



ELANIKKONNA VARJUMISVÕIMALUSTE UURING VÕIMALIKU KRIISISITUATSIOONI KORRAL

**II ETAPP: TEHNILISTE MEETEMETE VÄLJATÖÖTAMINE EHTISTE
KIIRKORRAS VARJUMISKOHTADEKS KOHANDAMISEKS**

Tallinn 2023

EESSÕNA

Käesolev uuring viidi läbi Päästeameti tellimusel, Töövõtulepingu Nr 3-27/AE22/130 alusel.

Uuringu viisid läbi Tallinna Tehnikaülikooli Geoloogia instituudi töötajad Tõnu Tomberg ja Sander Kanter ning Ehituse ja arhitektuuri instituudi töötajad Ivar Talvik ja Aldur Parts.

SISUKORD

SISSEJUHATUS.....	5
1 Tehnilised üldnõuded varjumiskohtadele.....	6
2 Võimaliku õhurünnaku tõenäosed stsenaariumid	8
2.1 Tõenäosemad õhurünnakute objektid	8
2.2 Tõenäoseimad rünnakustsenaariumid.....	12
2.2.1 Rünnak õhutõrje raketisüsteemiga S-300.....	12
2.2.2 Rünnak tiibraketiga Kalibr (3M-14)	13
3 Plahvatuste analüüs	14
3.1 Plahvatuse lööklaine füüsikalised põhiparameetrid	14
3.2 Taandatud kauguse mõiste.....	15
3.3 Plahvatuse põhiparameetrite arvutusmetoodika	16
4 Ehitustehnilised meetmed	20
4.1 Suurpaneel lamud	21
4.1.1 Üldist	21
4.1.2 Keldri (soklikorruse) laepaneeli arvutus	22
4.1.3 Soklikorruse lae tugevdus	31
4.2 Muud ehitised	36
4.2.1 Tellistest või plokkidest korruselamud	36
4.2.2 Raudbetoonkarkassiga monteeritava ja monoliitse karkassiga elamud ja büroohooneid.....	37
4.2.3 Avalikus ruumis paiknevad jalakäijate tunnelid ja maa-alused parklad	37
4.2.4 „Tallinna tüüpi“ hooneid, ehitusaastaga kuni 1940.....	37
4.2.5 Mittetüüpilised hooneid	37
Kokkuvõte	40

LISA: Plahvatuse mõjude prognoos ehitistele (EXCELi fail), juurdepääsupiirang
„ASUTUSESISESEKS KASUTAMISEKS“ 41

SISSEJUHATUS

Elanikkonnakaitse üks kaitsemeetmetest ohusituatsioonis on inimeste varjumine. Varjumise eesmärgiks on inimestele füüsilise kaitse pakkumine kineetiliselt ohtliku väliskeskkonna eest. Varjumine on eluliselt kriitiline meede inimeste elude päästmiseks olukorras, kus piisavalt varajase hoiatuse puudumise tõttu, ei ole inimeste ohtlikust piirkonnast evakueerimine nende elu ja tervist ohtu seadmata võimalik.

Käesoleva uuringu eesmärgiks on tehniliste võimaluste ja meetmete uuring olemasolevate avalikus ruumis olevate ning korteriühistutele kuuluvate ehitiste kiirkorras varjenditeks kohandamiseks Eesti suuremates linnades.

Käesolev uuring on fokuseeritud erinevate relvaliikide konventsionaalse lahingumoona plahvatuses tingitud kineetilistele ohtudele ning nende mõjule ehituskonstruksioonidele ja neis või nende läheduses viibivatele inimestele. Tähelepanu on pööratud esmajoones aladele, kus elanikkonna tihedus on suurem.

Töö käigus hinnati eelmainitud ehitiste tüüpe kohapealse vaatluse ning projektide ja tüüpprojektide alusel, leidmaks tehnilisi võimalusi nende ehitiste varjumiskohtadeks kohandamiseks. Seejuures varjumiskohtadeks kohandamise seisukohast konkreetseid avalikus ruumis asuvaid ja korteriühistutele kuuluvaid väljavalitud ehitisi ja rajatisi, millede käigus koostasime mitmeid üldistusi.

Töös on välja pakutud tehnilised lahendused varjumiseks sobivate ehitiste kiirkorras varjumiskohtadeks kohandamiseks, kasutades selleks maksimaalselt nn „käepäraseid vahendeid“.

1 TEHNILISED ÜLDNÕUDED VARJUMISKOHTADELE

Varjumiskohtadele esitatavad tehnilised nõuded on oluliselt madalamad kui seda on nõuded, mis esitatakse tõhusatele pommivarjenditele. Viimastes peab olema tagatud inimeste mitmepäevane viibimine ning kaitse ka suuremakaliibrilise relvastuse lõhkepeade otsetabamuse (ning ka võimaliku tuumarünnaku) eest (Vohta 2019, Talvik jt 2018).

Varjumiskohad on käesoleva uuringu mõttes taolised hoonete/ehitiste tugevdatud osad, milles on võimalik mõni tund kestev suhteliselt ohutu viibimine vastase õhurünnaku ajal. Ka ei ole võimalik neid pidada täiesti ohututeks suuremakaliibrilise relvastuse (näiteks ballistiline rakett Iskander M) otsetabamuse korral.

Lähtudes Ukraina konfliktist pärinevast ning eelnevate uuringute (Avarmaa 2021) teabest, võib elu- ja ühiskondlike hoonete ohutuimaks piirkonnaks lugeda nende esimest ja eelkõige keldrikorrust. Sel põhjusel kontsentreerime oma uuringus eelkõige hoonete keldriruumide tehnilise tugevdamise võimalusele.

Lähtudes eeltoodust võib välja tuua peamised nõuded varjumiskohale:

1. Tagatud peab olema kaitse osaliselt varisenud hoone rusude poolt põhjustatud keldriruumide lae ja seinte kokkuvarisemise eest. Kaitset pakub eelkõige keldrite lagede toestamine;
2. Varjumiskoht peab olema varustatud tugeva sisse- ja väljapääsu uksega;
3. Tagatud peab olema kaitse aknaklaaside kildudest põhjustatud vigastuste eest. Sellist kaitset pakub eelkõige keldrikorruse akende katmine liivakottidega;
4. Tagatud peab olema õhu piisav hapnikusisaldus. Selleks peab varjumiskoht olema varustatud töökorras oleva ventilatsiooniga;
5. Tagatud peab olema minimaalne tolmuaitse vältimaks varisenud naaberhoonete konstruktsioonidest pärineva tolmu suuremahuliseks sissetungiks varjumiskohta;
6. Varjumiskoht peab olema varustatud avariivalgustusega elektrikatkestuste korraks;
7. Varjumiskohas peab olema töökorras sidevahend korralduste vastuvõtuks;
8. Vältimaks keldriruumide üleujutamist peavad vee ja kanalisatsiooni püstikud õhurünnaku ajaks olema suletud ja tühjaks lastud;
9. Tagatud peab olema minimaalselt 1,5 m² põrandapinda iga varjumiskohas viibiva inimese kohta;

10. Varjumiskoht peab olema varustatud pinkidega kõigile varjuvatele inimestele istumisvõimaluse tagamiseks;
11. Varjumiskohas peab olema joogivee mahuti või pudelites joogivesi arvestusega vähemalt 2...3 liitrit joogivett inimese kohta;
12. Varjumiskohas peab olema vähemalt üks eesriidega ümbritsetud kuivkäimla arvestusega üks käimla 25 inimese kohta;
13. Tagamaks inimeste väljapääsu varjumiskohast hoone võimaliku varingu korral, peab see olema varustatud vähemalt kahe sisse-/väljapääsuga.

Allikad:

[1] Annika Vohta „Eriotstarbeliste allmaarajatiste ehitamise võrdlev analüüs erinevates geoloogilistes tingimustes“ Magistritöö, juhendaja Tõnu Tomberg. Juurdepääsupiirang „ASUTUSESISESEKS KASUTAMISEKS“. Tallinna Tehnikaülikool, Tallinn 2019.

[2] Piret Avarmaa „Elanikkonna varjumise võimalused lahingutegevusega kaasnevate ohtude eest Ida-Virumaa näitel“ Magistritöö, juhendajad Mihkel Sildnik, Kairi Pruul. Sisekaitseakadeemia, Tallinn 2021.

[3] Pekka Rajajärvi „Väestonsuojien Rakentamisen historia ja käsikirja 1927-2016“, Helsinki 2016.

2 VÕIMALIKU ÕHURÜNNAKU TÕENÄOSED STSENAARIUMID

2.1 Tõenäosemad õhurünnakute objektid

Stsenaariumide aluseks on Vene Föderatsiooni poolt Ukrainas tsiviilobjektide ründamisel massiliselt kasutatud relvasüsteemide kasutamine Eestis suuremate linnade tsiviiltaristu vastu. Valisime tõenäoseimateks õhutõrjeraketisüsteemi S-300 ja tiibraketi Kalibr (3M-14). Eelnimetatud õhutõrjerakette on Vene Föderatsiooni relvajõud suurel hulgal kasutanud maapealsete sihtmärkide ründamisel, ka tiibrakette Kalibr on Vene Föderatsiooni relvajõud korduvalt kasutanud Ukraina tsiviiltaristu ja elamurajoonide ründamiseks.

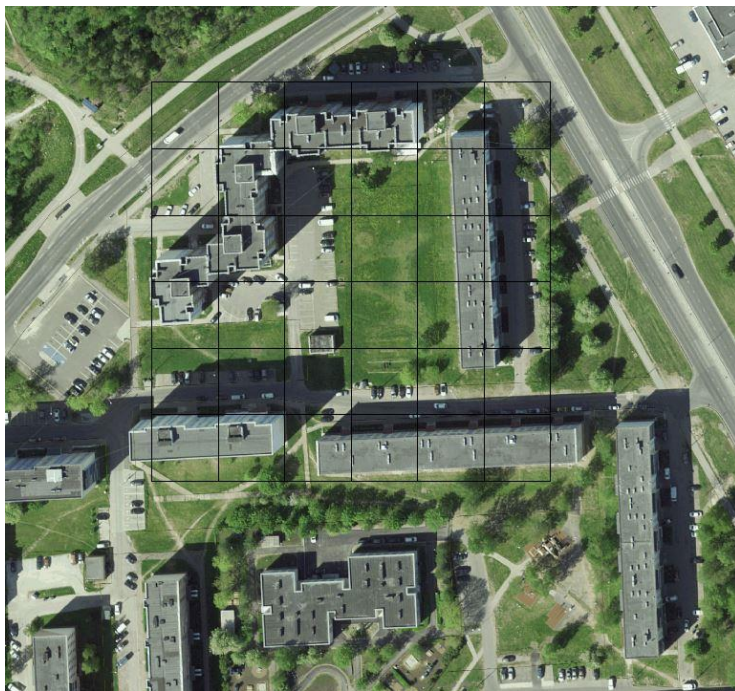
Lähtudes käesoleval ajal Ukrainas toimuva konflikti andmetest ründab vastane suure tõenäosusega tsiviilotstarbelist infrastruktuuri (elektrilajaamad, kütusehoidlad, raudteesõlmed jmt). Sageli asuvad sellised objektid tiheasustusega elualade vahetus läheduses. Võimalik, et tiheasustusega elamualade massilised tabamused Ukrainas on põhjustatud kasutusel olevate relvasüsteemide ebatäpsusest, kuid välistada ei saa ka tsiviilobjektide, sealhulgas tiheasustusega elamualade, sihilikku pommitamist terroristliku eesmärgiga.

Uuringu antud peatükis oleme piirdunud nimetatud relvasüsteemide tabamustega 25 ja 50 m kaugusele elamust. Detailsemalt on erinevate relvasüsteemide lõhkepeade plahvatuste mõjud (eelkõige plahvatuse dünaamiline ülerõhk ja impulss) esitatud käesoleva aruande lisas 1.

Mõne tõenäolise stsenaariumina võib välja pakkuda Eesti suuremate linnade (näiteks Tallinna või Tartu) tihedaima asustusega linnaosa (vastavalt näiteks Mustamäe, Lasnamäe või Annelinn) tabamise nn „infrastruktuuri objektide ründamisega“. Sellisel juhul võib rakett plahvatada maapinnal tiheasustusega alas 5- kuni 16-korruseliste elamute vahetus läheduses. Tõenäoliselt 20 kuni 50 m kaugusel. Joonistel 2.1 kuni 2.5 on esitatud mõnede tiheasustusega alade näited Eesti suueremates linnades. Jooniste algallikaks on Riigi Maa-ameti kaardirakendus. Visuaalse arusaadavuse huvides on kõigile joonistele kantud raster 25x25 m.



