vertikaalsuunalisi tõsteid, kui A-kraanaga on võimalik teostada tõstekonstruksioonist kõrgemate sektsioonide vinnamisi langeva noole tehnoloogia abil. Nii montaažimasti kui A-kraana konstrueerimisel kehtib diameetri ja pikkuse 1/60 suhestuvuse reegel.

Raskuste ning rakenduvate jõududega arvestamisel on tähtis valida sobivate omadustega tõmbe ning tugiliinideks kasutatav köied ja/või trossid. Tähtis on arvestada liinide valikul ka koorma kõikumisest tekkivate pingemuutustega. Selleks on oluline lisada koorma raskusest tulenevatele rakenduvatele jõududele minimaalselt 4/1 ülekoormusteguri. Samade jõudude ning pingemuutustega peavad toime tulema ka kasutatavad ankrud. Mugavamateks ning kindlamateks ankruteks on soovitatav kasutada kasvavaid puid, samas vältima peab kahjustunud puid ning puude kändusid. Looduslike ankrute puudumisel on võimalik kasutada tingimustele vastavaid kaldvaid ankruid.

Tähtsateks elementideks lihttehnoloogilistel tõstemehhanismidel on köitel kasutatavad sidumissõlmed. Tõstetööde kiireks ja ohutuks edenemiseks on tähtis kasutada lihtsasti seotavaid ja lahti arutatavaid, kuid kindla püsivusega sõlmi. Tõstetööde läbiviimisel osutusid kõige rohkem kasutatavateks sidumissõlmedeks paalisõlm ning vahemehesõlm. Köie järkamisel on oluline kasutada marke, et köie kasutuskõlblikku pikkust säilitada.

Püstitustööde läbiviimise kiire toimimise eelduseks on ruumikasutuse ja tööde järjekorra planeerimine. Püstitatud konstruktsiooni tegevuse planeerimisel mõeldi läbi konstruktsiooniosade ladustamine ehitusplatsil ja tõstekonstruktsiooni asetused kõigi vajaminevate tõstete läbiviimiseks. A-kraana tööasendi kindlustamiseks erinevates asukohtades kasutati kokku nelja ankrut, millest iga üks paigaldati püstitatud konstruktsiooni eri küljele vastavasse asukohta.

Lõputöö tegevuste tulemusel püstitati traditsioonilisel pruss-sõrestikul põhinev suveköögi konstruktsioon. Püstitusöödeks kulus neljakesi töötades 16 tundi, millest esimesel poolel kulus palju aega tehnoloogiate kinnistamiseks ja analüüsimiseks. Lihttehnoloogilised tõstemehhanismid tõestasid ennast konstruktsiooni püstitamisel kasulike abivahenditena.

Kasutatud allikad

- Abilis. (s.a.). *Polüamiidist 8-keeline punutud köis kahe silmaga*.
<https://abilis.ee/toode/poluamiidist-8-keeline-punutud-kois/>
- Anglia Handling. (s.a.). *Spreader & lifting beams*.
<https://www.angliahandling.co.uk/spreader-lifting-beams.html>
- Boise Rigging Supply. (s.a.). *Lincoln cable ratchet winch hoist – come along*.
<https://boiserigging.com/product/lincoln-cable-ratchet-winch-come-along/>
- EHSDB. (s.a.). *Rigging - Methods of slinging hitches*. <https://www.ehsdb.com/rigging---methods-of-slinging-hitches.php>
- EVS-EN 13157:2004+A1:2009. (2009). *Lifting equipment – Safety requirements – Hand operated lifting equipment*. Eesti Standardikeskus.
- Espak E-pood. (s.a.). *Köis keeratud sinine 6mm*. <https://espak.ee/epood/toode/kois-keeratud-sinine-6mm/>
- Mullen, G., Timber Frame Engineering Council., Timber Framers Guild., Virginia Military Institute. (s.a.). *Rigging and Raising: An Uplifting Discussion*
- The Engineering ToolBox. (2007). *Pulleys*. https://www.engineeringtoolbox.com/pulleys-d_1297.html
- The Engineering ToolBox. (2008). *Gears*. https://www.engineeringtoolbox.com/gears-d_1307.html
- The Engineering ToolBox. (2008). *Lifting wheels*.
https://www.engineeringtoolbox.com/lifting-wheel-d_1306.html
- Gomeringer, R., Heinzler, M., Kilgus, R., Menges, V., Oesterle, S., Rapp, T., Scholer, C., Stenzel, A., Stephan, A., & Wieneke, F. (2021). *Mehaanikainseneri käsiraamat*. Verlag Europa-Lehrmittel, Nourney, Vollmer GmbH & Co. KG.
- Gurstelle, W. (2013, 9. September). *Heron of Alexandria and the Gin Pole*.
<https://makezine.com/projects/heron-of-alexandria-and-the-gin-pole/>
- Informatorium OÜ. Füüsikaleksikon.ee. *Jõu õlg — füüsikaleksikon.ee (xn--fsikaleksikon-woba.ee)*
- Informatorium OÜ. (s.a.). *Jõu õlg — füüsikaleksikon.ee*. [Jõu õlg — füüsikaleksikon.ee](https://www.fuusikaleksikon.ee/jou-olg/)
- Kirsman, E. (2025). *Jõud looduses. Füüsika põhivara*.
<https://opik.kirsman.ee/pohikool/8klass/joud/>
- Künnap, J. (2016). *Sõlmed ja pleisid*. Autoriväljaanne.
- The Low-tech Lab. *Low-techs for a sustainable and desirable society!* [Low-tech Lab – Home](https://www.low-tech-lab.com/)