Joonis 2.1. Hoonete tihe paiknemine Jõhvis Toome pst piirkonnas



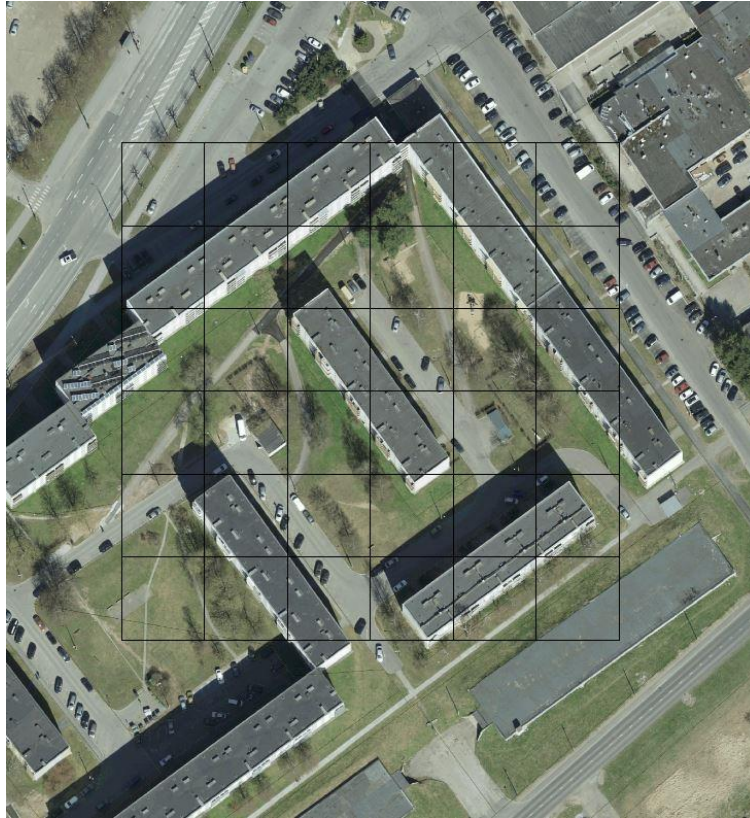
Joonis 2.2. Hoonete tihe paiknemine Narvas Rahu tänava piirkonnas



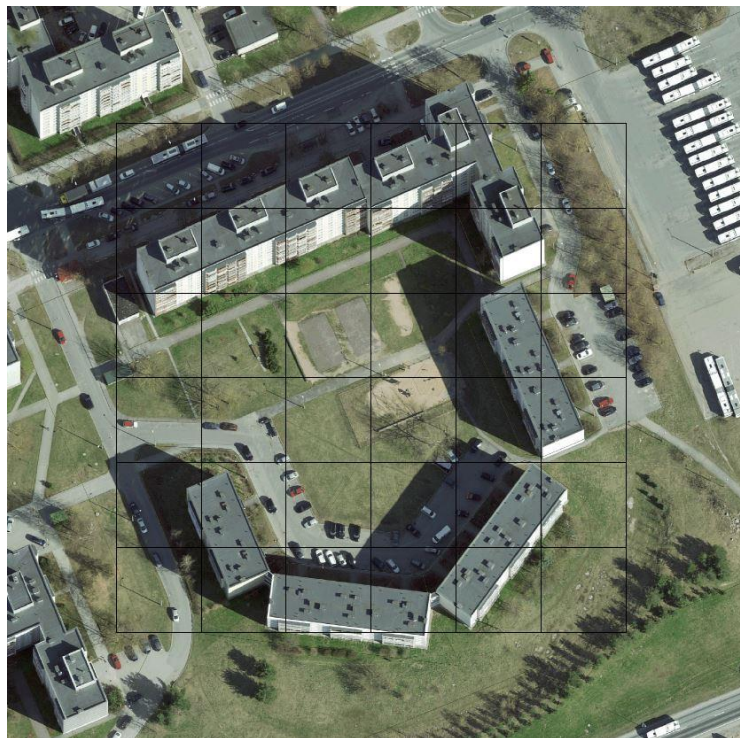
Joonis 2.3. Hoonete tihe paiknemine Pärnus Mai tänava piirkonnas



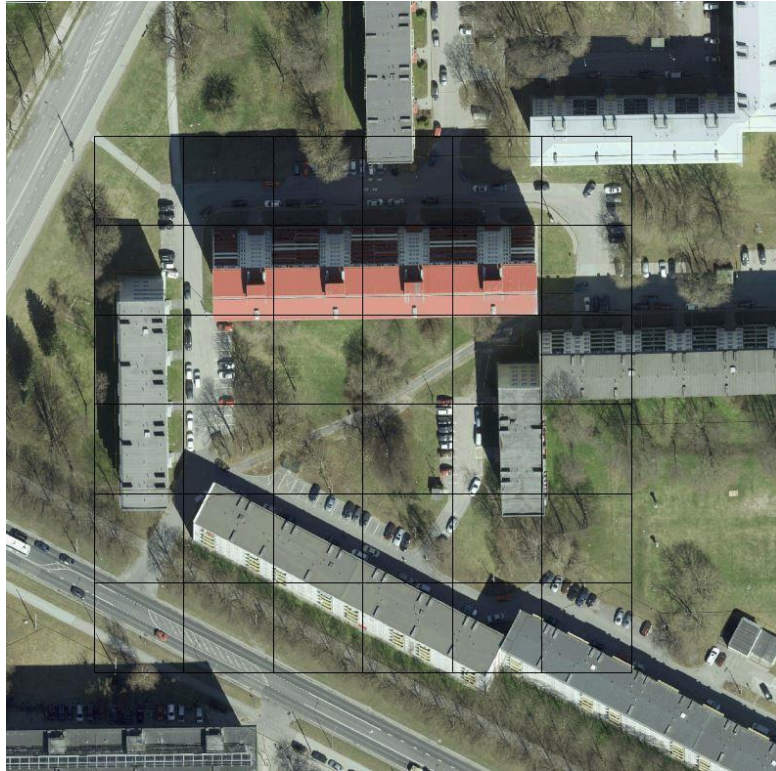
Joonis 2.4. Hoonete tihe paiknemine Tartus Kaunase pst piirkonnas



Joonis 2.5. Hoonete tihe paiknemine Tallinnas Õismäe teel



Joonis 2.6. Hoonete tihe paiknemine Tallinnas K. Kärberi tänaval



Joonis 2.7. Hoonete tihedat paiknemine Tallinnas E. Vilde tee piirkonnas

2.2 Tõenäoseimad rünnakustsenaariumid

Detailed arvutustulemused eri relvaliikide plahvatuste poolt tekitatavate purustuste kohta on esitatud lisa 1 tabelites 1 kuni 3.

2.2.1 Rünnak õhutorje raketisüsteemiga S-300

Raketi lõhkepea laengu mass taandatuna TNT-le on 100 kg. Selle detonatsioonil tekkiva õhulööklaine ülerõhk 25 m kaugusel on ligikaudu 38 kPa, mille puhul purunevad ehitise olulised konstruktsioonielemendid ning remondikulude maksumus jääb suurusjärku 50 kuni 90% täielikest asenduskuludest. Õhulööklaine impulss plahvatusel on ligikaudu 260 Pa·s, kuid arvestades eluhoonete tihedat paigutust, peegeldub see vahetus naabruses asuvatelt hoonetelt tagasi, mistõttu on hoonet tabava õhulööklaine impulss algsest vähemalt kaks korda suurem, ehk ligikaudu 520 Pa·s. Varjumata inimeste hukkamise tõenäosus (Fatality Factor) on üle 50%.

Raketi S-300 lõhkepea plahvatusel 50 m kaugusel elumajast on õhulööklaine ülerõhk ligikaudu 13 kPa, mis tekitab hoonele mõõdukaid kahjustusi, mille puhul remondimaksumus jääb ligikaudu 20% piiridesse täielikest asenduskuludest. Plahvatuse impulss on esialgselt üle

130 Pa·s, kuid lähtudes lööklaine peegeldumisest naaberehitistelt peab arvestama impulsi väärtusega vähemalt 260 Pa·s. Varjumata inimeste hukkumise tõenäosus jääb tõenäoselt 10% piiridesse.

2.2.2 Rünnak tübraketiga Kalibr (3M-14)

Raketi lõhkepea laengu mass taandatuna TNT-le on 625 kg. Selle detonatsioonil tekkiva õhulööklaine ülerõhk 25 m kaugusel on ligikaudu 120 kPa, mille puhul purunevad tavaehitised peaaegu täielikult ning remondikulude maksumus on suurusjärgus üle 90% täielikest asenduskuludest. Õhulööklaine impulss plahvatusel on ligikaudu 810 Pa·s, kuid arvestades eluhoonete tihedat paigutust, peegeldub see vahetus naabruses asuvatelt hoonetelt tagasi, mistõttu on hoonet tabava õhulööklaine impulss algsest vähemalt kaks korda suurem, ehk ligikaudu 1620 Pa·s. Varjumata inimeste hukkumise tõenäosus (Fatality Factor) on kuni 90%.

Raketi S-300 lõhkepea plahvatusel 50 m kaugusel elumajast on õhulööklaine ülerõhk ligikaudu 33 kPa, mis tekitab hoonetele tugevaid kahjustusi, mille puhul purunevad ehitise olulised konstruktsioonelemendid ning remondikulude maksumus jääb suurusjärku 50 kuni 90% täielikest asenduskuludest. Plahvatuse impulss on esialgselt üle 440 Pa·s, kuid lähtudes lööklaine peegeldumisest naaberehitistelt peab arvestama impulsi väärtusega vähemalt 880 Pa·s. Varjumata inimeste hukkumise tõenäosus on ligikaudu 50%.

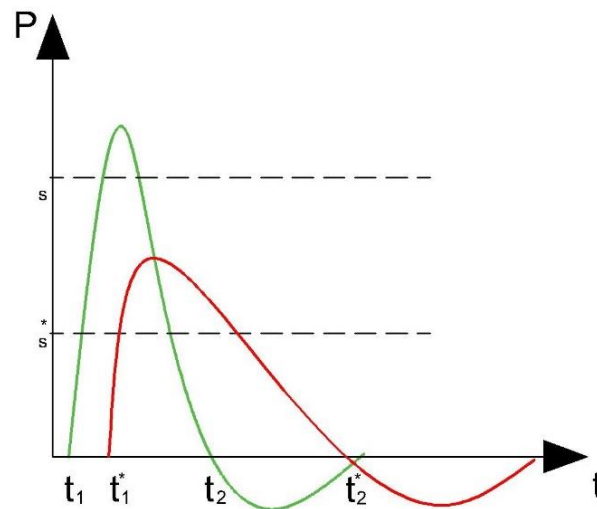
3 PLAHVATUSTE ANALÜÜS

Käesolevas uuringus käsitlesime vastase relvastuse peamise kahjustamise faktorina selle lõhkepeas oleva laengu plahvatuse lööklainet. Laialipaiskuvate kildude mõju on kasutatava relvastuse suure varieeruvuse tõttu äärmiselt raskelt prognoositav, liiatigi annab Ukraina konfliktipiirkonnast pärinev visuaalne andmestik teavet, et mitmesuguste hoonete/rajatiste kahjustused on eelkõige põhjustatud plahvatuse lööklaine dünaamilisest survest. Ka jäi detailsema uuringu alt välja naaberehitiste kokkuvarisemise seisiline mõju, mille ekvivalentmõju ehk ehitise varingule ekvivalentse maapinnal plahvatava lõhkeainelaengu mass jäi vähemalt suurusjärgu võrra vähemaks samal kaugusel plahvatava lõhkepea laengu massist.

Käesolevas uuringus analüüsisime asustatud kohas toimuva plahvatuse lööklaine põhiparameetreid projektiili plahvatamise kohas ning selle vahetus läheduses. Uuringus võeti võimalikuks kasutatavaks lõhkeaineiks etalonlõhkeaine trotüül (TNT), st teadaoleva relvastuse/lahingumoonala lõhkepea laengu mass taandati trotüülile. Analüüsis põhinesime NATO normatiivdokumentides ning varasemates töödes kasutatud meetodikale (AASTP-4 2005, Swisdak jt 2016, Talvik jt 2021, Tomberg jt 2022).

3.1 Plahvatuse lööklaine füüsikalised põhiparameetrid

Plahvatuse lööklainet iseloomustavad kvantitatiivselt selle tipprõhk ning impulss. Seejuures mehaanilist tööd (materjali purustamist/kahjustamist) iseloomustab, materjali tugevuspiiri ületamisel, lööklaine impulss. Lõhkeaine detonatsioonikiirus määrab lööklaine dünaamilise ülerõhu maksimumi ning impulsi kuju. Plahvatusimpulsi arväärtuse määrab lisaks maksimaalsele ülerõhule selle ajaline kestus ning plahvatusel tekkivate gaaside maht. Joonisel 3.1 on graafiliselt esitatud kahe erineva lõhkeaine plahvatuse ülerõhu sõltuvus ajast. Seejuures on roheline ning punase joonega esitatud vastavalt suurema ja väiksema detonatsioonikiirusega lõhkeaine plahvatuse dünaamiline rõhk.



Joonis 3.1. kahe erineva lõhkeaine plahvatuse lööklaine surve sõltuvus ajast. s ja s^* on erinevate materjalide dünaamilised survetugevused

Jooniselt 3.1 võib näha, et suurema detonatsioonikiirusega (joonisel roheline joonega) lõhkeaine plahvatus purustab materjale dünaamilise survetugevusega nii s kui s^* . Samas ei purusta väiksema detonatsioonikiirusega lõhkeaine (joonisel punane joon) materjali dünaamilise survetugevusega s , kuid purustab materjali, mille dünaamiline survetugevus on s^* .

Plahvatusimpulsi arvvärtus avaldub järgnevalt:

$$I = \int_{t_1}^{t_2} P dt \quad (\text{Pa} \cdot \text{s})$$

Kus ajavahemik t_1 kuni t_2 on impulsi positiivse faasi (ülerõhu) ajaline kestus. Plahvatusimpulsi mõõtühikuks kasutatakse tavaliselt $\text{Pa} \cdot \text{s}$, mis SI põhiühikutes väljendatuna on $\frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}}$.

3.2 Taandatud kauguse mõiste

Uuringus kasutatud empiirilistes võrrandites esineb olulise parameetrina taandatud kauguse mõiste.

Taandatud kaugus (ingl. k. *Scaled Distance*) on maailmapraktikas lööklaine prognoosimisel üldkasutatav tinglik suurus, mis arvestab plahvatava lõhkeaine massi ning plahvatuskoha kauguse koosmõju. Taandatud kaugus (D_s) leitakse järgmise võrrandiga:

$$D_s = dQ^n,$$

Kus:

d – kaugus plahvatuskohast (m);

Q – plahvatav lõhkeainekogus (kg).

Maailmapraktikas kasutatakse lööklaine prognoosimisel astendajat $n = -1/3$, sest lööklaine pinda võib tinglikult käsitleda sfäärilise või poolsfäärilise pinnana. Seega on taandatud kauguse mõõtühikuks $\frac{m}{\sqrt[3]{kg}}$.

3.3 Plahvatuse põhiparameetrite arvutusmeetodika

Käesolevas uuringus käsitlesime tiheda paigutusega hoonete vahel toimuvaid plahvatusi, mille puhul prognoosisime erinevate lõhkeainekoguste plahvatuse lööklaine dünaamilise ülerõhu ja plahvatusimpulsi arväärtusi erinevatel kaugustel plahvatuse toimumise kohast.

Plahvatava lõhkeaine kogused valisime vastavalt tõenäoselt kasutatavale relvasüsteemile 100 kuni 800 kg TNT ekvivalendis.

Kaugused plahvatuse asukohast valisime järgmistest kaalutlustest lähtuvalt:

Miimumkaugus – 25 m ehitisest

Maksimumkaugus – kaugus, mille puhul plahvatuse dünaamiline ülerõhk ei ületa 9 kPa, st ülerõhu selline väärtus ei tekita elamule olulisi purustusi. Vt lisa 1 tabel 1.

Õhulööklaine dünaamilise ülerõhu prognoosiks kasutasime empiirilist võrrandit:

$$P = e^{(A+B \cdot [\ln(ds)] + C \cdot [\ln(ds)]^2 + D \cdot [\ln(ds)]^3 + E \cdot [\ln(ds)]^4 + F \cdot [\ln(ds)]^5 + G \cdot [\ln(ds)]^6)} \quad (\text{kPa}),$$

kus:

P – dünaamiline ülerõhk (kPa) ja ds – taandatud kaugus ($\frac{m}{\sqrt[3]{kg}}$)

A, B, C, D, E, F ja G – taandatud kaugusest sõltuvad empiirilised konstandid (vt tabel 3.1)

Tabel 3.,1

Ülerõhu määramise empiiriliste konstantide sõltuvus taandatud kaugusest

Taandatud kaugus D_s ,	Empiirilised konstandid						
	A	B	C	D	E	F	G
$0,2 < D_s < 2,9$	7,2106	-2,1069	-0,3229	0,1117	0,0685	0	0
$2,9 < D_s < 23,8$	7,5938	-3,0523	0,40977	0,0261	-0,01267	0	0
$23,8 < D_s < 200$	6,0536	-1,4066	0	0	0	0	0

Õhulööklaine impulss sõltub lisaks tekkivale ülerõhule otseselt ka plahvatavast lõhkeainekogusest. Maailmapraktikas kasutatakse sageli taandatud impulsi mõistet, mille abil saab järgneva võrrandi abil leida plahvatusimpulsi arvvaartuse:

$$I = /_s \sqrt[n]{Q} \text{ (Pa}\times\text{s või } \frac{kg}{m^*s}),$$

Kus:

I_s – taandatud impulss ($\frac{Pa \times s}{\sqrt[3]{kg}}$);

Q – plahvatav lõhkeainekogus (kg).

Maailmapraktikas kasutatakse lööklaine põhiparameetrite prognoosimisel astendajat $n = -1/3$, sest õhulööklaine pinda võib käsitleda sfäärilise pinnana.

Plahvatuse lööklaine taandatud impulss on prognoositav järgmise võrrandiga:

$$I_s = e^{(A+B \cdot [\ln(ds)] + C \cdot [\ln(ds)]^2 + D \cdot [\ln(ds)]^3 + E \cdot [\ln(ds)]^4 + F \cdot [\ln(ds)]^5 + G \cdot [\ln(ds)]^6)} \left(\frac{Pa \times s}{\sqrt[3]{kg}} \right)$$

Kus

ds – taandatud kaugus ($\frac{m}{\sqrt[3]{kg}}$)

A, B, C, D, E, F ja G – taandatud kaugusest sõltuvad empiirilised konstandid (vt tabel 3.2)

Tabel 3.2

Plahvatusimpulsi määramise empiiriliste konstantide sõltuvus taandatud kaugusest

Taandatud kaugus Ds,	Empiirilised konstandid						
	A	B	C	D	E	F	G
0,2<Ds<0,96	5,522	1,117	0,6	-0,292	-0,087	0	0
0,96<Ds<2,38	5,465	-0,308	-1,464	1,362	-0,432	0	0
2,38<Ds<33,7	5,2749	-0,4677	-0,2499	0,0588	-0,00554	0	0
33,7<Ds<200	5,9825	-1,062	0	0	0	0	0

Plahvatusimpulsi arvvaartuse leidmiseks tuleb leitud taandatud impulsi väärtus korrutada kuupjuurega laengu massist.

Mõlemas empiirilises võrrandis esitatud empiirilised konstandid on tuletatud erinevate plahvatuste analüüsidel põhinevate empiiriliste andmete alusel. Kirjanduse andmetel on nende konstantide usaldusväärsus $\pm 1\%$. Sellist määramatust võib pidada tolereeritavaks, sest ülahinematud võrrandite väljatöötamisel erinesid analüüsitud plahvatused $\pm 20\%$ võrra.

Täiendavalt arvestasime impulsi arvutustes asjaolu, et seoses sellega, et hooned paiknevad tihedalt, peegeldub plahvatuse lööklaine korduvalt naabruses asuvate hoonete seintelt ning muutub ülerõhu vähenedes ajaliselt kauem kestvaks. Seetõttu võtsime impulsi tegeliku väärtuse kaks korda suurema arvutuslikust.

Allikad:

[1] Allied Ammunition Storage and Transport Publication (AASTP) AASTP-4 (Edirion 1) Manual on Explosives Safety Risk Analysis, NATO, September 2005;

[2] Karlos V, Solomos,G, Larcher M „Analysis of the blast wave decay coefficient using the Kingery-Bulmash data“ International Journal of Protective Structures Vol. 7(3), pp 409-429, 2016

[3] Swisdak M M, Ward J M „The DDESB Blast Effects Computer – Version 4.0“ Minutes of the 29th DoD Explosives Safety Seminar, July 2000.

[4] Ivar Talvik jt „Rail Baltic Ülemiste terminali plahvatuskindluse analüüs“, Tallinna Tehnikaülikool, vastutav täitja Ivar Talvik, Tallinna Tehnikaülikool, Tallinn 2021.

[5] Ivar Talvik jt „Rail Baltic Pärnu terminali plahvatuskindluse analüüs“, Tallinna Tehnikaülikool, vastutav täitja Ivar Talvik, Tallinna Tehnikaülikool, Tallinn 2021.

[6] Tõnu Tomberg jt „Kinnise lõhkamiskoha modelleerimine“, vastutav täitja Tõnu Tomberg, Tallinna Tehnikaülikool, Tallinn 2022.

4 E HITUSTEHNILISED MEETMED

Eelneva analüüsi tulemusena selgus, et piisavat kaitset kineetiliste ohtude eest ei paku suure purustusjõuga projektiilide eest elanikkonnale pea ükski analüüsitud ehitiste tüüpidest.

Lööklainest tekkiv rõhk mõjub hoone konstruktsioonide välispinnale ning ka sisepindadele. Sõltuvalt laengu suurusest, kaugusest ja paiknemisest võib plahvatuse lööklaine mõju olla suurtes piirides erinev. Võimalike purustuste ulatust erinevate stsenaariumite korral on kirjeldatud vahearuandes ptk. 2.4 ja käesolevas aruandes ptk. 2.2. Mõningatel juhtudel võib mõõduka purustusjõuga relva tabamus kahjustada hoonet ainult osaliselt. Hoone purustuse ulatus sõltub sel juhul konstruktsioonide vigastustaluvusest (ingl. k. *robustness*). Vigastustaluvus tähendab konstruktsioonisüsteemi võimet kohaliku kahjustuse mõju levikut piirata nii, et konstruktsioonisüsteemi kandva elemendi vigastuse korral ei kandu vigastus ahelreaktsioonina edasi osadesse, mis esialgselt mõjust ei purunenud, ning konstruktsioonisüsteemi üldine vigastus ei ole ebaproportsionaalse ulatusega algse vigastusega võrreldes. Hea vigastustaluvuse korral jääb vigastus lokaalseks ja muud hoone osad püsivad. Käesoleval ajal on vigastustaluvus projekteerimisstandardite nõuetes esitatud (projekteerimisstandardid EVS-EN 1990, EVS-EN 1991-1-7, EVS-EN 1992-1-1 jt). Otsesed arvutusmeetodid vigastustaluvuse määramiseks kas puuduvad või on keerulised igapäevases projekteerimises kasutamiseks. Kasutatavad üldpõhimõtted ja konstruktiivsed nõuded tagavad siiski tüüpiliste hoonelahenduste vigastustaluvuse standardis ettenähtud ohutustasemel. Vigastustaluvuse nõue oli kehtestatud projekteerimismeeskonnas ka NSVL ajal. Kui vigastustaluvuse juhiseid on järgitud, siis see aitab kaasa hoone konstruktsioonisüsteemi püsivusele kohaliku vigastuse korral ning võib suurendada ka tõenäosust, et ootamatu rünnaku korral ei teki ahelvaringut ja hoone ei varise täielikult. Samas ei saa sellele kaalutlusele tugineda inimeste ohutuse tagamisel lahingumoonas plahvatuse korral. Analüüsides hoonete tüüpeid konstruktsioonilahendusi võiksid varjumiseks sobida ainult hoonete maa-alused korrused. Hoonete varjumiseks sobivuse hindamisel tuleb arvestada konstruktsioonitüübiga. Sageli on kaasaegsetel raudbetoonkarkassiga hoonetel kergkonstruktsioonist elementidest välisfassaadid. Need on hoones ja selle läheduses viibijatele plahvatuse mõjul üliohtlikud lendavate fragmentide ja klaasikildude tõttu. Sageli on sellistel hoonetel maa-alused parklad, mille sobivust varjumiskohana võib kaaluda. Raudbetoonist hoonetel tuleb arvesse võtta parkla lae konstruktsiooni. Varjumiseks üldjuhul ei sobi pingebetoonist vahelagedega ruumid (näit. nagu

Aiandi tee 3/1 Tallinnas, parkla esimesel korrusel). Pingearmatuuri katkevenivus on väiksem kui tavaarmatuuril ja need elemendid purunevad palju väiksema läbipainde juures kui tavaarmatuuriga elemendid. Hapra purunemise riski lisab kontsentreeritud pingelolukord pingearmatuuri ankurdamisel. Samuti tuleb arvestada lööklaine koormuse puhul negatiivse rõhu võimalusega, kus koormus mõjub vastupidiselt tavalisele gravitatsioonilisele koormusele. Pingebetoonist vahelagede töötamist plahvatuskoormuse mõjumisel on uuritud ning seda konstruktsioonitüüpi võib plahvatuskoormuse vastuvõtmisel teatud määral arvestada, kuid selle hindamiseks vajalik arvutus ja selle kaudu riski vähendamine on keerukas ja praktikas kasutatavate tulemuste valik on piiratud.