- Manila Rope. (2014, 1. Mai). *Pro Manila rope*. Manila Rope Blog. Retrieved from <https://manilarope.blogspot.com/2014/05/pro-manila-rope.html>
- Merriam-Webster. (s.a.). *Pulley*. <https://www.merriam-webster.com/dictionary/pulley>
- Rohusaar, J., Mägi, R., Masso, T., Talvik, I., Jaaniso, V., Otsmaa, V., Voltri, V., Loorits, K., Peipmann, T., Pukk, O., & Hartsuk, V. (2014). *Ehituskonstruktori käsi raamat (4. parandatud trükk)*. Ehitame-kirjastus.
- SensorsONE. (2025). *Volume & Density to Mass Calculator*. <https://www.sensorsone.com>
- Shelter Institute. (2025, 7. Veebruar). *How to raise a timber frame bent without a crane or a big screw* [Video]. Instagram.
- Sobon, J., & Schroeder, R. (1984). *Timber frame construction: all about post and beam building*. Storey Publishing.
- Tammekivi, T. (2015). *Tootlikkuse kasvule suunatud tööskeemi loomine Weel OÜle traditsioonipõhiste vahvärkonstruktsioonide valmistamiseks* [Magistritöö, Tartu Ülikooli Viljandi Kultuuriakadeemia]. Dspace. <https://dspace.ut.ee/bitstreams/c1eaecb1-a960-4db4-a053-4f05ff4278a7/download>
- Tööriistamarket. (s.a.). *PLOKIRATAS 0,5T 2-PLOKIGA*. <https://tooriistamarket.ee/et/plokiratas-0-5t-2-plokiga>
- U.S. Department of the Army. (2013). *U.S. Army Guide to Rigging*. <https://archive.org/details/u-s-army-guide-to-rigging>
- UESUAE. (2024, 26. Detsember). *Designing a lifting beam: Advantages and disadvantages*. <https://www.uesuae.com/post/designing-a-lifting-beam-advantages-and-disadvantages>
- Universal Images Group North America LLC. (2025). *A block and tackle, a combination of a rope or cable and pulleys, is used to lift heavy weights or exert large forces*. <https://www.alamy.com/stock-photo-a-block-and-tackle-a-combination-of-a-rope-or-cable-and-pulleys-is-24062921.html>
- Veski, A. (1949). *Ehitustoothus*. Pedagoogiline kirjastus.

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

Mina, **Matis Kalm**,

1. Annan Tartu Ülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) minu loodud teose *„Lihttehnoloogiliste tõstemehhanismide rakendamine traditsioonilise pruss-sõrestikkonstruksiooni püstitamisel“*, mille juhendaja on Tarmo Tammekivi, reprodutseerimiseks eesmärgiga säilitada, sealhulgas lisada digiarhiivi DSpace kuni autoriõiguste kehtivuse lõppemiseni.
2. Annan Tartu Ülikoolile loa teha punktis 1 nimetatud teos üldsusele kättesaadavaks Tartu Ülikooli veebikeskkonnas, sealhulgas digitaalarhiivi DSpace kaudu Creative Commons'i litsentsiga CC BY NC ND 4.0, mis lubab autorile viidates teost reprodutseerida, levitada ja üldsusele suunata ning keelab luua tuletatud teost ja kasutada teost ärieesmärgil, kuni autoriõiguse kehtivuse lõppemiseni.
3. Olen teadlik, et punktides 1 ja 2 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.
4. Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei riku ma teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse õigusaktidest tulenevaid õigusi.