Järgnevalt on käsitletud hoonetüüpe, mille puhul varjumiskohaks vajalike tingimuste loomine oleks tehniliselt võimalik suhteliselt lihtsate/käepäraste vahenditega. Silmas tuleb pidada, et ühelgi juhul ei ole võimalik mõistlike kulutustega saavutada varjendile või pommivarjendile vastavaid tingimusi.

4.1 Suurpaneelalamud

4.1.1 Üldist

Tinglikult võib käsitletutest suurimat kaitset pakkuvaks elamutüübiks lugeda suurpaneelalamuid. Seejuures elab seda tüüpi hoonetes enim linnade ja suuremate asulate elanikkonnast. Suuremad suurpaneelalamute piirkonnad, kus hooned on rajatud tüüpprojektide järgi, asuvad Tallinnas Mustamäel, Õismäel, Lasnamäel ja Tartus Annelinnas ning mujal.

Hoonele plahvatuse lööklaine poolt avaldatav mõju sõltub paljudest asjaoludest ja seetõttu on ühe või teise relvatüübi võimaliku mõju piiritlemine hoone konstruktsioonidele paratamatult ligikaudne. Suurpaneelalamutel on ka käsitletud hoonetüüpidest kõige parem vigastustaluvus. Nende puhul on kandev süsteem igal korrusel moodustatud paljudest üksteise suhtes ristasandis asetsevatest seintest, s.t. suhteliselt hajutatuna. Vahelaeplaadid on toetatud kõikide nelja servaga seintele ning elemendid on omavahel ühendatud. Kuigi suurpaneelalamu võib kohaliku tabamuse korral või lööklaine mõjul võib osaliselt püsima jääda, ei saa püsima jäämise ulatuses kindel olla ning seetõttu ei saa ka nende hoonete puhul arvestada, et on võimalik tagada hoones viibivate inimeste ohutus. Edaspidises lähtutakse vahearuande ptk. 2.4 ja käesolevas aruandes ptk. 2.2 kirjeldatud stsenaariumitest, kus plahvatus toimub teatud kaugusel eluhoonest. Sel juhul mõjub plahvatus hoonele ja inimestele peamiselt lööklainena. Lööklainest tekkiv rõhk mõjub hoone konstruktsioonide välispinnale ning ka sisepindadele. Hoone võib

osaliselt või suurel määral variseda. Inimeste varjumine oleks võimalik keldris (soklikorrusel). Keldri (soklikorruse) laepaneel ja seinad peavad sel juhul vastu võtma hoone varisemisest tekkiva koormuse ning vältida tuleb ka lööklaine mõju keldri sisepindadele. Käesolevalt on valitud kaks stsenaariumi.

1. Keldri laele mõjuv koormus plahvatuse tagajärjel on ~25 kPa. Hoone ei ole täielikult purunenud.

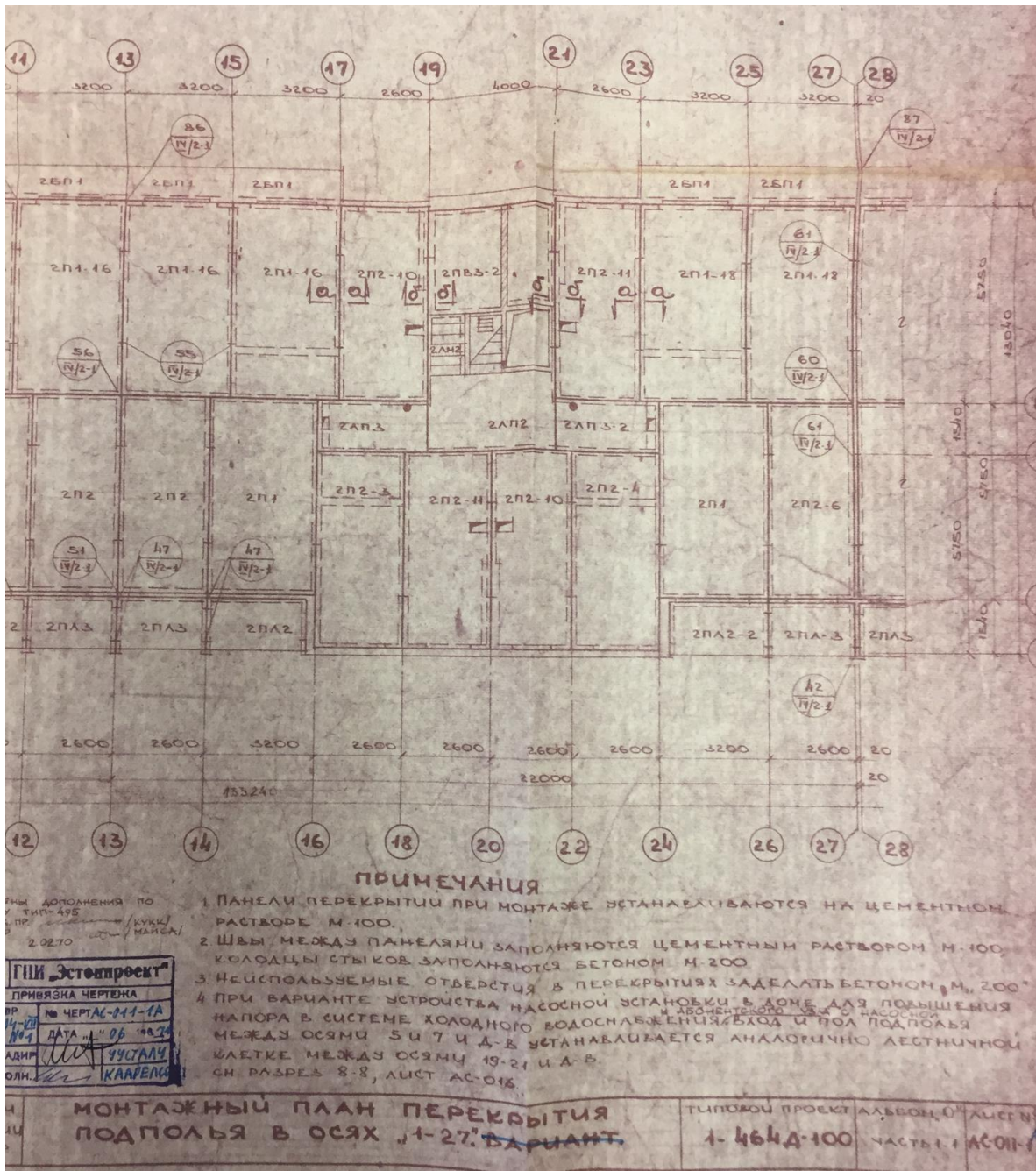
2. Hoone täielikust varisemisest keldri laele põhjustatud koormus on hinnanguliselt keldri kohal olevate konstruktsioonide omakaalukoormus, mida on suurendatud võimaliku dünaamilise mõju tõttu, väärtuseks on ~80 kPa.

Stsenaariumite valik edasises varjumisvõimaluste kavandamises ja projekteerimises konkreetsele objektile peaks põhinema detailsel ohuhinnangul ja riskide analüüsil. Vastavalt täpsustatud ohuhinnangule, täiendavate stsenaariumite valikule ning konstruktsioonimudelile analüüsile saab esitatud baaslahendustest lähtudes luua olukorrale vastavaid modifikatsioone.

4.1.2 Keldri (soklikorruse) laepaneeli arvutus

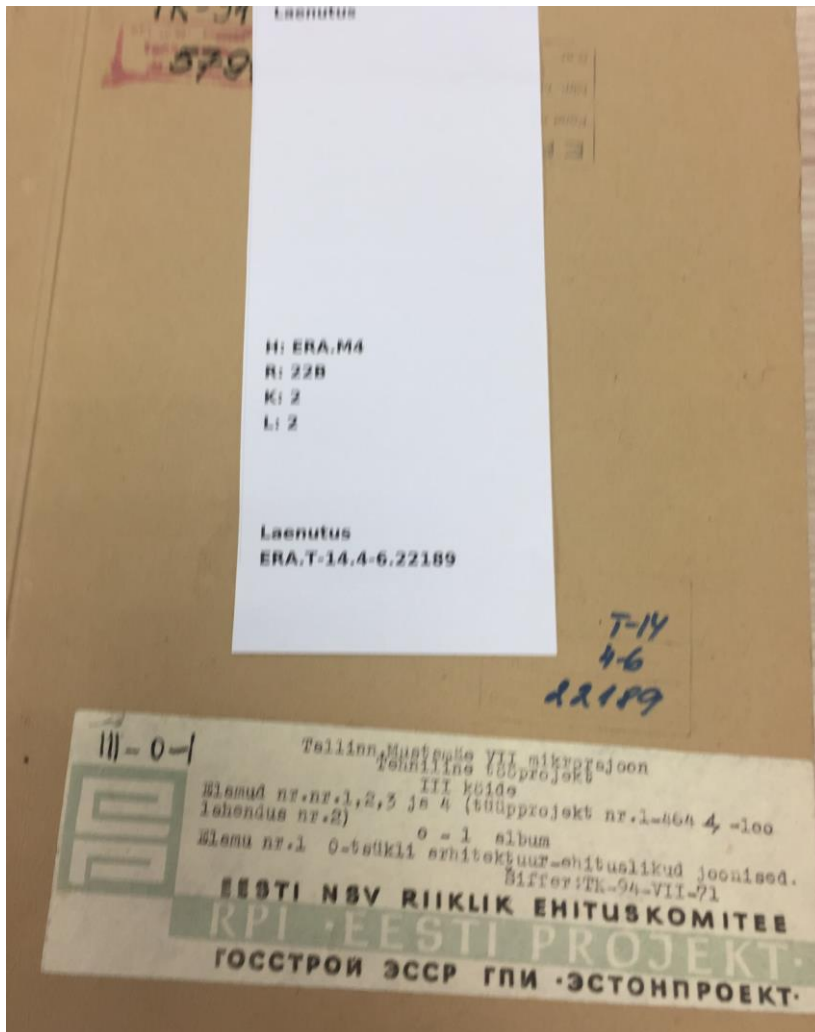
Suurpaneelilamu keldrilae kandevõime hindamiseks ja tugevduslahenduste kavandamiseks on tehtud tüüpse laepaneeli tüüpprojekti 1-464A alusel arvutus. Eeldatud on, et analoogse kandevõimega ja mõõtmetega paneele on kasutatud 5- ja 9- korruseliste suurpaneelilamute keldrite laepaneelidena.

Suurpaneelmajade vahelaeplaatide plaani fragment on esitatud joonisel 4.1.



Joonis 4.1. Laepaneelide jaotus. Paneelide tüübid III ja II2.

Joonise 4.1 andmed on võetud riigiarhiivi leiust ERA.T-14.4-6.22189. Vt joonis 4.2.



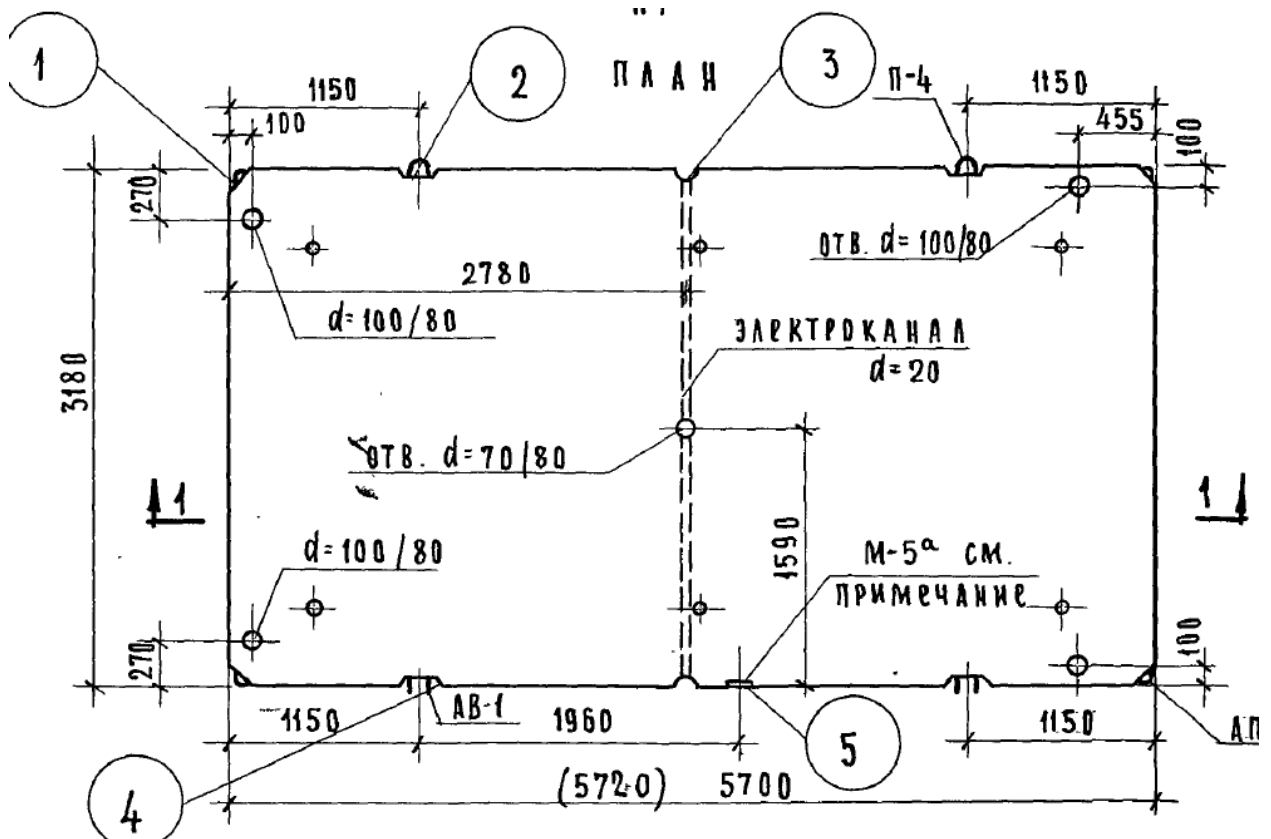
Joonis 4.2. Suurpaneelhoone projekti esikaas.

Suurpaneelmajade vahelagede plaat П1 on valmistatud raudbetoonist mõõtmetega 5,7x3,18 m paksusega 100 mm. Plaat П2 on mõõtmetega 5,7x2,58m. Plaadid toetuvad perimeetril monteeritavatele raudbetoonist seintele paksusega 140 mm.

Paneelidele П1 ja П2 on lubatavaks koormuseks arvestades läbipainet 223 kg/m^2 ja purustavaks koormuseks kontrollkatsetel $\geq 556 \text{ kg/m}^2$. Kontrollkatsetel on paneel toetatud perimeetril. Koormused ei sisalda paneeli omakaalust mõjuvat koormust, mille normväärtus on 250 kg/m^2 .

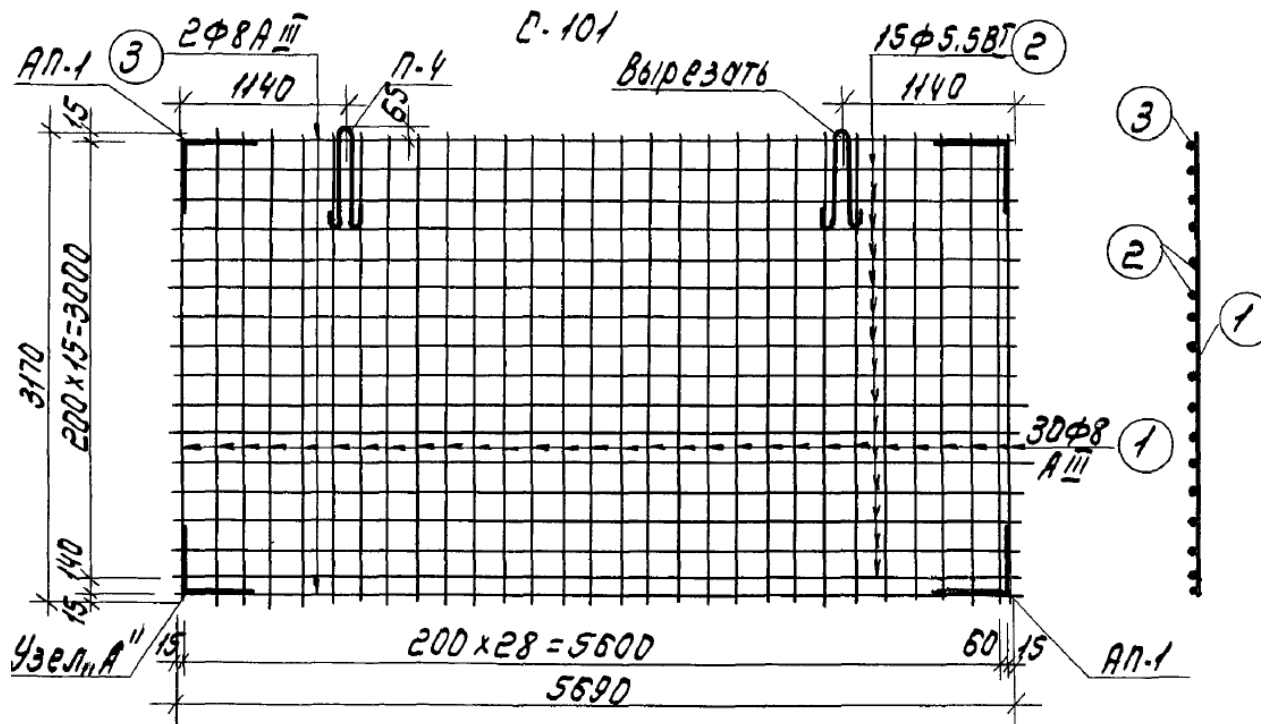
Mõlema paneeli arvutuslik koormus on 578 kg/m^2 . Arvutusliku koormuse varutegurite süsteem vastab СНиП-i eeskirjadele.

Paneeli П1 kujujoonis on esitatud joonisel 4.3.



ПОКАЗАТЕЛИ НА ИЗДЕЛИЕ		
МАРКА ИЗДЕЛИЯ		П1
ВЕС	КГ	4530
ОБЪЕМ БЕТОНА	М ³	1.81
ВЕС СТАЛИ	КГ	69.01
РАСХОД СТАЛИ НА 1М ³ БЕТОНА	КГ	38.13
МАРКА БЕТОНА	-	200

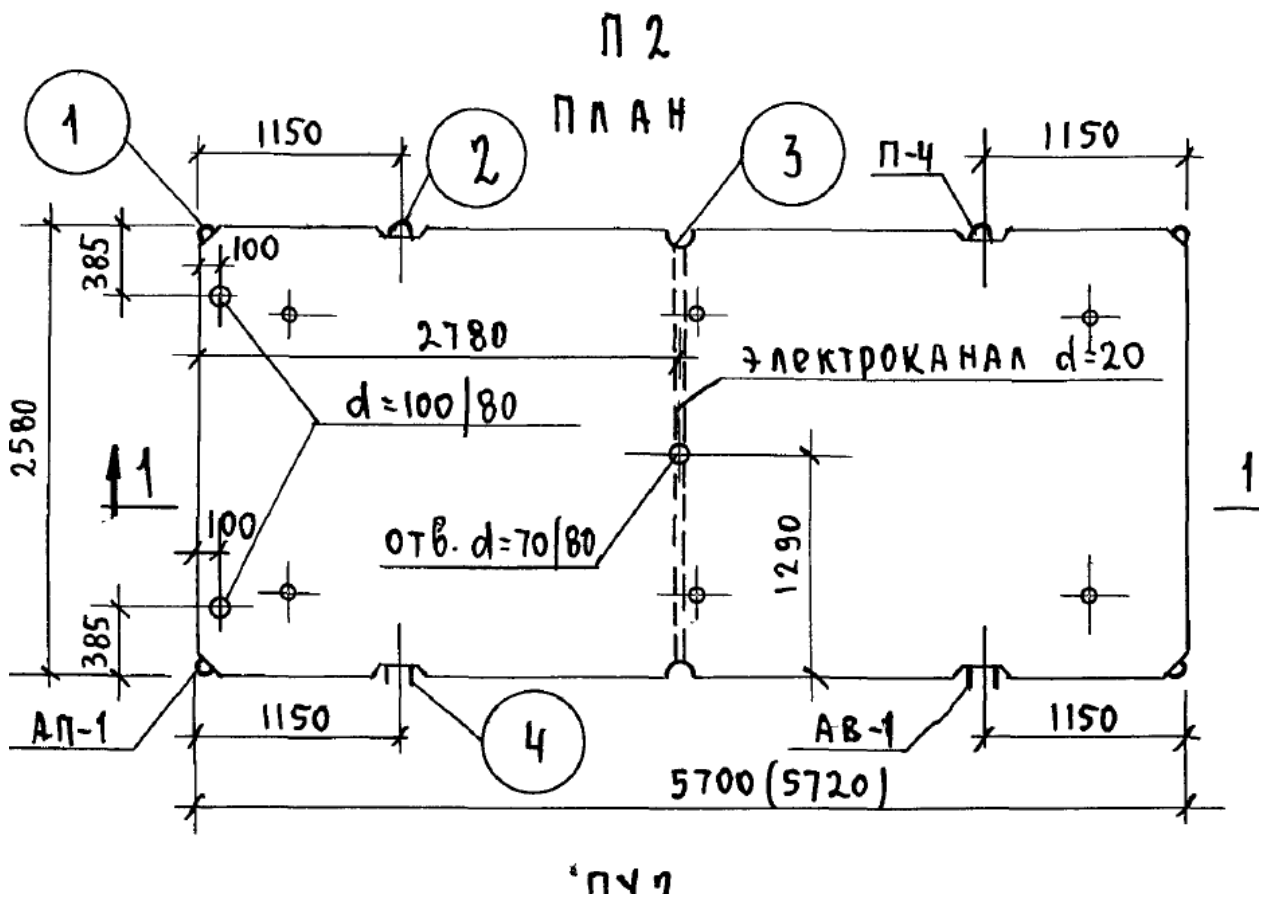
Joonis 4.3. Paneeli П1 kujujoonis koos materjali andmetega



Спецификация арматуры на элемент					Выборка арматуры на элемент					
Марка элемента	НН поз.	Диаметр и класс стали	Длина мм.	Кол. шт.	Общая длина м	R _a кг/см ²	Диаметр и класс стали	Общая длина м	Общий вес в 1 метре	Вес элемента кг
C-101	1	Ф8АIII	3170	30	95.10	3400	Ф8АIII	105.48	42.06	65.69
	2	Ф5.5ВI	5690	15	85.35	3150	Ф5.5ВI	85.35	16.05	
	3	Ф8АIII	5690	2	11.38					
Ап-1				4					3.72	
П-4		СМ. ЛУСТ № 31		2					3.86	

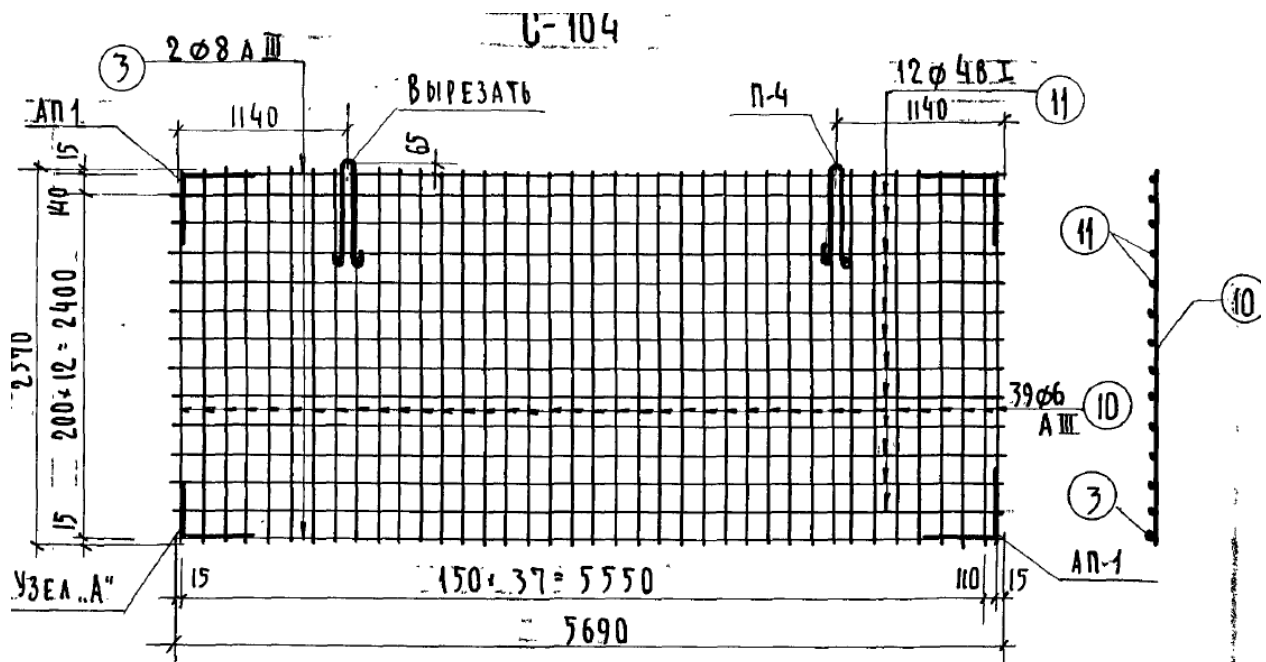
Joonis 4.4. Paneeli III sarrus

Paneeli П2 kujujoonis on esitatud joonisel 4.5 ja sarrus joonisel 4.6.