Matis Kalm

13.05.2025

Tõstetavate elementide tabel

nr	element	Maht m ³	Rakenduv jõud (kN)	tõstekõrgus		
				detaili	(kõrgeim punkt)	seksioon/detail
				mass (kg)	meetrites	
1	A. vöö 1	0,066	0,33	33,5	0,3	det
2	A. vöö 2	0,061	0,305	30,5	0,3	det
3	v.post 1	0,012	0,06	6	0,9	seksioon1
4	v.post 2	0,012	0,06	6	0,9	Seksioon1
5	v.post 3	0,012	0,06	6	0,9	det
6	v.post 4	0,012	0,06	6	0,9	det
7	v.post 5	0,012	0,06	6	0,9	det
8	post 1	0,055	0,275	27,5	0,9	det
9	post 2	0,055	0,275	27,5	2,6	seksioon2
10	post 3	0,055	0,275	27,5	2,6	seksioon2
11	post 4	0,055	0,275	27,5	2,6	det
12	post 5	0,055	0,275	27,5	2,6	det
13	post 6	0,054	0,27	27	2,6	seksioon1
14	post 7	0,126	0,63	63	4,4	seksioon1
15	post 8	0,054	0,27	27	2,6	seksioon1
16	post 9	0,054	0,27	27	2,6	det
17	post 10	0,029	0,145	14,5	2,3	det
18	ü. post 1	0,05	0,25	25	4,4	det
19	ü. post 2	0,03	0,15	15	4,4	det
20	ü. post 3	0,03	0,15	15	4,4	det
21	põõn 1	0,059	0,295	29,5	1	det
22	põõn 2	0,03	0,15	15	1	seksioon1
23	põõn 3	0,03	0,15	15	1	seksioon1
	diagonaal					
24	1.1	0,02	0,1	10	2,6	det
	diagonaal					
25	1.2	0,02	0,1	10	2,6	det

	diagonaal					
26	1.3	0,02	0,1	10	2,6	det
	diagonaal					
27	1.4	0,02	0,1	10	2,6	det
	diagonaal					
28	1.5	0,02	0,1	10	2,6	det
	diagonaal					
29	1.6	0,02	0,1	10	2,6	det
	diagonaal					
30	2.1	0,03	0,15	15	2,3	seksioon2
	diagonaal					
31	2.2	0,03	0,15	15	2,3	seksioon2
	diagonaal					
32	2.3	0,03	0,15	15	4,4	det
	diagonaal					
33	2.4	0,03	0,15	15	4,4	det
	diagonaal					
34	3.1	0,05	0,25	25	4,1	det
	diagonaal					
35	3.2	0,05	0,25	25	4,1	det
	diagonaal					
36	4.1	0,04	0,2	20	4,1	seksioon1
	diagonaal					
37	4.2	0,04	0,2	20	4,1	seksioon1
38	Tala1	0,054	0,27	27	2,4	seksioon1
39	Tala2	0,054	0,27	27	2,4	seksioon1
40	Tala3	0,11	0,55	55	2,9	det
41	Tala4	0,11	0,55	55	2,9	det
42	Tala 5	0,1	0,5	50	2,4	seksioon2
43	Tala 6	0,1	0,5	50	2,4	det
44	Tala 7-1	0,12	0,6	60	2,8	det
45	Tala 7-2	0,12	0,6	60	2,8	det
46	Tala 8-1	0,09	0,45	45	2,8	det

47	Tala 8-2	0,15	0,75	75	2,8	det
48	Tala 9-1	0,09	0,45	45	4,5	det
49	Tala 9-2	0,15	0,75	75	4,5	det
Kokku				1338		
		Maht (m3)	rakenduv jõud (kN)	Mass (kg)	Tõstekõrgus (m)	
	Sektsioon1	0,506	2,53	258	4,1 (kõrgeim)	
	Sektsioon2	0,27	1,35	138	2,4 (kõrgeim)	
	Kõrgeim tõste		0,75	75	4,5	