Показатели на изделие		
Марка изделия		П 2
Вес	кг	3680
Объем бетона	м ³	1.47
Вес стали	кг	43.65
Расход стали на 1 м ³ бетона	кг	29.70
Марка бетона	—	200

Joonis 4.5. Paneeli П2 kujujoonis koos materjali andmetega

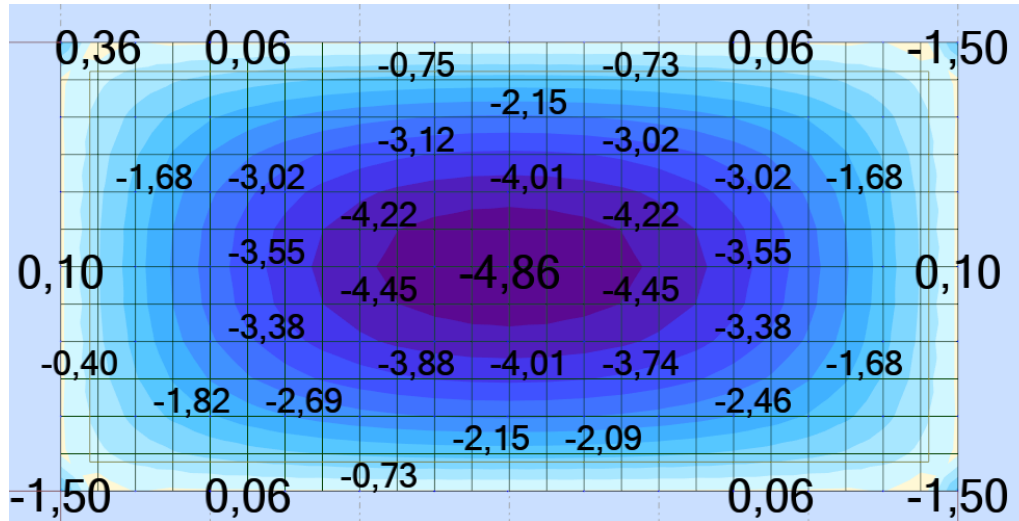


СПЕЦИФИКАЦИЯ АРМАТУРЫ НА 1 ЭЛЕМЕНТ						ВЫБОРКА АРМАТУРЫ НА 1 ЭЛЕМЕНТ				
МАРКА ЭЛЕМЕНТА	ГР. ПОЗ.	ДИАМЕТР И КЛАСС СТАЛИ	ДЛИНА ММ.	КОЛ. ШТ.	ОБЩАЯ ДЛИНА М	Ra КГ/СМ ²	ДИАМЕТР И КЛАСС СТАЛИ	ОБЩАЯ ДЛИНА М	ОБЩИЙ ВЕС ДИАМЕТРА КГ	ВЕС ЭЛЕМЕНТА КГ
С-104	10	φ6AIII	2570	39	100,23	3400	φ6AIII	100,23	22,25	41,09
	11	φ4BII	5690	12	68,28	3400	φ8AIII	11,38	4,50	
	3	φ8AIII	5690	2	11,38	3150	φ4BII	68,28	6,76	
АП-1				4					3,72	
П-4		СМ. ЛИСТ П-131		2					3,86	

Joonis 4.6. Paneeli П2 sarrus

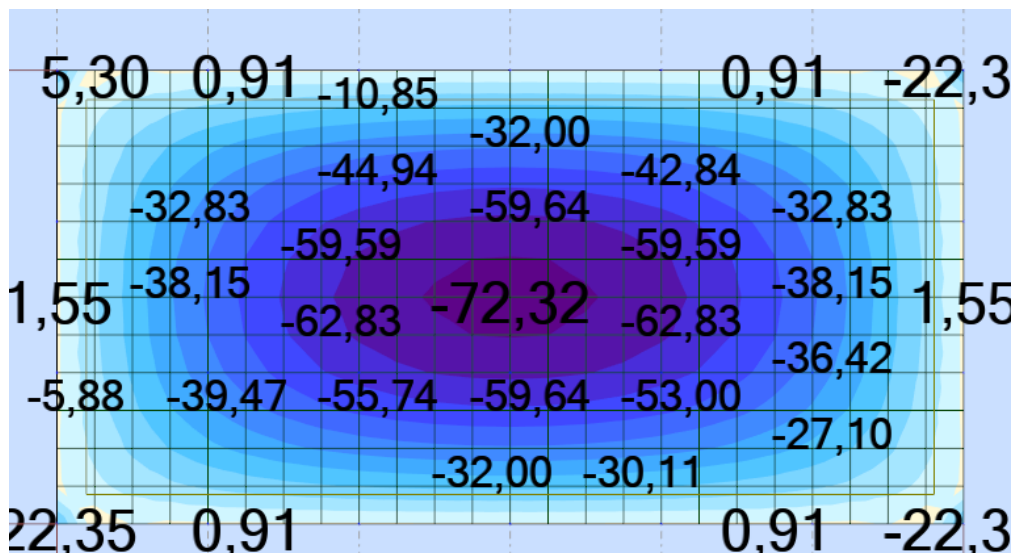
Arvutustes arvestatud ülerõhk on 80 kN/m^2 . Sama suur on ka eeldatav varingukoormus.

Laepaneeli III paindemomentide (kNm/m) jaotus tavalise eksploatatsioonikohase kasuskoormuse mõjumisel on esitatud alljärgneval joonisel 4.7.



Joonis 4.7. Paneel III töötamine tavaolukorras. Paindemomendid kNm/m .

Kui rakendame paneelile ülerõhu, on selge, et paneel ilma lisatugedeta pole võimeline seda vastu võtma. Joonisel 4.8 on paindemomentide jaotus ülerõhust 80 kN/m^2 .



Joonis 4.8. Paindemomendid lisatoetuseta paneelis koormusest 80 kN/m^2 .

Paneel on külgede suhtega $<1/2$, mistõttu toetatud paneel on ühes suunas töötav. Arvutuslikuks armatuuriks on $\varnothing 8$ AIII sammuga 200 mm. $A_s = 251 \text{ mm}^2$. Arvutuslikuks tugevuseks plahvatusel tekkiva ülerõhu arvutustes on võetud 390 N/mm^2 .

Betooni paksuseks on 100 mm, armatuuri kaitsekiht on 10 mm. Kasulik kõrgus on seega 86 mm.

Betooni tugevuseks plahvatuslega seotud arvutustes võtame 15 N/mm^2 . Kui arvutuslikuks paindemomendiks on $M_{Ed} = 8,1 \text{ kNm/m}$, siis saame järgmised tulemused

$$\text{Tegur } \mu = 0,07301 < \mu_c$$

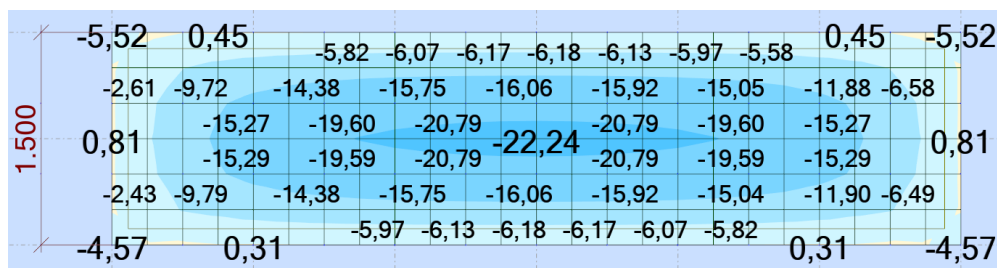
Survetsooni suhteline kõrgus $\omega = 0,07589$ ja vajalik armatuuri kogus $A_{s1} = 251 \text{ mm}^2$.

Paneeli armatuur $\varnothing 8$ AIII on võimeline töötama paindemomendile $8,1 \text{ kNm/m}$, mis on väiksem ülerõhust põhjustatud paindemomendist 72 kNm/m 1m laiuse riba kohta. Seega ei ole paneeli kandevõime piisav eeldatud ülerõhuga koormust vastu võtma.

Laepaneeli kandevõime suurendamiseks asetame paneeli alla toetala koos postidega paneeli keskele piki paneeli jaotades paneeli kaheks 1,5 laiuseks ribaks.

Ülerõhust tekib sellisel juhul paneeli alla asetatud toetala kohal plaadi ülemises kihis normaalpragu, mille tõttu plaat töötab kahe lihttalana silletega 1,5 ja 1,5 m.

Alljärgneval joonisel 4.9 on näidatud poole paneeli paindemomendid koormusest 80 kN/m^2 .



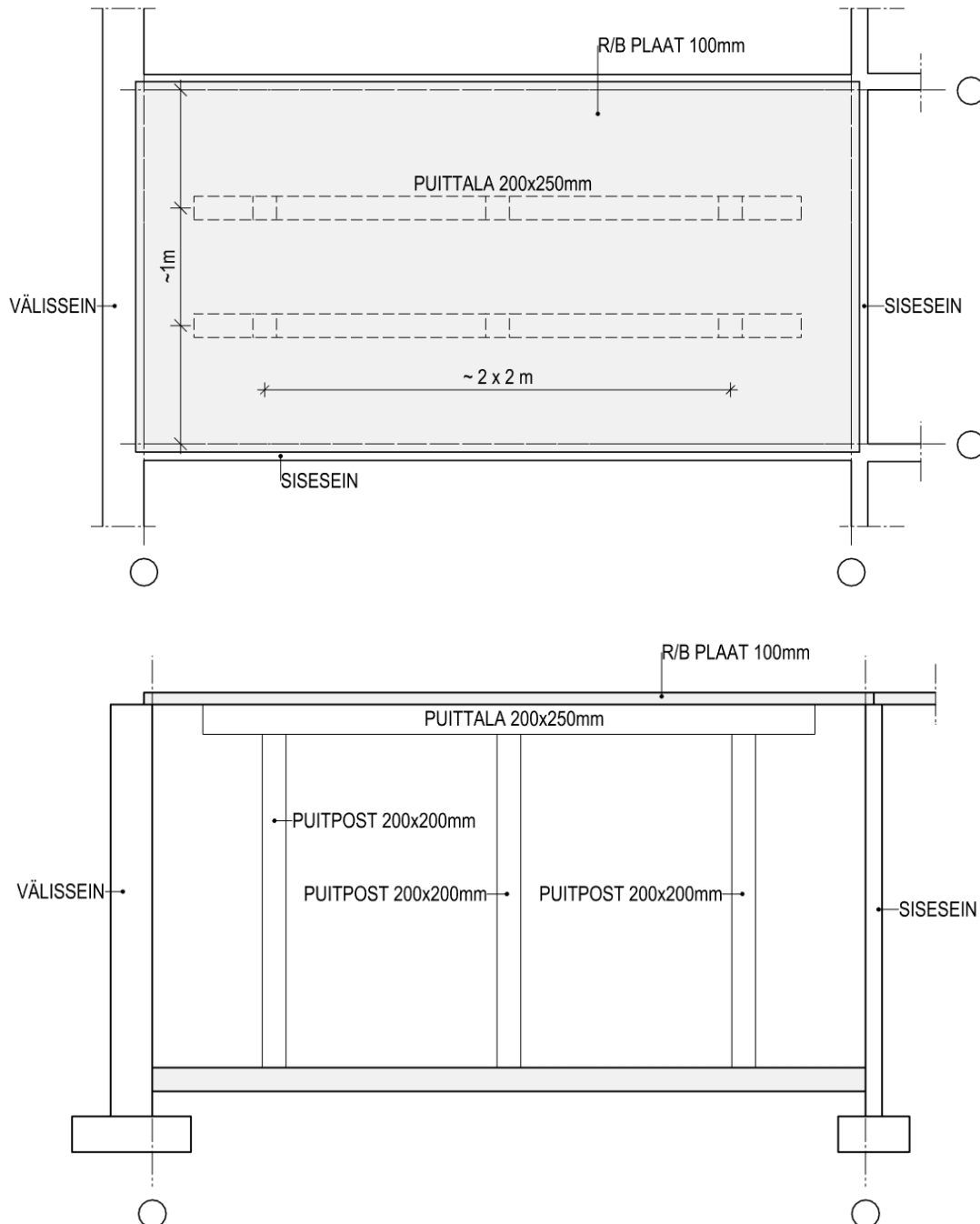
Joonis 4.9. 1,5 m laiuse riba paindemomendid koormusest 80 kN/m^2 .

Näeme, et ülerõhu 80 kN/m^2 vastu võtmiseks ei piisa toest plaadi keskel. Toestame plaadi taladega sammuga 1m. Selleks tuleb plaadi alla asetada kaks tala, mis toetuvad postidele.

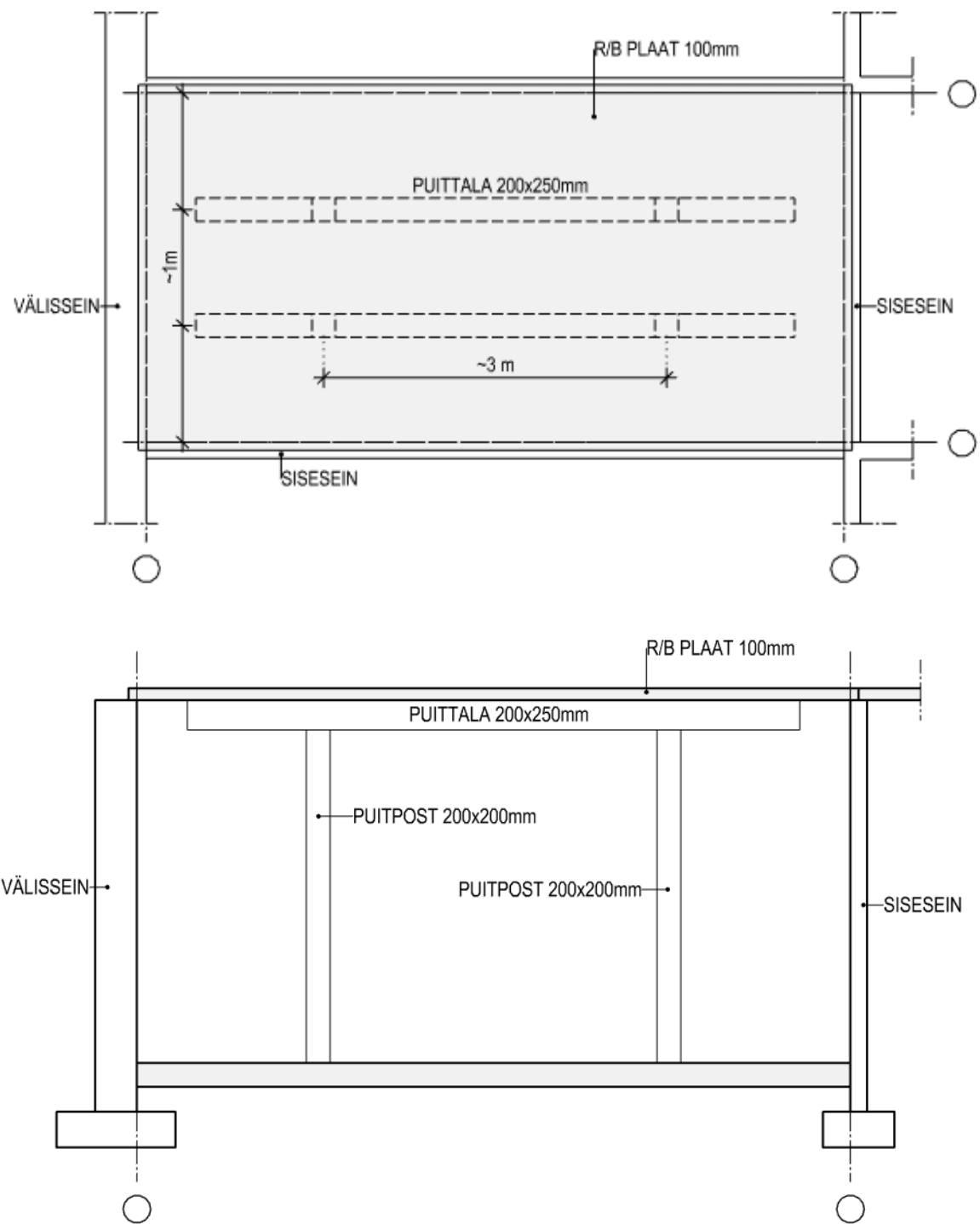
$M_{sd} = 80 \cdot 0,9^2 / 8 = 8,1 \text{ kNm/m}$. Selle momendi vastuvõtmiseks on plaadis piisav armatuur olemas.

4.1.3 Soklikorruse lae tugevdus

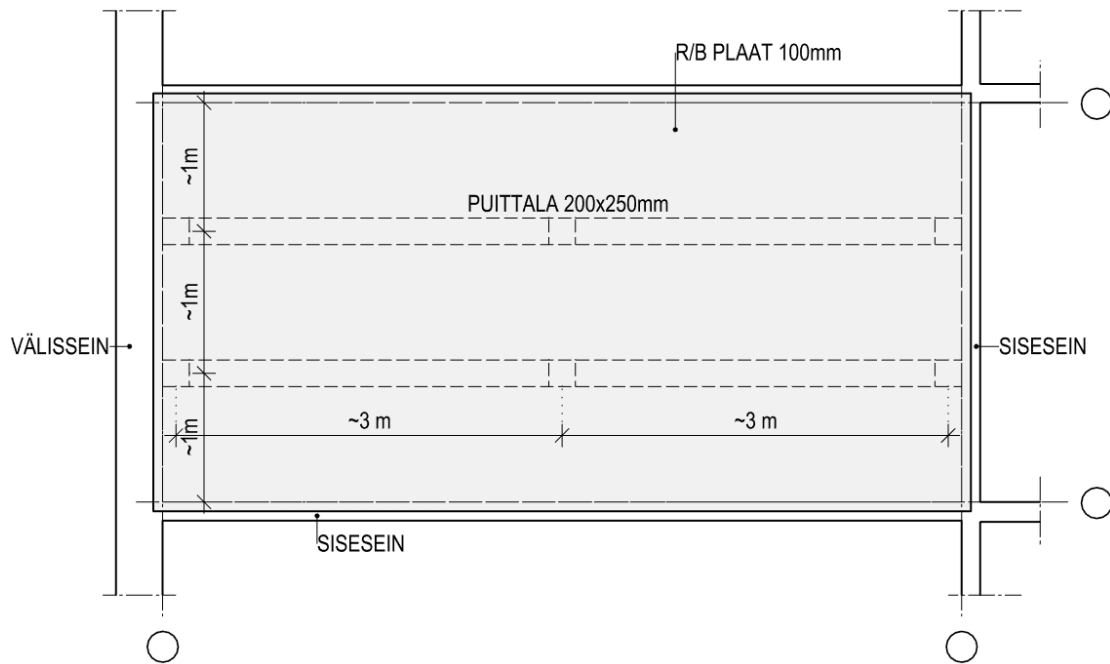
Konstruksioonide analüüs näitab, et keldri lae kandevõime ei ole piisav eeldatud ülerõhuga koormuse vastuvõtmiseks. Keldri lae püsivuse saavutamiseks tuleb laepaneeli toetada. Üks kõige käepärasem võimalus on lae toetamine puidust talade ja postidega. Võimalikud variandid on esitatud joonistel 4.10...4.15.



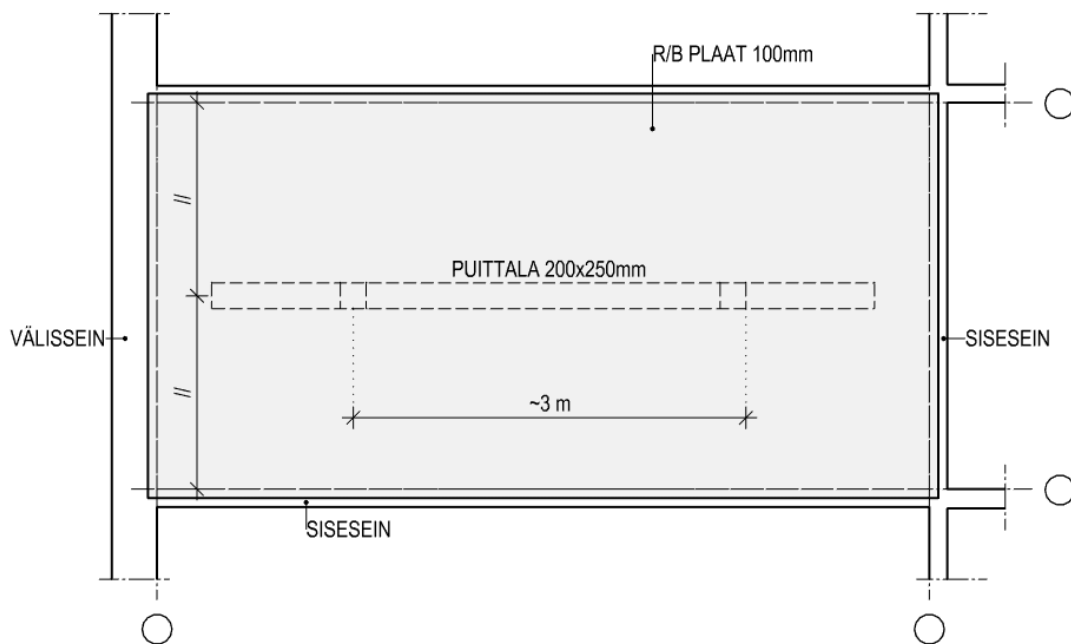
Joonis 4.10 Soklikorruse lae toetamine ülerõhule (varingukoormusele) 80 kPa. Plaan ja lõige



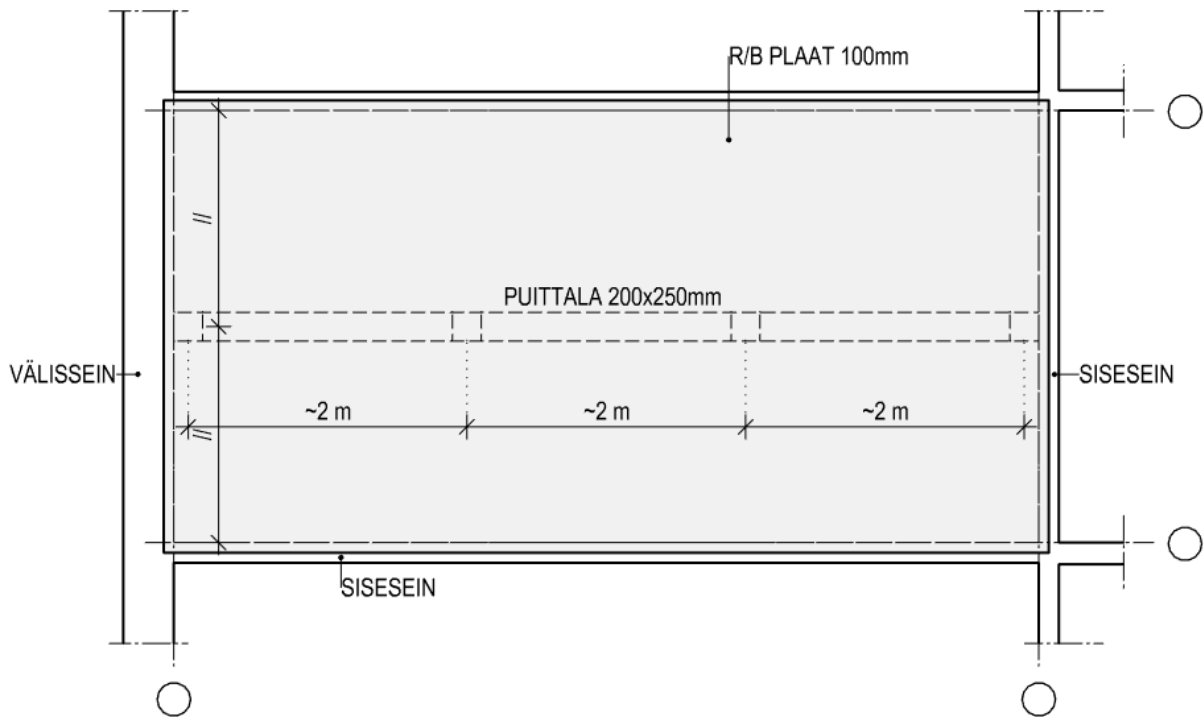
Joonis 4.11 Soklikorruse lae toetamine ülerõhule (varingukoormusele) 35 kPa. Plaan ja lõige



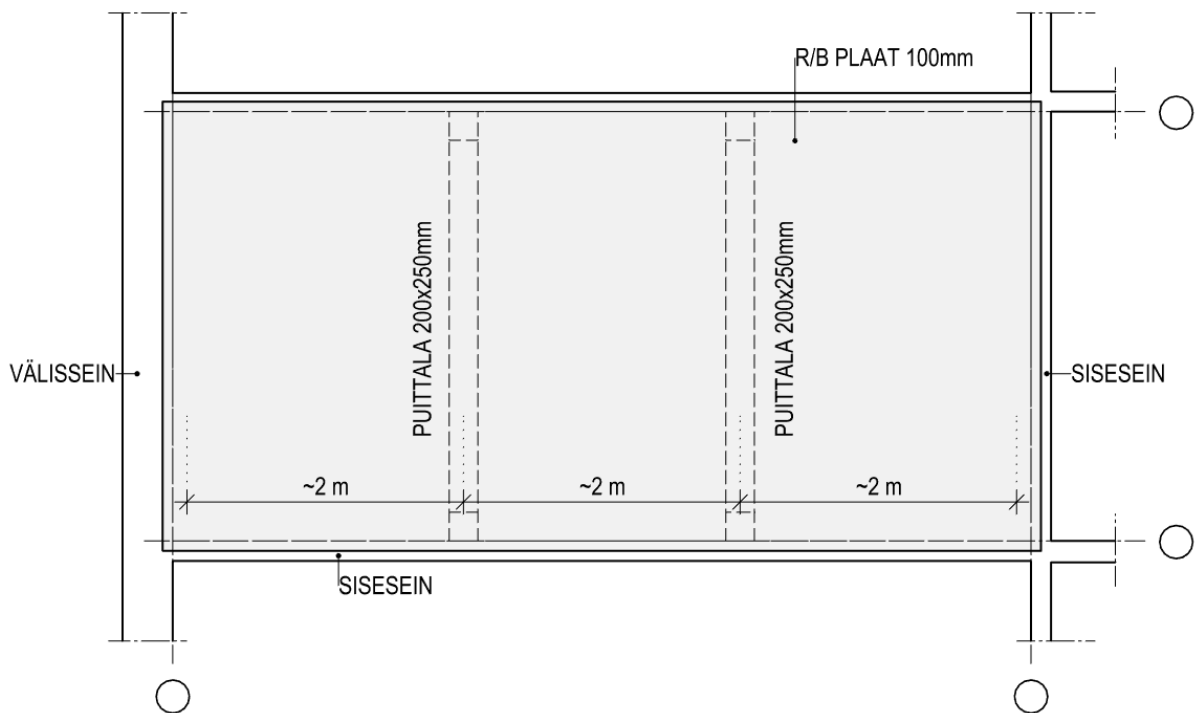
Joonis 4.12 Soklikorruse lae toestamine ülerõhule (varingukoormusele) 35 kPa



Joonis 4.13 Soklikorruse lae toestamine ülerõhule (varingukoormusele) 25 kPa.



Joonis 4.14 Soklikorruse lae toestamine ülerõhule (varingukoormusele) 25 kPa



Joonis 4.15 Soklikorruse lae toestamine ülerõhule (varingukoormusele) 12 kPa

Tabelis 4.1 on esitatud toestamiseks vajalikud orineteeruvad puitmaterjali kogused. Materjaliks on arvestatud on saepuit, tugevusklass C18. Erinevad postijaotused võimaldavad ruumi erinevat jaotust vastavalt toestusskeemidele.

Tabel 4.1. Puitmaterjali kogused soklikorruse lae toestamiseks vastavalt ülerõhu või varingukoormusele.

Ülerõhu/varingu koormus, kPa	Skeem	Puidu kogus põrandapinna 100 m ² kohta, m ³
80	4.10	6,7
35	4.11	5,4
35	4.12	7,2
25	4.13	2,7
25	4.14	4,2
12	4.15	4,2

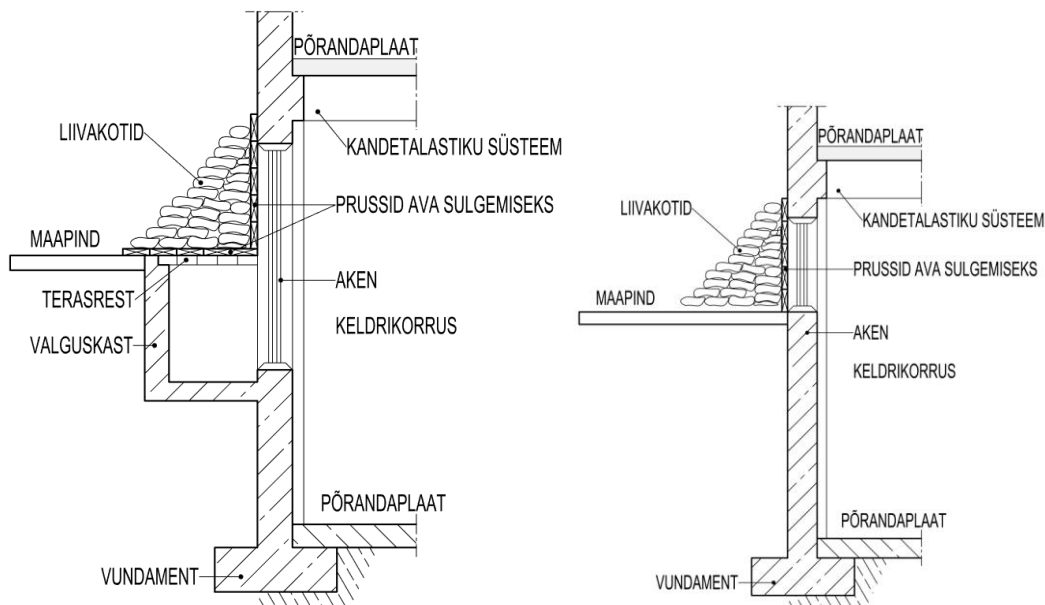
Analüüsi tulemusel selgus, et plaadi armeeringu tõttu annavad suurema kandevõime plaadi pikema küljega paralleelsed toed, sest siis hakkab tööle armatuur $\varnothing 8$ AIII. Kui ruumi kasutustingimuste poolest oleks sobivam teises suunas tugede telg (joonis 4.15), siis on vastuvõetav ülerõhk (varingukoormus) 12 kPa. Stsenaariumite täpsustamisel võib kaaluda nende toestusskeemide kasutamist.

Postide toetamisel põrandale tuleb arvestada konkreetses keldris oleva põranda konstruktsiooniga ja kasutada vastavaid puidust taldmikke. Siin esitatud lahendused on eelkõige ressursimahukuse määramiseks. Konkreetsete hoonete puhul tuleb toetamise lahendus projekteerida vastava pädevusega ehitusinseneri poolt.

Puittoestuse alternatiivina võib kasutada analoogse skeemiga teraselemente. Betoonplaati saab tugevdada ka süsinikkiududega armeeritud komposiitmaterjalidega (FRP), kuid selle lahenduse võimalusi tuleb täpsemalt uurida.

Varjumiskohaks vajalike tingimuste loomiseks keldris tuleb kindlustada keldri aknaavad. Lööklaine mõjul lendavad klaasikillud on inimestele väga ohtlikud. Samuti on ohuks konstruktsioonidele ja inimestele aknaavast siseneva lööklaine tekitatud rõhk. Aknaavade kindlustamise võimalik lahendus on toodud joonisel 4.16. Aken kindlustatakse liivaga täidetud plastik- või tekstiilkottidega. Alternatiivina võib kasutada pinnasega täidetud kotte, tihendatud pinnast, telliseid, betoonplokkide, purustatud betooni vms. Täitematerjali toetamiseks avade

kohal võib kasutada prusse või alternatiivina käepäraseid vahendeid – puitkilpe, vineertahvleid, ümarpuitu vms. Akende kiirkorras teostatavaks esialgseks kaitseks kildude lendumise takistamiseks võib kasutada klaaside teipimist võimalikult tugeva niiskuskindla teibiga, geotekstiilist valmistatud killupüüdjat vm. käepäraseid vahendeid. Kaitset pakkuvaks võiks lugeda vähemalt 0,5...0,7 m paksusega laotud liivakottide riita vahetult aknaava ees. Liivakottide riida ülekatte (aknaava ületavad) mõõdud oleks soovitavalt vähemalt 0,5 m aknaava külgedest ja ülemisest servast.



Joonis 4.16 Aknaavade kaitsmine. Liivaga täidetud kotid. Liiva asemel võib kasutada pinnast, telliseid, ehitusplokke vms.

Keldri peaks võimalusel trepikojast isoleerima, et vältida lööklaine mõju jõudmist varjumiskohta. Naabertrepikodade keldrite vahelised läbikäiguavad, mis praegu on sageli kinni müüritud, tuleks avada sellises ulatuses, et inimesed pääseks neist läbi, kuna väljapääs oma trepikojast võib olla kinni varisenud või varisemisohtlik.

4.2 Muud ehitised

4.2.1 Tellistest või plokkidest korruselamud

Selliseid eluhooneid on palju ehitatud 1950-ndatel (nn. hruštšovkad) ja 1960-ndatel aastatel, kuid ka hiljem. Keldri olemasolul on võimalik selle varjumiseks kohandamine juhul, kui keldri

lagi on raudbetoonist. Varjumiskindluse tõstmise meetodid on sel juhul samad nagu suurpaneelamute puhul. Raudbetoonlagi tuleks toetada ning aknad kindlustada. Sissepääs peaks olema suletav kaitseks lööklaine eest. Mustamäe tüüpsel 14-korruselistel tellishoonetel (näit Tammsaare tee 85) keldrit ei ole ning varjumiseks sobivat ruumi nendes hoonetes ei ole.

Keldri olemasolul võimalik selle varjumiseks kohandamine juhul, kui keldri lagi on raudbetoonist. Varjumiskindluse tõstmise meetodid on samad nagu suurpaneelamute puhul. Raudbetoonlagi tuleks toetada ning aknad kindlustada. Sissepääs peaks olema suletav kaitseks lööklaine eest. Mõningatel 1950-1960-ndatel ehitatud korruselamutel (näit. Jahu 10, Vasara 6) on juba algselt ehitatud keldrisse varjend. Neid saab suhteliselt lihtsalt kohandada varjumiseks ka praegu.

4.2.2 Raudbetoonkarkassiga monteeritava ja monoliitse karkassiga elamud ja büroohooned

Monoliitbetoonist keldrilage võib kandevõime parandamiseks toetada, kuid parklas on see küsitav kasutuse piirangu tõttu. Sel juhul võib parklat kasutada nõrgema jõuga plahvatuse sekundaarsete mõjude eest varjumiseks (lendavad fragmendid ja killud), eeldusel, et hoone selle kohal ei varise. Seejuures peaksid parklakorruse avad olema suletavad. Tavakeldri puhul võib lähtuda suurpaneelamute juures pakutud keldrilae toetuse lahendustest (joonis 4.10...4.16).

4.2.3 Avalikus ruumis paiknevad jalakäijate tunnelid ja maa-alused parklad

Eestis on jalakäijate tunnelid suhteliselt vähe. Need ei sobi kaitseks otsetabamuse korral. Tunnelid võib kasutada inimesi ohustavate lendavate objektide ja suhteliselt madala energiaga lööklaine eest varjumiseks. Tunneli avad peaksid olema suletavad. Pingebetoonist laega parklad ja tunnelid varjumiseks ei sobi.

4.2.4 „Tallinna tüüpi“ hooned, ehitusaastaga kuni 1940

Põhiosas puitkonstruktsiooniga hoonetes arvestatavat varjumiskindlust ei ole võimalik saavutada. Keldri lagi ei ole tavaliselt betoonist ning seetõttu on keldrit varjumiseks kasutada ei saa soovitada.

4.2.5 Mittetüüpsed hooned

Näiteid käesoleva töö käigus vaadeldud mittetüüpsetest hoonetest, kus võib varjumise võimalusega arvestada:

- Tallinna Linnavalitsuse hooned Vabaduse välja 7 ja Vabaduse väljak 10. Keldrid;
- TTÜ Ehituse Mäemaja labor – kelder, keldri lagi 80 cm betooni;

- Maa-alused parklad pingestamata raudbetoonist konstruktsioonidega.

Allikad:

- [1] D.O. Dusenberry, Handbook of blast resistant design of buildings. J. Wiley & Sons, 2009.
- [2] D. Cormie, G. Mays and P. Smith. Blast effects on buildings. Thomas Telford, 2009.
- [3] Skyddsrum SR 15. Handbok. Myndigheten för samhällsskydd och beredskap.
- [4] Upgrading basements for combined nuclear weapons effects: expedient options. Technical Report, Stanford Research Institute, US, May 1976.

KOKKUVÕTE

Elamute konstruktsioonide massiline tugevdamine lahingumoonna otsetabamuste mõjude täielikuks neutraliseerimiseks, st pommivarjendite rajamine elamutesse, ei ole töö- ja ressursimahukuse tõttu otstarbekas. Inimeste ohutuse tagamiseks õhurünnakute ajal sobivad paremini spetsiaalsed varjumiskohad. Uuringu käesolevas osas käsitleti tehnilisi lahendusi sobivate ehitiste kiirkorras varjenditeks kohandamiseks vajalikeks meetmeteks, eelkõige plahvatuse kaudsete mõjude eest kaitsmiseks, kasutades selleks maksimaalselt käepäraseid vahendeid.

Stsenaariumite valik edasiseks varjumisvõimaluste kavandamiseks ja projekteerimiseks peab põhinema detailsel ohuhinnangul ja riskianalüüsil. Vastavalt täpsustatud ohuhinnangule, täiendavate stsenaariumite valikule ja konstruktsioonimudelite analüüsile saab esitatud baaslahendustest lähtudes luua toetamisvõimaluste modifikatsioone pädeva ehitusinseneri poolt.

**LISA: PLAHVATUSE MÕJUDE PROGNOOS EHTISTELE
(EXCELI FAIL), JUURDEPÄÄSUPIIRANG
„ASUTUSESISESEKS KASUTAMISEKS“**